

Diagnóstico de las principales fuentes de contaminación que impactan la laguna de Yuriria

María Alondra González-Banda¹, Pedro David Quintanar-Rodríguez¹, Guillermo Alcántara-Antonio², José Trinidad Zúñiga-Zúñiga¹, Diana Olivia Rocha-Amador², Rogelio Costilla-Salazar¹

1 División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato; 2 División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato

Resumen

La laguna de Yuriria se encuentra localizada en la Mesa Central Mexicana dentro de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, cercana al municipio de Yuriria, en Guanajuato, México. Los alrededores de la laguna de Yuriria son una gran atracción de las personas que visitan este sitio. La derrama económica dejada por el sector turístico es importante para los locatarios, sin embargo, el impacto del ser humano ha ido en aumento y la contaminación por diversos sectores se ha ido agravando a lo largo de los años. El presente estudio realiza un diagnóstico de las principales fuentes de contaminación que impactan en la laguna.

Palabras clave: Laguna; Yuriria; contaminación; sectores; estrategias.

Introducción

La laguna de Yuriria, cercana al municipio de Yuriria, en Guanajuato, México, es un importante atractivo turístico del municipio y el lugar en donde se desarrollan diversas actividades económicas para los locatarios de la región. En ella se realizan actividades como la agricultura, el comercio y la pesca. También se encuentran diversos restaurantes alrededor de la laguna, los cuales atienden a diversos turistas que vienen a ver a la laguna. Con el tiempo y con los asentamientos humanos desarrollándose a los alrededores de la laguna, esta se ha visto afectada por diversos contaminantes. El mayor impacto humano se establece sobre la calidad del agua de la laguna, la cual recibe el aporte de las alcantarillas de varios poblados, así como de productos agroquímicos (Ramos-Ventura & Novelo-Retana, 1993). Además de la presencia de coliformes fecales debido a las descargas de alcantarillado por parte de las comunidades aledañas. La evaluación de los diversos sectores aledaños a la laguna es importante para conocer de forma más precisa el impacto del ser humano en la laguna y las posibles estrategias que se pueden implementar a futuro para combatir esta problemática.

Metodología

1. Se llevo a cabo la recopilación de información de diversas fuentes, entre ellas, artículos de investigación y divulgación, informes técnicos, páginas de instituciones gubernamentales.
2. Se realizaron dos visitas de campo para recolectar información con la población de la región.
3. Una vez obtenida la información se procesó para poder general un diagnostico por los diversos sectores y actividades que impactan el sitio de estudio.

Resultados

La laguna de Yuriria su principal función es de vaso regulador, es decir, presenta entradas de agua de zonas aledañas muchas veces sin tratar.

El clima de la laguna es semicálido, subhúmedo con lluvias en verano (junio a septiembre). Actualmente la región pasa por una sequía moderada, la precipitación acumulada de los últimos años ha disminuido considerablemente (CONAGUA, 2021a, CONAGUA, 2021b).

Estos dos aspectos hacen que el tiempo de retención de la laguna sea mayor y con esto la concentración de contaminantes.

Diagnostico ambiental por sectores

1. Pesca

La laguna de Yuriria es reconocida por las diversas actividades de recreación que ofrece, así como por la pesca de distintas especies entre ellas *Chirostoma jordani* (Charal), *Oreochromis mossambicus* (Tilapia negra), *Carassius auratus* (Carpa dorada), *Ctenopharyngodon idella* (Carpa herbívora), *Cyprinus carpio* (Carpa común), *Yuriria alta* (Carpa blanca) y *Goodea atripinnis* (Tiro) (SMAOT, 2021), misma que se ofrecen posteriormente en los restaurantes aledaños.

Estas actividades y la pesca representan otro problema para laguna, los derrames de aceites mecánicos, ocasionados por el tipo de lanchas que se utilizan para estas actividades.

Los pescadores están divididos en 3 cooperativas las cuales están ubicadas en las poblaciones de los alrededores:

- Yuriria (cabecera municipal) contando con aproximadamente 15 a 20 lanchas
- Angostura contando con aproximadamente 100 lanchas
- Cahujero contando con aproximadamente 25 lanchas

La mayoría de estas lanchas son de fibra de vidrio, motor y remo. Las lanchas de motor ocupan diésel o gasolina siendo el motor convencional el de 2 tiempos. Las lanchas no son reguladas para su correcto funcionamiento y mantenimiento, por lo cual llegan a tener derrames en la laguna, provocando que la contaminación por hidrocarburos se haga presente en la laguna.

