

El uso de aguas residuales en el riego agrícola de la Comarca Lagunera

The Use of Wastewater in Agricultural Irrigation in the Laguna Region

Teodoro Gutiérrez-de la Rosa¹, Marco A. Inzunza-Ibarra^{1*}, Ignacio Sánchez-Cohen¹, Magdalena Villa-Castorena¹, Jesús Arcadio Muñoz-Villalobos¹ y Ernesto Catalán-Valencia¹

¹Centro Nacional de Investigación en Relación, Agua, Suelo Planta, Atmosfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID RASPA INIFAP). Canal Sacramento Km 6.5 margen derecha, Gómez Palacio, Dgo. CP 35140.

*Autor para correspondencia: Inzunza.marco@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se realizó un estudio de las implicaciones del uso agrícola de las aguas residuales municipales en la Región Lagunera. Los objetivos del trabajo fue cuantificar la cantidad de elementos nocivos de las aguas residuales que se utilizan en el riego y su diferencia con las aguas limpias con el fin de realizar recomendaciones para uso agrícola y urbano. La metodología utilizada consistió fundamentalmente dos fases. Primero realizar un censo para ubicar los principales cárcamos en la región y localizar los predios irrigados con aguas residuales. Segundo, obtener los promedios de tres años de las bases de datos para conocer las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas y detectar los posibles riesgos de ser utilizadas para el riego. Realizar muestreos de los cultivos de alfalfa y rye grass regados con estas aguas residuales y normales para realizar análisis foliares en éstos cultivos y cuantificar las diferencias entre estos dos opciones de riego y la posible translocación de elementos nocivos al forraje. Al comparar resultados de los análisis de laboratorio con los límites establecidos para cada parámetro, se observó que las aguas residuales de la Región Lagunera se ajustan a las estipulaciones de los Organismos Normativos Nacionales, en lo que a características fisicoquímicas se refiere. Sin embargo, para el aspecto bacteriológico, la población bacteriana fue un factor limitante para el uso de las aguas de desecho en la producción de forrajes. Los análisis bacteriológicos de las muestras de forraje, mostraron concentraciones de microorganismos significativamente más altas en los forrajes regados con aguas residuales comparados con aquellos producidos con aguas normales. Los estudios futuros deben enfocarse a tratamientos eficientes de la disminución de niveles bacteriológicos y evitar la salinidad y sodicidad del suelo irrigado con este tipo de aguas.

Palabras clave: Medicago sativa, Lolium multiflorum, aguas residuales, elementos nocivos, salinidad and sodicidad.

ABSTRACT

A study carried out on the implications of the agricultural use of municipal wastewater in the Laguna Region. The objectives of the work were to quantify the amount of harmful elements in wastewater used in irrigation and its difference from clean water in order to make recommendations for agricultural and urban use. The methodology used basically consisted of two phases. First, carry out a census to locate the main sewage in the region and locate the properties irrigated with wastewater. Second, obtain the three-year averages from the databases to know the physicochemical and bacteriological properties and detect the possible risks of being used for irrigation. Perform samplings of alfalfa and rye grass crops irrigated with these residual and normal waters to perform foliar analyzes on these crops and quantify the differences between these two irrigation options and the possible translocation of harmful elements to the forage. When comparing the results of the laboratory analyzes with the limits established for each parameter, it observed that the wastewater of the Laguna Region complies with the stipulations of the National Regulatory Bodies, as far as physicochemical characteristics are concerned. However, for the bacteriological aspect, the bacterial population was a limiting

factor for the use of wastewater in forage production. Bacteriological analyzes of forage samples showed significantly higher concentrations of microorganisms in forages irrigated with wastewater compared to those produced with normal water. Future studies should focus on efficient treatments to reduce bacteriological levels and avoid salinity and sodicity in the soil irrigated with this type of water.

KeyWords: *Medicago sativa*, *Lolium multiflorum*, wastewaters, harmful elements, saline and sodic soils.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de riego consume alrededor del 70 por ciento del agua disponible y disminuye cada vez más su disponibilidad por la competencia de otros sectores como la urbana e industrialización. Una alternativa para optimizar el uso de este preciado recurso, es aprovechar las aguas residuales para riego y, reciclar los nutrientes contenidos en éstas (Asirifi *et al.*, 2021). El suelo posee una alta capacidad de filtro y amortiguamiento y con ello, retiene sales y contaminantes; además, puede transformar la materia orgánica contenida en el agua para aportar alimentos a las plantas (Flores *et al.*, 2018).

