

Análisis Geoespacial con Imagen Satelital de Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*) en el Lago de Yuriria, Guanajuato, en el período de julio 2022 a julio 2023

Geospatial Analysis with Satellite Image of Water Lily (*Eichhornia Crassipes*) in Lake Yuriria, Guanajuato, period of July 2022 to July 2023

Fernanda Janetzy González Sánchez¹, Daniela Esmeralda Avilés Garcidueñas², María Isabel Mata Navarro², Israel Castro Ramírez³, Juan Manuel López Gutiérrez³

¹Licenciatura en ingeniería ambiental - Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria 11.ª Avenida, Zona 12 Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

²Licenciatura en ingeniería ambiental – Universidad de Guanajuato. Ex Hacienda El Copal, km 9, Carretera Irapuato-Silao AP. 311 CP. 36500 Irapuato, Guanajuato, México.

³ Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Vida. Ex Hacienda El Copal, km 9, Carretera Irapuato-Silao AP. 311 CP. 36500 Irapuato, Guanajuato.

fgonzalez.0542@gmail.com¹, de.avilesgarcidueñas@ugto.mx², mi.matanavarro@ugto.mx², i.castro@ugto.mx³, lopez.jm@ugto.mx³

Resumen

El lago de Yuriria, Guanajuato ubicado en el municipio que lleva el mismo nombre, es una obra hidráulica de alta importancia a nivel nacional e internacional debido al ecosistema natural que representa y a las especies que en el habitan. Actualmente, se ve afectado por la presencia de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), especie invasora que está causando daños en la dinámica del ecosistema e impactos a nivel social, ambiental y económico. En la presente investigación se realizó un análisis geoespacial con imagen satelital para determinar el área que ocupa el lirio acuático en el lago, así como la estimación de la cantidad y masa de las plantas en el período de julio 2022 a julio 2023. Para ello, las imágenes fueron analizadas con la combinación de bandas de falso color infrarrojo de los satélites Sentinel 2 y Landsat 8-9, con las que se realizó la cuantificación con una clasificación no supervisada. Se encontraron variaciones grandes entre los meses analizados al respecto del área ocupada y la ubicación del lirio en el lago, así como la cantidad estimada de plantas y su masa. En el mes con mayor ocupación se estimó la presencia de 1800 millones de plantas, mientras en el de menor ocupación se estima la presencia de 917 millones. Se observó también un aumento considerablemente alto en las áreas ocupadas por el lirio entre los períodos de 2014-2015 y 2022-2023, llegando hasta quintuplicar el área registrada en el primer período. Se recomienda tener registros de forma mensual para poder establecer si existen o no tendencias de acuerdo con el tiempo. Por último, es de suma importancia que esté entre las prioridades del municipio y del estado las acciones para el control de esta planta invasora, procurando buscar soluciones que aporten un beneficio productivo, así como la restauración y preservación del cuerpo de agua.

Palabras clave: Lago de Yuriria, lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*), análisis geoespacial, imágenes satelitales.

Introducción

El lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*), también conocido como jacinto de agua o lechuguín es una planta perenne, acuática y flotante cuyo origen se encuentra en Sudamérica, específicamente en la cuenca del río Amazonas en Brasil y el río de la Plata en Argentina, habita principalmente cuerpos de agua lénticos; posee un tallo corto, con hojas grandes dispuestas en el exterior y sumergidas, además de contar con flores de tonalidades azul a moradas¹. Esta se presenta como bloques densos que impiden el paso de la luz solar a las profundidades de los cuerpos de agua imposibilitando la fotosíntesis, además de una disminución de los niveles de oxígeno en el agua reduciendo su disponibilidad para otras especies, y con ello la alteración de la diversidad biológica de los ecosistemas². Se encuentra dentro del listado de 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo publicado por el Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI por sus siglas en inglés) por su presencia en más de 50 países de 5 continentes y su rápido crecimiento, ya que se han registrado poblaciones duplicadas en 12 días aproximadamente³.