2. Comercio

Cerca de la laguna de Yuriria y en las zonas aledañas a ella (principalmente La Angostura) se encuentran restaurantes, que ofrecen en su mayoría mariscos. Debido a la pandemia por COVID 19 este sector fue bastante afectado disminuyendo las ventas considerablemente.

Los restaurantes contaminan de muchas formas, entre las que destacan los desechos producidos por el uso de plásticos y productos desechables, así como los desperdicios de alimentos que generan. También el impacto indirecto de la contaminación o la falta de algún plan ecológico para el reciclaje hace que sea más complicado enfrentar esta problemática, ya que, según testimonios de personas aledañas a la laguna y que pertenecen a este sector, mencionan que se conoce de la problemática, pero que no se cuenta con una estrategia certera para mitigar los efectos de la contaminación producidos en este sector.

3. Agricultura.

Una actividad que tiene repercusión trascendental en la laguna es la agricultura, actividad a la que se dedican muchos pobladores alrededor de la misma. Inicialmente se practicaba solo agricultura de temporal, lo que ha variado con el tiempo y con el aumento poblacional, ya que en la actualidad prevalece la agricultura de riego, lo que ha propiciado una considerable reducción del nivel de agua en la época de estiaje, afectando no solo a la población que hace uso del recurso, sino también a la pesca (Pérez et al., 2015)

Los principales cultivos que se generan alrededor de la Laguna de Yuriria son: maíz, sorgo, frijol, trigo y cebada (Pérez et al., 2015).

Los principales plaguicidas que se reportan en la zona y que tienen un alto grado de toxicidad son: Paratión metílico, Denim, Palgus, Lorsban, Karate, Dimetoal, Force, Seiser, Cipermetrina, Matador, Disparo entre otro.

Se destaca que 23 (82.1%) de 29 ingredientes activos de estos plaguicidas, se consideran Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) y 14 de ellos (50%) están prohibidos o no autorizados en otros países (Pérez et al., 2015).

Tabla 1. Ejemplos de principios activos considerados como PAP, presentes en los plaguicidas utilizados en la región.

Ingrediente activo	PAP
Cipermetrina	Sí
Spinetoram	Sí
Clorpirifos etil + permetrina	Sí
Clorpirifos etil	Sí
Lambda cyalotrina	Sí
Dimetoato	Sí
Metamidofos	Sí
Teflutrina	Sí
Bifentrina	Sí

Diagnóstico de la calidad del agua

Cercano al municipio de Yuriria se cuenta con una planta de tratamiento cuyo proceso es de Lodos activados, sin embargo, su capacidad es insuficiente respecto a la demanda del municipio logrando tratar solo 60 lt/s, por lo cual el aporte de aguas residuales a la laguna es considerable tomando solo en cuenta la cabecera municipal, ya que a los alrededores de la laguna se encuentran distintas comunidades mismas que descargan directamente sus aguas residuales en la laguna sin un tratamiento previo (CONAGUA, 2014).

Por otro lado, existen también 4 plantas de saneamiento de aguas residuales contribuyendo así al impacto que tienen las descargas a la Laguna de Yuriria ubicadas en las comunidades cercanas (figura 1).

Se cuenta con una capacidad instalada de tratamiento de 918,864 m³ de agua por mes, de los cuales se tratan solo 128,887 m³ de aguas por motivos de descomposturas en los equipos y mantenimientos realizados por los organismos operadores, causando así que sean operadas de forma intermitente y no continua (Gonzales & Meléndez, 2019).



Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento cercanas a la laguna de Yuriria.

La Universidad de Guanajuato en colaboración con la Secretaría del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT), Dirección General de Asuntos Jurídicos (DGAJ), SOT y DGRN, realizó monitoreos de calidad de agua en la laguna de Yuriria, durante los años 2017 a 2020. Los parámetros que se analizaron fueron Temperatura (Temp), Potencial de Hidrogeno (pH), Conductividad Eléctrica (Cond.), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Oxígeno disuelto, Dureza (Dur), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Potencial de Oxido Reducción (ORP), Salinidad, Amonio, Color, Demanda Química de Oxígeno (DQO₅), Nitrógeno Total, Ortofosfatos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales (VEN, 2018; VEN 2020).

A continuación, se muestran los resultados en la siguiente tabla obtenidos de los muestreos antes mencionados:

Tabla 2. Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la Laguna de Yuriria.