CONAGUA (2018), reporta que los principales procesos de los tratamientos más comunes que se utilizan en las diversas plantas de tratamiento de aguas residuales en México son: lodos activados, lagunas de estabilización, zanjas de oxidación, filtros biológicos, lagunas aireadas, reactor anaerobio de flujo ascendente, dual biológico y biodiscos.

El riego agrícola con aguas residuales en México, se inició en 1901 y actualmente comprende casi 200 mil ha destinadas a las siembras de diversos cultivos. Maíz y alfalfa ocupan el 80 % de esta superficie (SIAP-SADER, 2021). El aprovechamiento de las aguas residuales permite obtener rendimientos altos, aun en predios sin fertilizar, en comparación con áreas de otra zona del país donde aplican grandes cantidades de fertilizantes. Este beneficio obedece a un alto contenido de materia orgánica y elementos nutritivos que dichas aguas depositan en el suelo, esto es particularmente ventajoso en regiones áridas y semiáridas que poseen suelos

de baja fertilidad (Méndez *et al.*, 2006; Delaide *et al.*, 2019).

Sin embargo, el incremento en la proporción de desechos industriales contenidos en las aguas residuales, así como la acumulación de tóxicos en el suelo debido al repetido uso de este recurso, puede alterar las propiedades de los suelos volviéndolos improductivos (García *et al.*, 2020). Estos contaminantes además de disminuir los rendimientos, pueden tener efectos directos sobre los animales que consumen el forraje producido e indirectamente sobre los humanos que se alimentan del ganado y de sus derivados (WWAP, 2017). En este sentido la UN-WATER (2021), cita que la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por el uso agrícola de aguas residuales sin tratar o tratadas inadecuadamente, es un problema importante en muchos países en desarrollo donde dicho riego es más frecuente. Esto sucede porque se buscan opciones alternativas para la agricultura de riego, y se opta principalmente, por las aguas residuales por su alto contenido de nutrientes o por la escases del recurso. Concluyen, que, si se aplican con niveles tolerables de contaminantes, son de gran valor por el agua y nutrientes aportados a la seguridad alimentaria y ambiental. Aunado el problema anterior, los 4 mil millones de m³ (MM³) de aguas residuales que se genera anualmente en el país, son deficientemente utilizados cualitativamente y cuantitativamente, además que no se encuentran distribuidos territorialmente de manera uniforme, ya que tan solo en la zona centro de país se generan el 50 % de los desechos. La baja eficiencia de su utilización, así como la mala distribución ocasionan que se aprovechen solo 2 millones de m³ de aguas residuales (CONAGUA, 2017).

Para el caso de la Región Lagunera, en el plan de agua sustentable para la región, se



contempla en forma prioritaria el aprovechamiento de las aguas residuales. Debido que las recargas de las aguas residuales se realizan en forma dispersa, su disponibilidad es relativamente limitada y representa una fracción del orden del 50 al 70 % del suministro de agua potable. Sin embargo, este recurso se puede aprovechar al estar disponible los 365 días del año (Piñeira-Palacios, 2011). En la región de la Laguna se utilizan cada año 170 MM³ de agua para abastecer a la población y se genera un caudal de aguas residuales del orden de 95 mm³ por año, equivalente a 3,000 l s⁻¹, que corresponde al 56 % del agua potable consumida. Existen 31 plantas de tratamiento en la Comarca Lagunera, con una capacidad instalada de 2.42 m³ s⁻¹, equivalente a 76 MM³ por año, que representa poco más del 80 % del total de las aguas residuales producidas (CONAGUA, 2018).