Esta especie invasora fue introducida en México alrededor del año 1884⁴ y se encuentra presente en el lago de Yuriria. Este cuerpo de agua está ubicado en el municipio de Yuriria del estado de Guanajuato y es una obra hidráulica construida en 1552 cuya función principal es ser vaso regulador de las avenidas del Río Lerma⁵. Localizado en la Cuenca Lerma-Santiago, cuenta con un área de 6000 hectáreas y una capacidad de almacenamiento de 187 millones de metros cúbicos de agua⁶. Es un cuerpo de agua de alta importancia a nivel nacional e internacional ya que está clasificado como ecosistema de agua dulce ubicado dentro de un Área de Importancia para la Conservación de la Aves en el año 1999, Área Natural Protegida Estatal en la categoría de restauración ecológica en 2001 y Sitio Ramsar en 2004⁷. Además, del impacto socioeconómico que posee para la zona debido al desarrollo de actividades como la pesca, agricultura y turismo⁸.

Actualmente, el lago de Yuriria se encuentra bajo el impacto de diversas problemáticas ambientales que afectan la calidad del agua y las interacciones del ecosistema como la descarga de aguas residuales, la contaminación por pesticidas o fertilizantes arrastrados desde las áreas de cultivos, el enriquecimiento de nutrientes y la disminución del volumen de agua⁹. La invasión del lirio acuático en este ecosistema se considera uno de los más alarmantes, ya que durante la época de lluvia ha logrado cubrir hasta el 60% de la superficie del lago, lo cual causa la pérdida paulatina de los hábitats acuáticos de las especies de la zona¹⁰, la reducción del oxígeno disuelto en el agua, el desarrollo de vectores y la interrupción de la cadena alimenticia¹¹. Las afectaciones al área por la presencia del lirio no son únicamente en sentido ambiental, sino que también causa daños socioeconómicos y la interferencia de las actividades de pesca y turismo de la localidad¹².

Para combatir esta problemática, en el año 2023 la Dirección de Ecología del municipio de Yuriria ha realizado acciones de control manual retirando las plantas, control mecánico utilizando máquinas trituradoras y control químico a través de la aplicación de herbicidas. Debido a la alta tasa de reproducción del lirio acuático, a su movimiento constante por acción del viento y a las acciones de control que se han tomado, el área que ocupa esta especie invasora en el lago de Yuriria fluctúa rápidamente con el tiempo.

¹ Ramil et al. (2016).

² Malik (2007).

³ Lowe (2004).

⁴ Miranda y Lot (1999).

⁵ Decreto Gubernativo No. 96 (2001).

⁶ Veyra-Hernández, Bautista-Justo, Zanor y Leal-Morales (2016).

⁷ Granillo-Suárez, I. J., López-López, E., & Martínez, E. (2022)

⁸ Decreto Gubernativo No. 96 (2001).

⁹ Vargas Saénz, Barrios Martínez, Olvera Rosales & Zanor (2021).

¹⁰ Ramos y Novelo (1993).

¹¹ Rodríguez-Lara et al. (2022),

¹² Guardiola (2023).

Monitorear constantemente la presencia de esta planta es importante para cuantificar de forma estimada la presencia de esta plaga, así como revisar las tendencias de crecimiento y descenso del área ocupada por el lirio para poder preparar y priorizar las medidas de control según se necesite.

El objetivo de la presente investigación es conocer la dinámica temporal del crecimiento del lirio acuático en el lago de Yuriria, Guanajuato, en el período de julio de 2022 a julio de 2023, así como estimar la masa vegetal y la cantidad de unidades vegetales presentes según el área de ocupación de esta. Para ello se realizó un análisis y procesamiento de imágenes satelitales en falso color infrarrojo para vegetación procedentes de los satélites Sentinel 2 y Landsat 8 y 9.

Materiales y métodos

Selección del área de estudio: El presente proyecto de investigación fue realizado teniendo como caso de estudio el lago de Yuriria, Guanajuato. Dicho cuerpo de agua se encuentra ubicado en las coordenadas 20°13'00"- 20°17'20"N y 101°12'30"-101°03'35"O, dentro de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, a una altitud de 1740 msnm.