Periodo de muestreo	Profundidad (m)	Temp °C	pH	Cond. μ S	SDT (ppm)	Oxígeno disuelto (mg/L)
	Promedio \pm desviación estándar					
nov-17	2.04 \pm 0.6	19.6 \pm 2	7.7 \pm 0.2	525.9 \pm 25.3	259.6 \pm 14.3	4.5 \pm 0.5
abr-18	1.8 \pm 0.4	25.7 \pm 1.5	7.7 \pm 0.2	678.8 \pm 14.8	335 \pm 7.8	2.8 \pm 1.5
nov-18	3.5 \pm 0.4	22.4 \pm 2.1	7.6 \pm 0.3	387.4 \pm 37.2	192.6 \pm 17.9	4.8 \pm 1.6
dic-20	1.6 \pm 0.1	22.9 \pm 0.3	8.5 \pm 0.2	949.4 \pm 38.7	660.7 \pm 281	4.9 \pm 0.4

Respecto a los resultados obtenidos se puede observar como el pH de la laguna con respecto a los años tiene un ligero aumento, dando como resultado en el último muestreo un pH por encima de los valores óptimos (8.53), lo que nos indica una ligera alcalinidad; la conductividad eléctrica se vio incrementada (525.91 vs 949.42) lo que nos indica una mayor cantidad de sales disueltas, así mismo la cantidad de oxígeno disuelto ha aumentado en comparación al muestreo realizado en 2018 (2.78 vs 4.93).

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los demás parámetros analizados:

Tabla 3. Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna de Yuriria.

Periodo de muestreo	Dur (mg/L)	SST (mg/L)	ORP (Mv)	Salinidad (g/L)	Amonio (mg/L)	Color (Unidad de color)
	Promedio \pm desviación estándar					
abr-18	196.8 \pm 3.8	56.1 \pm 2.4			0.3 \pm 0.1	53.9 \pm 5.6
nov-18	69.5 \pm 5	55.6 \pm 28.9			0.2 \pm 0.1	23 \pm 4.5
dic-20	223.2 \pm 7.5	5829.5 \pm 15515.9	272.6 \pm 65	0.7 \pm 0.3	1.6 \pm 0.4	63.7 \pm 16.2

La concentración de dureza (mg/L), ha tenido un incremento significativo respecto a los análisis anteriores (69.5 vs 223.23), lo que nos indica un aumento en la mineralización de carbonatos e hidróxidos.

Tabla 4. Valores obtenidos de diferentes parámetros fisicoquímicos de la Laguna de Yuriria.

Periodo de muestreo	DBO ₅ (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)
	Promedio \pm desviación estándar				
abr-18	28.9 \pm 9.7	2.02 \pm 0.08	1.8 \pm 0.17	2400	320.8 \pm 784.6
nov-18	23.4 \pm 21.2	< 2	0.4 \pm 0.6	1607.7 \pm 1084.9	1550.7 \pm 1089.6

dic-20	25.7 ± 9.9	-	0.6 +/- 0.02	135.6 ± 81.4	81.7 ± 54.9
--------	------------	---	--------------	--------------	-------------

Todos los puntos muestreados reportaron presencia de coliformes, esto como consecuencia de las descargas de agua residuales domésticas. La demanda bioquímica de oxígeno sigue siendo un valor elevado que indica eutrofización.

Control del Lirio acuático

El crecimiento excesivo de las plantas acuáticas en los cuerpos de agua es el resultado de los cambios provocados a las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua por el aporte incontrolado de nutrientes (eutrofización).

En la laguna de Yuriria para el 2017 contaba con 1500 hectáreas de *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) (VEN, 2018) (figura 2).