De acuerdo a la legislación relativa al agua y su contaminación, para el uso adecuado de aguas residuales en la agricultura, éstas deben ser de tal calidad que no ocasionen daños a las plantas, que no demerite la calidad del producto cosechado y no provoque daños a los consumidores de estos productos. Además, no deben de generar focos de infección, no deben afectar las características naturales del suelo, principalmente la permeabilidad y tasa de infiltración, las percolaciones no deben afectar la calidad del agua de cuerpos subterráneos (CONAGUA, 2018, García *et al.*, 2020). En este sentido, la utilización de las aguas residuales en la agricultura debe cumplir con ciertos límites de características físicas y químicas para poder definirse como de calidad agrícola para esto se consideran parámetros de salinidad, sodicidad, alcalinidad y presencia de niveles altos de iones específicos que pudieran generar toxicidad. La sodicidad es una característica que se mide con el parámetro relación de adsorción de sodio (RAS) y determinan cuando es un suelo sódico los cuales tienden a dispersarse cuando secos y provocan una baja infiltración y permeabilidad lo cual es indeseable para la irrigación (Galindo-

Pardo *et al.*, 2020). Los objetivos del trabajo fue cuantificar la cantidad de elementos nocivos de las aguas residuales que se utilizan en el riego y su diferencia con las aguas limpias con el fin de realizar recomendaciones para uso agrícola en base a los límites establecidos.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en terrenos del Ejido las Huertas del municipio de Gómez Palacio, Durango, en la Comarca Lagunera. El sitio experimental, se localiza a 25° 31' 57" LN y 103° 25' 57" LO, a una altitud de 1139 m.

El clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con bajo contenido de humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm anuales en la zona agrícola de riego y de 400 a 500 mm en la zona montañosa Oeste, con evaporación media anual de 2600 mm y temperatura media anual de 20 °C (Villa *et al.*, 2005). Según García (2004), su clima se clasifica como BW (h') h w (e), que corresponde a muy árido, cálido con temperatura media anual de 22 °C y temperatura media del mes más frío de 18 °C.

El trabajo consistió primeramente en hacer un recorrido con el propósito de recopilar información de la localización de los principales cárcamos de las principales ciudades de la Comarca lagunera. Obtener los promedios de análisis de laboratorio de los últimos tres años referentes a las aguas residuales de los cárcamos de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo, de los laboratorios de Calidad de Agua de la SADER, de laboratorios particulares y de Met-Mex Peñoles. Los datos obtenidos de los análisis de los laboratorios y la información de recopilación bibliográfica y pláticas con los usuarios determinaron la tónica a seguir en el muestreo de parcelas de alfalfa y rye grass irrigadas con aguas residuales y otras irrigadas con aguas normales para observar y realizar comparaciones del efecto del riego con ambas aguas en estos cultivos. De esta forma conocer cuáles son los contaminantes que deben

estudiarse, y la magnitud en que deben estar presentes. La literatura revisada del tema comprende artículos, trabajos de tesis y reglamentos promulgados oficialmente en México y EUA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos recopilados de los análisis realizados en diferentes cárcamos de las principales ciudades de la región, indican que en la Comarca Lagunera se producen anualmente 100 millones de m³ de aguas residuales en las tres ciudades conurbadas. Se otorga una donación anual para usos agrícola de 75 millones de m³ que se utiliza aproximadamente en una superficie de 4,905 ha. Esta superficie puede incrementarse año con año al tener mayor volumen de aguas tratadas. Las aguas residuales son en un 99 % de origen doméstico y 1% de origen industrial, además la mayoría de estas últimas se manejan por separado, como es el caso de la zona industrial.

Uso agrícola de las aguas residuales de la Región Lagunera

El Cuadro 1 muestra los resultados de visitas de campo a los predios irrigados con aguas residuales, se pudo observar que la mayoría de los cultivos así producidos, tienen mejor apariencia que los que reciben aguas blancas. Se entrevistaron 19 usuarios todos manifestaron no utilizar fertilizantes y aplicar una lamina de sobre riego que va de 10 al 20 % respecto al riego con agua subterránea, el 80 %, consideran tener mejores rendimientos sin tener problemas de salinidad en plantas y sin deterioro del suelo. Un 10 % no notan diferencia alguna y el resto (10 %), reportan baja producción y deterioro considerable del suelo, no obstante que las aguas residuales que utilizan son las que se aplican en los predios vecinos, atribuyendo el hecho a que se tiene casi 20 años de regar con este recurso. En los primeros dos casos usan suelos con conductividades eléctricas que varían de 2.5 a 6 dS m⁻¹ y son suelos salino sódicos

con conductividades eléctricas de 6 a 9 dS m⁻¹ y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 16 a 21 %. Los cultivos que se riegan con los volúmenes de aguas residuales citados en el Cuadro 1, en orden de importancia son: alfalfa, avena, maíz, cártamo y hortalizas.