Imágenes satelitales. Para tener acceso a las imágenes satelitales se utilizaron los sitios de libre acceso EO Browser proporcionado por Sentinel Hub para la descarga de imágenes provenientes del satélite Sentinel 2 y EarthExplorer proporcionado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) para obtener imágenes de los satélites Landsat 8 y Landsat 9.

Procesamiento de imágenes satelitales. Se realizó una selección de imágenes con las siguientes consideraciones: observación del espejo de agua completo, nubosidad de la imagen menor al 20% y con un nivel de procesamiento 3A con correcciones radiométricas y de sensor. Para procesar las imágenes se utilizaron simultáneamente los softwares ERDAS Imagine 2015 (v15.00) y QGIS Hannover (v3.16.10) con el siguiente procedimiento:

- a. Exportación de imágenes de formato .TIFF (File Format Tagged Image – Formato de Archivo de Imagen Etiquetado) a. ERS (ERMapper, formato nativo de ERDAS) a través de QGIS.
- b. Combinación de bandas para la obtención de una imagen multibanda en formato .IMG (Imagine, nativo de ERDAS) para el análisis de falso color infrarrojo para vegetación (5,4 y 3 para Landsat 8 y 9; 8, 4 y 3 para Sentinel 2) a través de ERDAS Imagine con la herramienta Layer Stack con los parámetros de salida: Output options: Intersection checked – Ignore Zero in Stats checked.
- c. Delimitación del área de interés en QGIS correspondiente al espejo de agua del lago exportada a formato TIFF
- d. Clasificación no supervisada con ERDAS a través del método K Means (K medias), algoritmo que agrupa datos a través de las distancias entre los mismos en un proceso de iteraciones, exportando el resultado en formato IMG. Los parámetros utilizados fueron: Clustering options: Initialize from statistics;K. Means, # of Classes: 15, Maximum Iterations: 10, Convergence Threshold: 0.950, Skip Factor: X: 1 – Y: 1. Classify zeros: unchecked.
- e. Identificación de los valores de la paleta de colores de la clasificación que correspondían a lirio acuático según las imágenes producidas en falso color infrarrojo para vegetación utilizando QGIS en las Propiedades de la imagen clasificada, apartado de simbología.
- f. Proceso de vectorizado utilizando QGIS, se convirtió la imagen de formato ráster a formato vector utilizando la función Poligonizar con los parámetros de salida: Campo a crear: DN (valor de la paleta de colores). El resultado se exportó en formato SHP (archivo shape de ESRI)
- g. Cálculo del área ocupada por lirio acuático en hectáreas (Ha) con la tabla de atributos, utilizando la calculadora de campos con los parámetros de salida: Crear un campo nuevo: checked, Nombre del campo de salida: Area_ha, Tipo de campo de salida: Número decimal real, Longitud del campo de salida: 10, Precisión: 3, Expresión: \$area/10000.
- h. Sumatoria de áreas de lirio acuático utilizando Microsoft Excel en donde se copiaron los datos de la tabla de atributos y se aplicó un filtro para seleccionar únicamente los valores de la paleta de colores (campo DN) que corresponden al lirio acuático, procediendo a realizar la sumatoria de las áreas.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la cuantificación realizada durante el análisis geoespacial de lirio acuático en el lago de Yuriria.

Se produjeron un total de 13 imágenes presentadas en formato de mapa. A partir de estas se obtuvo el área ocupada por el lirio de forma mensual y la estimación de la cantidad de plantas presentes y la masa vegetal con datos de investigaciones previas, presentados en la Tabla 1.