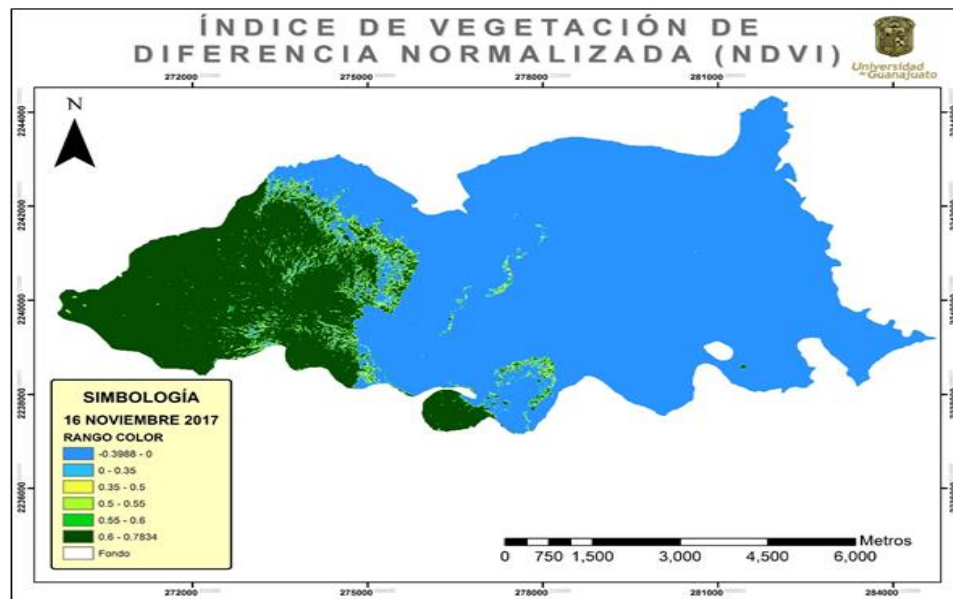


Figura 2. Cuantificación del lirio acuático en la laguna de Yuriria en del 2017 (1500 hectáreas).

Para combatir el crecimiento del lirio acuático el SMAOT con apoyo de la Universidad de Guanajuato plantearon 3 tipos de controles: el control químico, el control mecánico y el control biológico.

1. Control Químico

El control químico a través de herbicidas es uno de los métodos más utilizados para el control del lirio acuático. Para el caso en la Laguna de Yuriria, se aplicó el herbicida Roundup CUSTOM AQUATIC USE®. El ingrediente activo de este producto es la sal isopropilamina de glifosato en un 53.8% (648 g/L de glifosato) (VEN, 2020). La aplicación de este herbicida se dio mediante el apoyo de drones, los cuales tienen ventajas como:

- Reducción del riesgo humano.
- Cubrir zonas específicas sin tener que fumigar la extensión completa del campo.
- 40 veces más eficiente que el hombre.
- Control automático, semiautomático y manual.
- Ahorro de agua y químico.
- El dron solo disipa el 10% del químico debido a su bajo vuelo.

- Fumigación más precisa y eficiente.
2. Control mecánico

El control mecánico se define como la utilización de instrumentos físicos para la destrucción in situ de las plantas, su remoción hacia los sitios de disposición o para ambas acciones a través de máquinas cosechadoras, fijas o flotantes que trituran, colectan, cargan y transportan a la orilla el lirio acuático para su descarga (VEN, 2020).

Para el control mecánico en la laguna se utilizó una maquina trituradora cuya función fue fraccionar el lirio en pequeños fragmentos de aproximadamente 8 cm (VEN, 2020). También se utilizaron 2 bandas fijas las cuales realizan la extracción en rampas de relleno acondicionadas con tezontle. Un tercer equipo fue el uso de 3 dragas excavadoras que permiten realizar trabajos en lugares inaccesible (VEN, 2020).

3. Control biológico

Para el control biológico del lirio acuático se introdujo a la laguna el artrópodo *Neochetina eichhorniae*, el cual ha sido introducido en Yuriria en varias ocasiones. Además del insecto, los hongos, presentes en las plantas, también pueden ser agente de biocontrol. Sin embargo, no ha habido una cuantificación del daño provocado por el insecto o los hongos ya establecidos como controladores biológicos en la laguna, por lo que se cuantificó el daño presente en las hojas de las plantas del lirio en la laguna de Yuriria tanto por insectos como por los hongos (VEN, 2020).

Para el 2020, con apoyo de estos 3 métodos de control, se logró reducir de 1500 hectáreas a 276 hectáreas de lirio acuático en la laguna (figura 4).