Cuadro 1. Ejidos visitados en el municipio de Torreón que son irrigados con aguas residuales.

Ejido	Superficie con dotación (ha)	Volumen anual dotado (MM ³)
La Joya	120	3.2
Nuevo California	197	3.1
San Antonio de los Bravos	254	5.1
La Merced	243	2.4
Zaragoza	263	2.4
Totales	1,077	16.1

Donde MM³ = millones de metros cúbicos

Además, se realizó un censo para caracterizar y localizar ejidos en Gómez Palacio con el propósito de tener conocimiento de los volúmenes de agua residual que se manejan y la superficie que se beneficia y que cultivos se riegan con estos volúmenes y se reportó en el Cuadro 2. Los cultivos que se riegan con los volúmenes reportados en el cuadro 2, son en orden de importancia alfalfa, zacate, maíz, algodón, sorgo espiga, sorgo forrajero, frutales y hortalizas.

Cuadro 2. Relación de ejidos del municipio de Gómez Palacio utilizando dotaciones de volúmenes de aguas residuales y su superficie que alcanza a irrigar.

Ejido	Superficie irrigada (ha)	Volumen anual asignado (MM ³)
El Refugio	120	2.5 Mm ³
Santa Rosa	100	1.0
Emiliano Zapata P.P.	75	1.0
Lechería	30	0.5
Casa Blanca	21	0.5
Nuevo Castillo	12	0.5
Total	358	6.0

Donde MM³ = millones de metros cúbicos.



Análisis de aguas residuales

Fisicoquímicos

En el Cuadro 3 se exhiben los promedios de resultados de análisis de los últimos tres años de muestras de aguas residuales analizadas en los laboratorios de calidad del agua de la SADER, en Cd. Lerdo, en Industrial Metalúrgico, S.A. de C.V. del parque industrial lagunero de Gómez Palacio y el de Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V. en Torreón, Coahuila.

Cuadro 3. Resultados promedio de tres años de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales del muestreo de los principales cárcamos de la Región Lagunera.

Concepto	Valor	Concepto	Valor
pH	7.5	DBO (mg L ⁻¹)	400
C. E. (dS m ⁻¹)	1.1	DQO (mg L ⁻¹)	600
Ca (mg/L)	70	N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	120
Mg (mg/L)	10.9	N-Org (mg L ⁻¹)	6
Na (mg/L)	115.0	N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	5
K (mg/L)	15.6	PO ₄ (mg L ⁻¹)	30
CO ₃ (mg/L)	0	B (mg L ⁻¹)	0.1
HCO ₃ (mg/L)	504	Fe (mg L ⁻¹)	0.3
Cl (mg/L)	10.1	Cu (mg L ⁻¹)	0.03
SO ₄ (mg/L)	48	Mn (mg L ⁻¹)	0.05
Se (mg/L)	52.7	Zn (mg L ⁻¹)	0.05
SP (mg/L)	3.0	Cr (mg L ⁻¹)	0.03
RAS	3.5	Pb (mg L ⁻¹)	0.02
CSR (mg/L)	4.0	Grasas (mg L ⁻¹)	25
PSO (%)	90	Sólidos totales (mg L ⁻¹)	1200

Bacteriológicos

Los resultados promedio de tres años de los análisis bacteriológicos en aguas residuales se muestran en el Cuadro 4 con las siguientes cifras.

Cuadro 4. Mediante del método del Número más probable (NMP) se detectaron las concentraciones bacteriológicas en las aguas residuales muestreadas.

Microorganismos	Concentración
NMP de mesófilos aerobios	3 *10 ⁶ colonias por ml
NMP de coliformes totales	20*10 ⁶ colonias por 100 ml
NMP de coliformes fecales	10*10 ⁶ colonias por 100 ml
NMP de estafilococos	2*10 ⁶ colonias por ml

NMP= método del número más probable.

Análisis de forrajes

Químicos

Se muestran los resultados de análisis de plantas completas de rye grass y alfalfa regados con aguas normales y aguas residuales, en el caso del rye grass el suelo es de textura migajón arcilloso y de baja salinidad que tiene por lo menos 7 años de regarse con aguas residuales. En el caso de la alfalfa, el suelo es virgen al riego con aguas residuales, con textura migajón arcilloso y de baja salinidad. El riego de estos cultivos con el agua residual utilizada es de las mismas características. Los resultados de los análisis químicos realizados para rye grass y la alfalfa para su comparación se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados del análisis químico realizado al rye grass y la alfalfa irrigados con agua normal y agua residual.