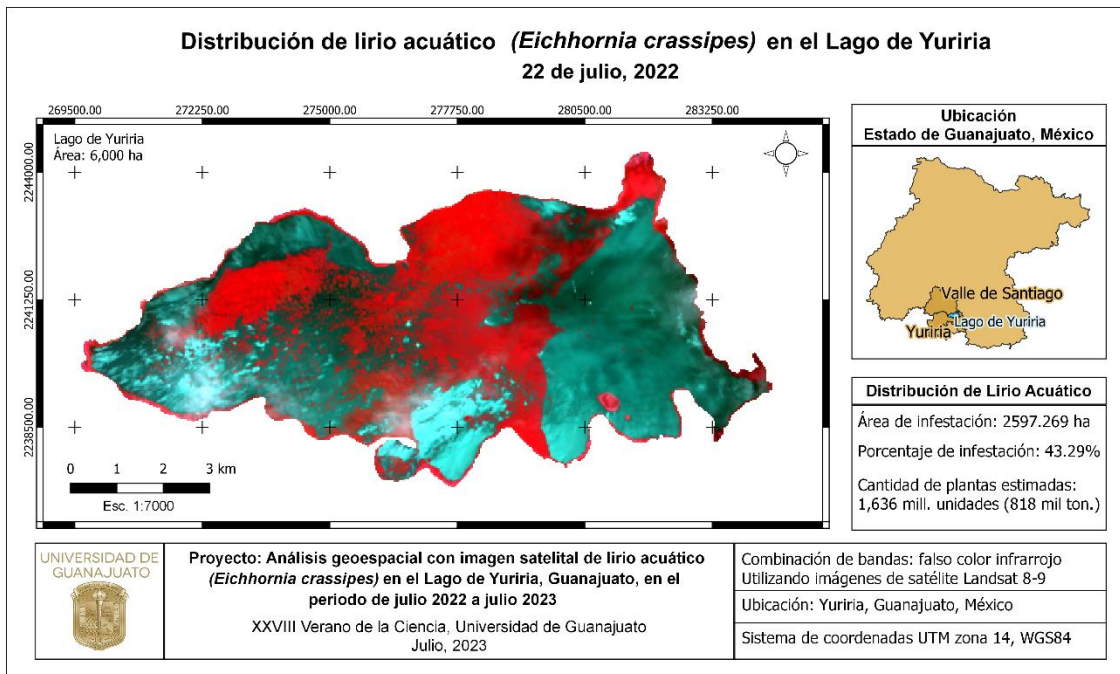


Figura 1. Área de infestación, julio 2022.