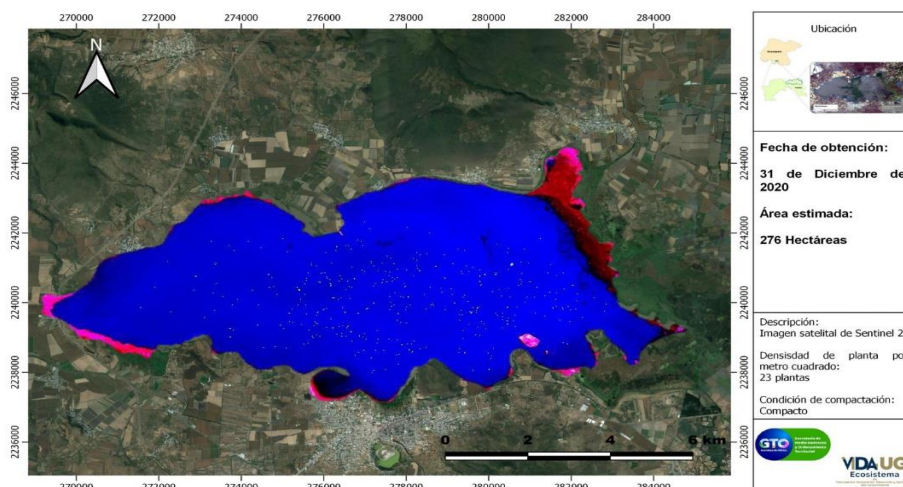


Figura 4. Cuantificación del lirio acuático en la laguna de Yuriria en diciembre del 2020 (276 hectáreas).

Efectos ecotoxicológicos en especies acuáticas de la laguna de Yuriria

Los peces son comúnmente usados para el biomonitoreo de contaminantes ya que son los vertebrados acuáticos que bioacumulan sustancias toxicas, más ampliamente distribuidos, aunado a la diversidad e importancia que tienen en estos ambientes. Se ha visto que responden con gran sensibilidad a cambios en el ambiente acuático y a las bajas concentraciones de contaminantes ambientales (Russo et al., 2004)

Durante los años 2017 y 2018 se realizó el análisis de genotoxicidad mediante el ensayo cometa en peces extraídos de la laguna, para observar el daño en su material genético a consecuencia de los cambios en la calidad del agua y su relación con esta.

Se realizó el muestreo en tres sitios (Angostura, La Isla y Puerta de Andarácuaro) en los cuales se capturaron dos especies de peces (Mojarra –*Oreochromis* sp.– y Carpa –*Cyprinus* sp.–) mediante el uso de técnicas tradicionales de pesca. Además, se obtuvieron peces de una granja acuícola, los cuales sirvieron como referencia en dicho estudio, posteriormente se obtuvo la muestra de sangre de cada pez mediante punción cardíaca y se procedió a realizar de inmediato el análisis de genotoxicidad mediante la prueba del ensayo cometa (Ugalde et al., 2018).

Los resultados obtenidos se muestran a continuación (Figura 2)

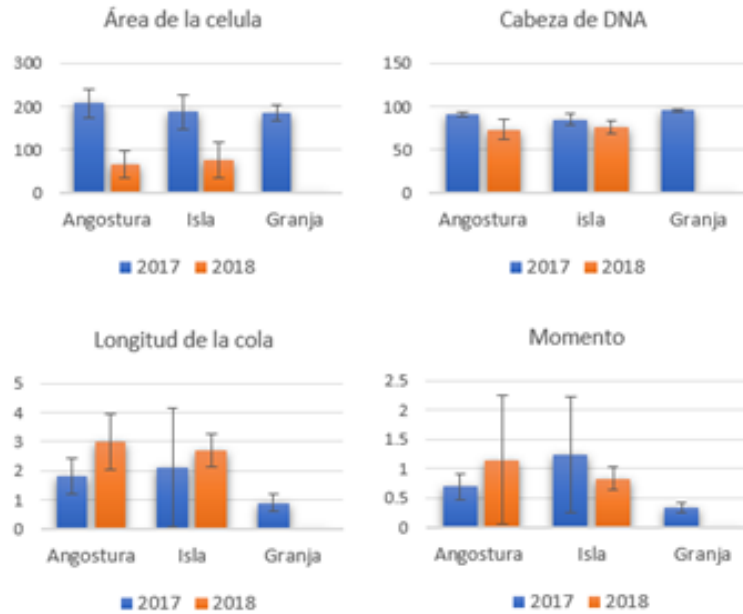


Figura 2. Resultados de los análisis de genotoxicidad mediante el ensayo cometa realizados en los años 2017 y 2018.

Con los resultados obtenidos, se puede observar cómo hay un aumento en la longitud de la cola y una disminución en el área de la célula, esto nos indica un daño considerable en el material genético de los peces, lo anterior puede estar relacionado con la mala calidad del agua presente en el periodo de abril del 2018, donde se obtuvo una disminución considerable de oxígeno disuelto y un aumento en la temperatura, ocasionando daño a la fauna acuática.