Elemento	Rye grass		Alfalfa	
	Agua residual	Agua normal	Agua residual	Agua normal
P (%)	0.328	0.26	0.303	0.268
K (%)	3.5	3.3	3.4	3.4
Ca (%)	0.67	0.57	1.75	1.7
Mg (%)	0.19	0.16	0.21	0.21
N (%)	5.19	4.21	3.6	3.82
Fe (mg L ⁻¹)	278	250	524	425
Mn (mg L ⁻¹)	156	150	86	75
Zn (mg L ⁻¹)	53	52	37	31
Cu (mg L ⁻¹)	10	9	10	9
B (mg L ⁻¹)	14	12	41	32

Bacteriológicos

Se muestran resultados de análisis de Rye Grass regados con aguas residuales y con aguas normales, sin embargo, debe mencionarse que los terrenos en ambos casos tenían varios años regándose con aguas residuales.



Cuadro 6. Mediante del método del Número más probable (NMP) concentraciones bacteriológicas en Rye Grass regados con aguas residuales y con aguas normales.

Microorganismos	Riego con aguas Normales	Riego con aguas residuales
Mesofílicos aerobios (NMP)	15* 10 ³ colonias por g	294 *10 ³ colonias por g
Coliformes totales (NMP)	40 colonias por 100 g	230 colonias por 100 g
Coliformes fecales (NMP)	negativa	negativa
Estafilococos (NMP)	negativa	negativa

Los suelos analizados, tanto regados con aguas normales como con aguas residuales, tienen conductividad eléctrica que va desde 2.5 hasta 9 dS m⁻¹ y PSI que varía desde 6 hasta 21%, sin que las condiciones de salinidad o sodicidad puedan atribuirse en forma contundente al uso de aguas residuales o normales. No fue posible disponer de datos de análisis de un mismo suelo virgen a las aguas residuales y posteriormente a la aplicación de efluentes residuales.

Se consideró en general, que las aguas residuales de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo son de características similares y se pueden catalogar como de tipo predominante doméstico con ausencia de contaminantes industriales, por tal motivo puede decirse que estos desperdicios líquidos son de buena calidad en lo que a esta categoría respecta.

Al comparar resultados de los análisis de laboratorio con los límites establecidos para cada parámetro, se observan que las aguas residuales de la Región Lagunera se ajustan a las estipulaciones de los Organismos Normativos Nacionales y de la US EPA (2012), en lo que a características fisicoquímicas se refiere; sin embargo, para el aspecto bacteriológico, se puede inferir que la población bacteriana es un factor limitante para el uso de aguas de desecho en la producción de forrajes. Los resultados del análisis bacteriológico de las muestras de forraje, se observa que las concentraciones de microorganismos son significativamente más altas en los forrajes regados con aguas residuales comparados con aquellos producidos con aguas residuales. Por lo que se deben

realizar un pretratado especial de estas aguas residuales (.Abunada y Nassar, 2014)

En lo que respecta a los criterios aplicables a las aguas residuales, según la SADER y la U.S. Environmental Protection Agency (US EPA, 2012), en general existe similitud a los parámetros objetables, solo para el criterio de demanda de oxígeno, ya sea química (DQO) o bioquímica (DBO) aplicado por la EPA, es más adecuado que el criterio de oxígeno disuelto (OD) aplicado por la SADER, ya que el valor de OD en las aguas residuales por lo general es de 0 mg L⁻¹, pudiendo variar rápidamente con agitación del líquido o al distribuidor en láminas delgadas. En los análisis foliares por lo general los contenidos de elementos en los tratamientos de aguas residuales, son ligeramente superiores a los tratamientos con aguas normales, sin poder establecerse, en forma contundente, con estos datos si las diferencias resultan significativas. Los resultados de Fe y Mn son altos en ambos casos.

CONCLUSIONES

La cuantificación de la cantidad de elementos nocivos en las aguas residuales detectados en este estudio permite concluir que el 99 % son de tipo doméstico y que sus desperdicios líquidos son de buena calidad en lo que a esta categoría respecta. Por lo que las aguas residuales de la Región Lagunera se ajustan a las estipulaciones de los Organismos Normativos Nacionales y de la EPA, en lo que a características fisicoquímicas se refiere. Sin embargo, en el aspecto bacteriológico si existieron diferencias significativas en la cantidad de microorganismos por lo que debe ser tratadas con métodos más eficientes, antes de ser utilizadas en la agricultura.