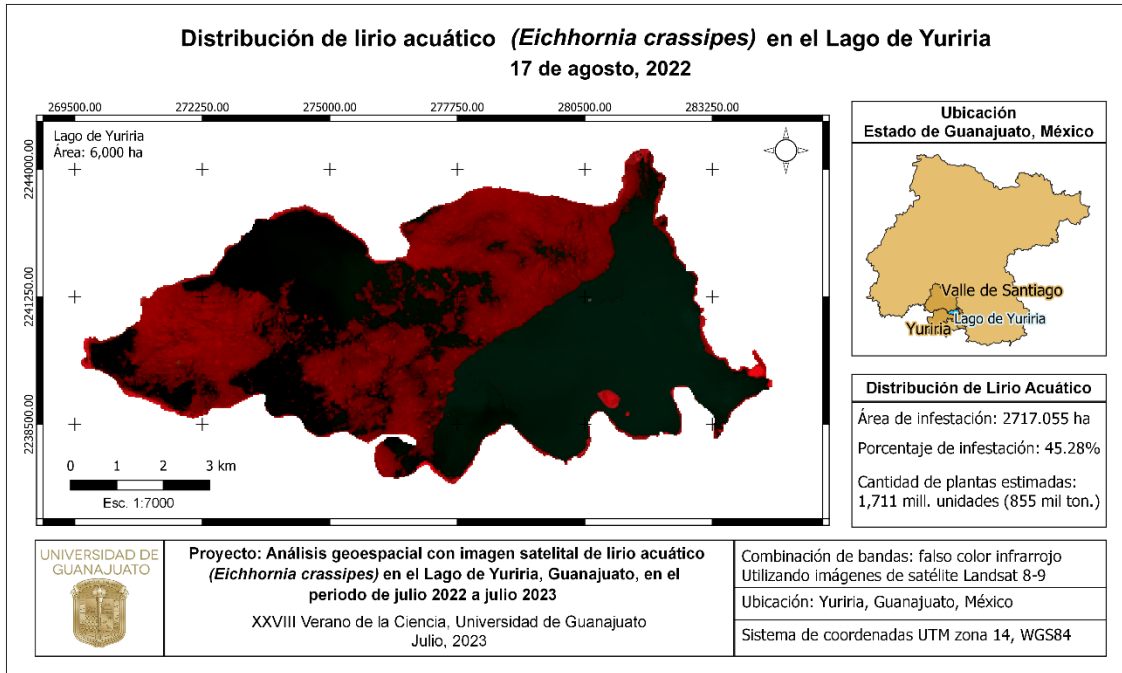


Figura 2. Área de infestación, agosto 2022.

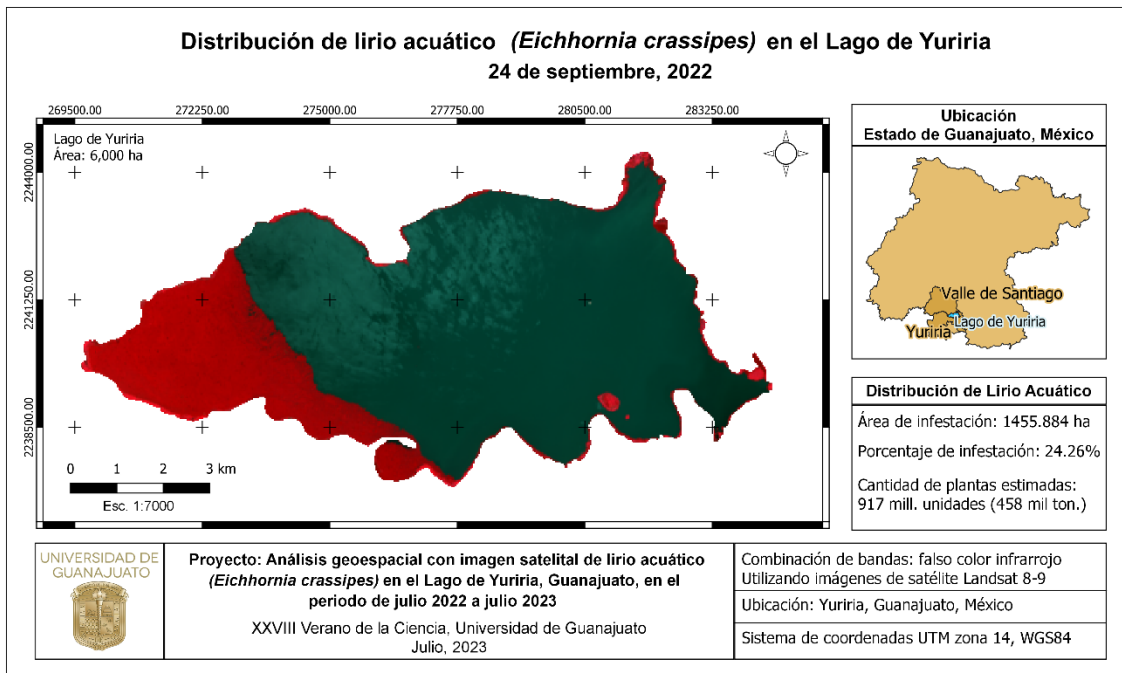


Figura 3. Área de infestación, septiembre 2022.