Conclusiones

El diagnóstico realizado a las principales fuentes que impactan a la laguna de Yuriria nos demuestra la existencia de una severa contaminación a este cuerpo de agua, producto de la falta de plantas de tratamiento en las comunidades aledañas, así como la insuficiente capacidad de tratamiento de las ya existentes, llegando a afectar la calidad del agua de la laguna al desembocar sus aguas sin un previo tratamiento, teniendo como consecuencia el daño a la fauna (peces).

Además del fuerte impacto humano sobre la calidad del agua en la laguna se suman los efectos del cambio climático, debido a las condiciones de sequía por las que atraviesa la Laguna, lo anterior se fundamenta en aspectos físicos tales como una disminución considerable en la profundidad de la laguna a la mitad del nivel que es capaz de almacenar, el aumento de las concentraciones y los valores de los parámetros antes mencionados, que se deben en parte al largo tiempo de retención que existe, así como también, la falta de dilución de los contaminantes por falta de agua.

Unas de las principales actividades que impactan sobre la laguna de Yuriria es la agricultura, alrededor de ella se encuentra una gran cantidad de hectáreas sembradas, en donde los agricultores utilizan agroquímicos para el funcionamiento del cultivo. Sin embargo, una de las consecuencias es que los tipos de fertilizantes que se utilizan son llevados por los canales que están cerca de las parcelas y las escorrentías, favoreciendo las condiciones del crecimiento del Lirio acuático.

El sector pesquero es una actividad que tiene un gran impacto sobre el cuerpo de agua, debido que las lanchas que utilizan para la recolecta ya se encuentran dañadas y sin mantenimiento. Esto provoca que los combustibles utilizados estén en contacto con el agua, ya que las lanchas han cumplido su ciclo de vida.

Para el sector comercial, que abarca principalmente los restaurantes, la pandemia de COVID 19 afecto reduciendo las ventas en un buen porcentaje, además, para resolver la problemática de la contaminación por parte de este sector no se han dado propuestas para mitigar los efectos ni de parte del gobierno ni de otros organismos. Los mismos locatarios mencionan que conocen de la problemática, pero no saben cómo combatirla eficazmente.

En la parte del control del lirio, la Universidad de Guanajuato ha generado acciones para mitigar esta problemática, resultando en una disminución de esta planta, sin embargo, mientras no se consiga disminuir el proceso de eutrofización de la laguna, esta puede continuar reproduciéndose.

Bibliografía

- CONAGUA. (2014). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. 2014. México: secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2021a). Monitor de Sequia en México. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- CONAGUA. (2021b). Servicio Meteorológico Nacional. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/climogramas-1981-2010>
- González Rico, E., & Meléndez Gómez, R. (2019). Síntesis del Acuífero "Ciénega Prieta - Moroleón". Yuriria: Consejo Técnico de Aguas Ciénega Prieta - Moroleón A.C.
- Pérez Olvera, M., Navarro Garza, H., Flores Sánchez D., Ortega García, N., Tristán Martínez E. (2015). Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el Bajío de Guanajuato. Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México, 221.
- Ramos Ventura L. & Novelo Retana A. (1993). Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. Acta botánica mexicana, 25, 61. <https://doi.org/10.21829/abm25.1993.683>
- Russo C., Rocco L., Morescalchi M.A., Stingo V. (2004). Assessment of environmental stress by the micronucleus test and the comet assay on the genome of teleost populations from two natural environments. Ecotoxicol. Environm. Saf. 57:168-174. doi:10.1016/S0147-6513(03)00027-7.
- SMAOT. (2021). Secretaria del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Obtenido de <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-prottegidas/10/Laguna-de-Yuriria-y-su-Zona-de-Influencia>
- Ugalde González E., Mares Parra G., González Millé D., Costilla Salazar R., Rocha Amador D. (2018). Evaluación de la integridad del ADN de células sanguíneas de peces de la laguna de Yuriria a través del ensayo cometa. Jóvenes en la Ciencia 1(4), 973-977
- VEN Centro Universitario de Vinculación con el Ambiente. (2018). Muestreo de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Gto., antes y después de la aplicación del herbicida. Reporte Técnico.
- VEN Centro Universitario de Vinculación con el Ambiente. (2020). Reporte final del Control Integral del lirio acuático en 950 hectáreas en el área natural protegida laguna de Yuriria y su zona de influencia. Reporte técnico.