La utilización de las aguas residuales en la agricultura previo tratamiento debe seguirse estudiando para conocer a detalle las consecuencias de su uso en los diferentes cultivos. Es un recurso de gran importancia que debe ser cada vez más aprovechado en la



agricultura en el área urbana e industrias. Además de liberar el uso de un volumen considerable de aguas limpias tan importante en este tipo de zonas del país, se resuelve un problema ecológico ya presente.

La aplicación de aguas residuales sin previo tratado causa impactos negativos al ambiente, debido a la presencia de patógenos y metales pesados. Los compuestos químicos llegan a alterar las condiciones naturales del suelo que con el tiempo de uso bajo estas condiciones disminuyen significativamente la producción agrícola y llegar a afectar la salud pública.

La agricultura puede utilizar más de 76 millones de m³ anualmente, en más de 4900 ha con la generación de altos rendimientos y disminuir la presión en la utilización de aguas limpias en esa superficie. Al realizar el tratamiento de estas aguas, se reducen las características físico-químicas y bacteriológicas nocivas del agua, lo que minimiza los efectos adversos sobre el suelo y el cultivo.

Por las características de la Región Lagunera, se debe tener cuidado en el suelo de parámetros como pH, CE, texturas, cationes y aniones soluble, cationes intercambiables, CIC, materia orgánica, nitratos, fosforo, B, Fe, Cu, Mn, y Zn para evitar su salinización y en la contaminación por elementos tóxicos en suelos, plantas y animales.

LITERATURA CITADA

- Abunada Z, Nassar A (2014) Impacts of wastewater irrigation on soil and alfalfa crop: Case study from Gaza Strip. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 34: 1-7.
- Asirifi I., Kaetzi K., Werner S., Saba C., Abagale F., Amoah P., Marschner B. 2021. Pathogen and heavy metal contamination in urban agroecosystems of northern Ghana: Influence of biochar application and wastewater irrigation. *Journal of Environmental Quality (JEQ)*: 50(5):1097-1109.
- CONAGUA. 2018. (Comisión nacional del agua) Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Departamento de agua potable y saneamiento. <https://doi.org/10.2116/analsci.20.1673>
- CONAGUA (2017) Usos del agua en México. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/ usos-del-agua>. Fecha de consulta: 30 de octubre de 2021.
- Delaide B., Teerlinck S., Decombel A. and Bleyaert P. 2019. Effect of wastewater from a pikeperch (*Sander lucioperca* L.) recirculated aquaculture system on hydroponic tomato production and quality. *Agricultural Water Management* 226:105814. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105814>
- Flores C M., Del Angel E., Frías D M., Gómez A L. 2018. Evaluación de parámetros físicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y ciencias del agua*. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>.
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 90 p.
- García-Carrillo, M., Luna-Ortega G., Gallegos-Robles M.A., Preciado-Rangel P., Cervantes-Vásquez M G., González-Salas U. 2020. Impacto de aguas residuales sobre algunas propiedades y acumulación de metales pesados en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 38(4):907-916. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556>.
- Galindo-Pardo F V., Jacobo-Salcedo M del R., Cueto-Wong J A., Reta Sánchez D J., García Hernández J L., Vázquez-Vázquez C. 2020. Caracterización de



- aguas residuales tratadas de la comarca lagunera y su viabilidad en el riego agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11 (1): 189:201.
- Piñeira-Palacios T. 2011. Alternativas de uso de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali, B.C. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. pp.184.
- Méndez F. M A., Ricardo C. M P., Pérez P. J., Hernández C G.y Campos O. 2006. Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 15(3):17-21.
- SIAP-SADER. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Fecha de consulta: 08 de octubre de 2021.
- Villa-Castorena M., Catalán-Valencia E.A., Inzunza-Ibarra M.A. 2005. Análisis de la información climática para usos agrícolas. *Agrofaz*. 5:717-724
- US EPA, Guidelines for Water Reuse AR-1530 EPA/600/R-12/618, 2012, US Environmental Protection Agency National Environmental Research Center.
- UN-WATER (2021). Water Quality and Wastewater. <https://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/>. Unit Nations Page.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.