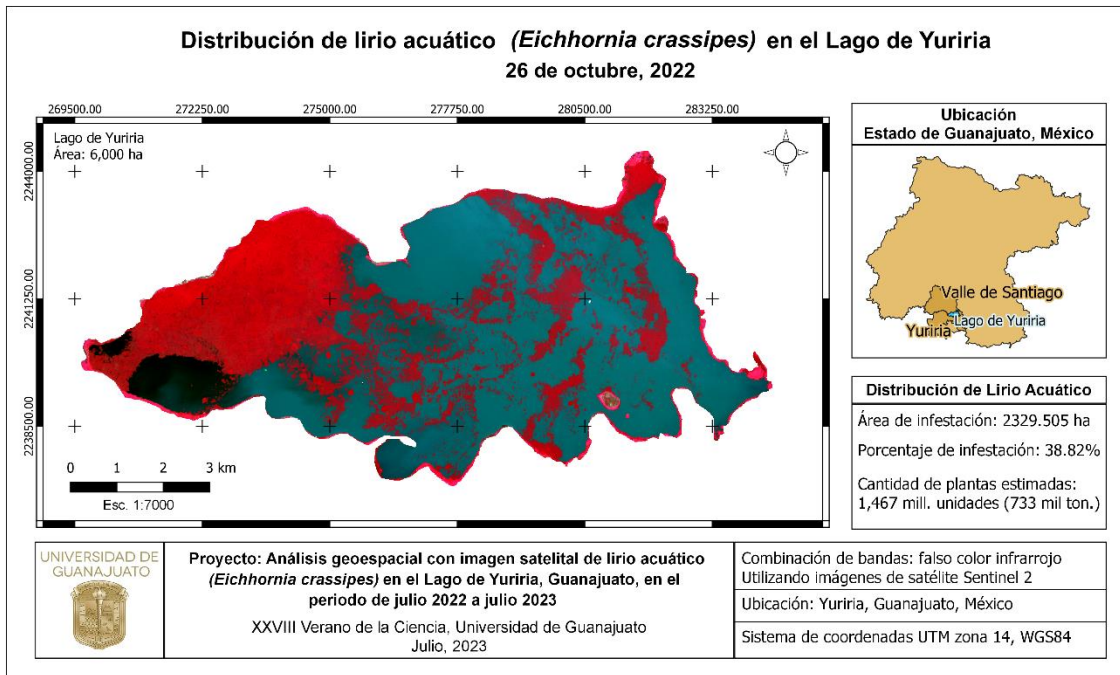


Figura 4. Área de infestación, octubre 2022.

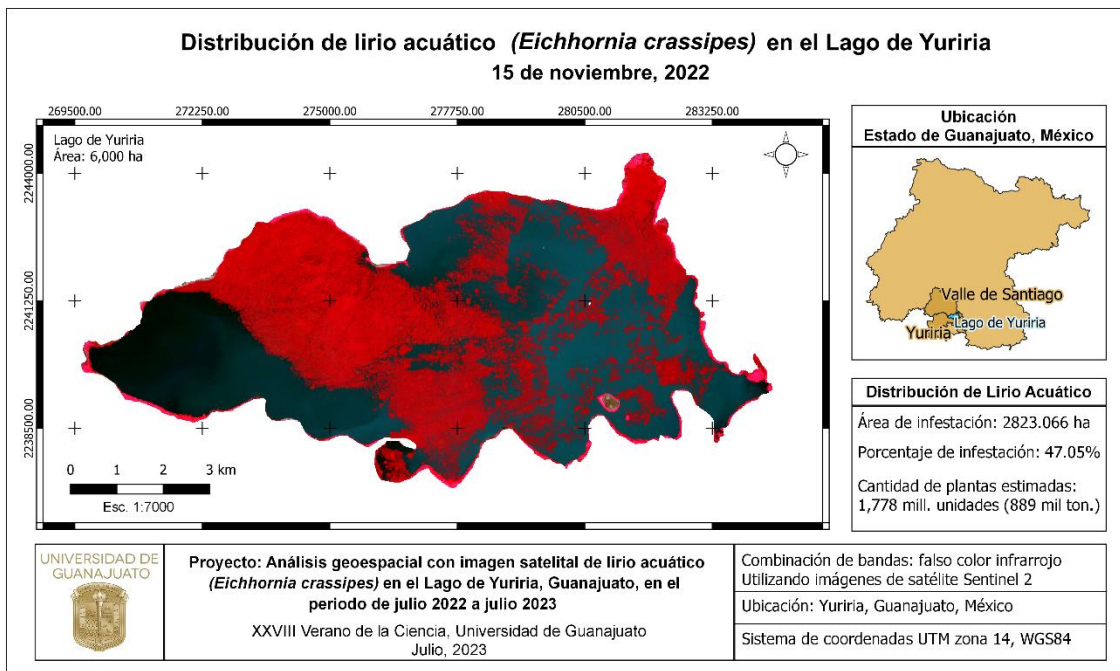


Figura 5. Área de infestación, noviembre 2022.

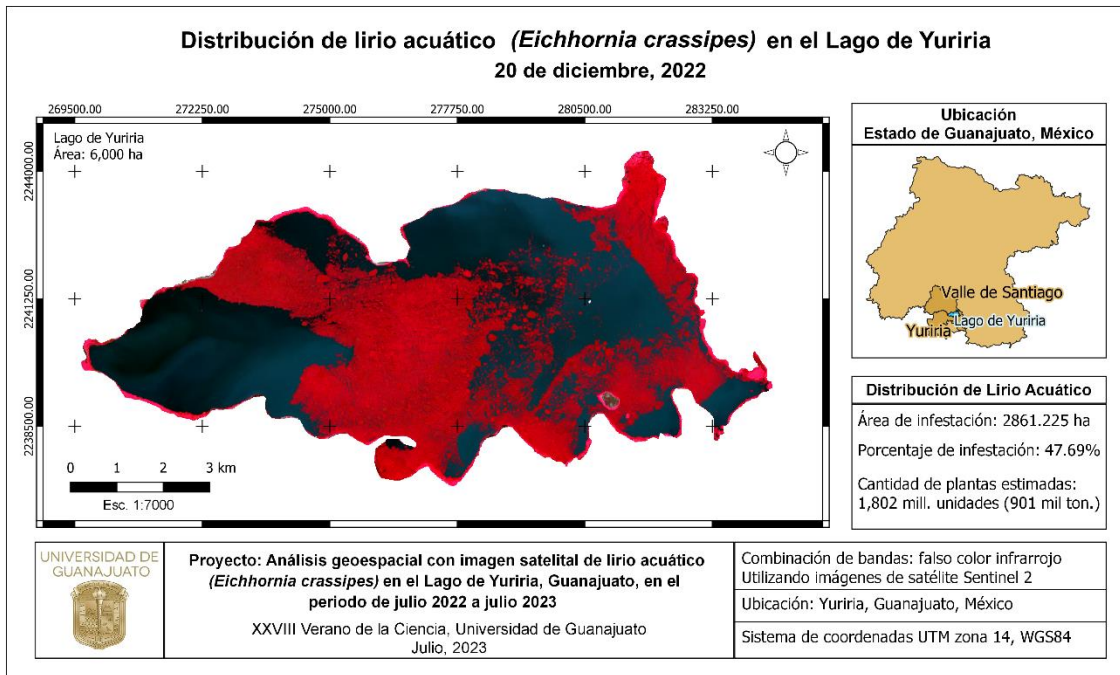


Figura 6. Área de infestación, diciembre 2022.

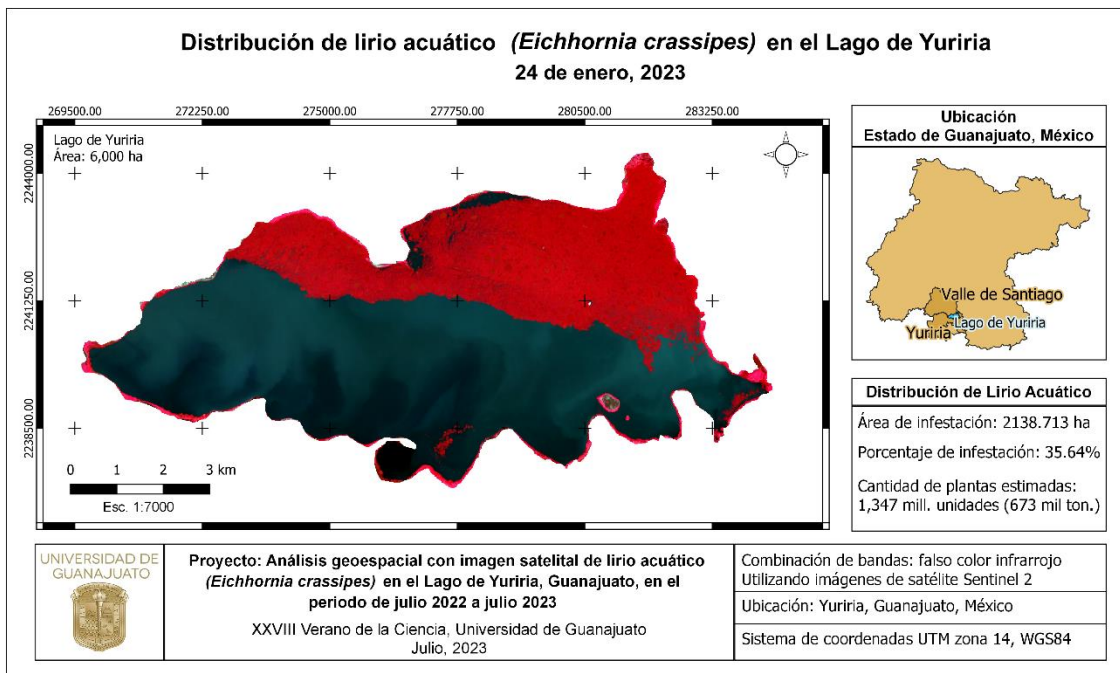


Figura 7. Área de infestación, enero 2023.

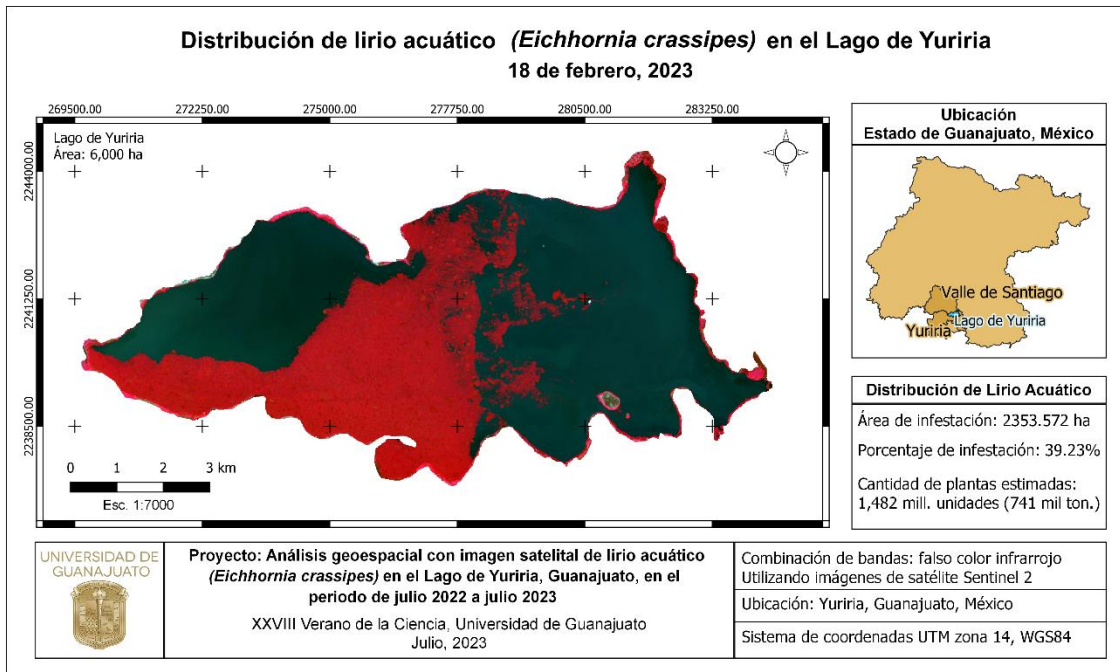


Figura 8. Área de infestación, febrero 2023.

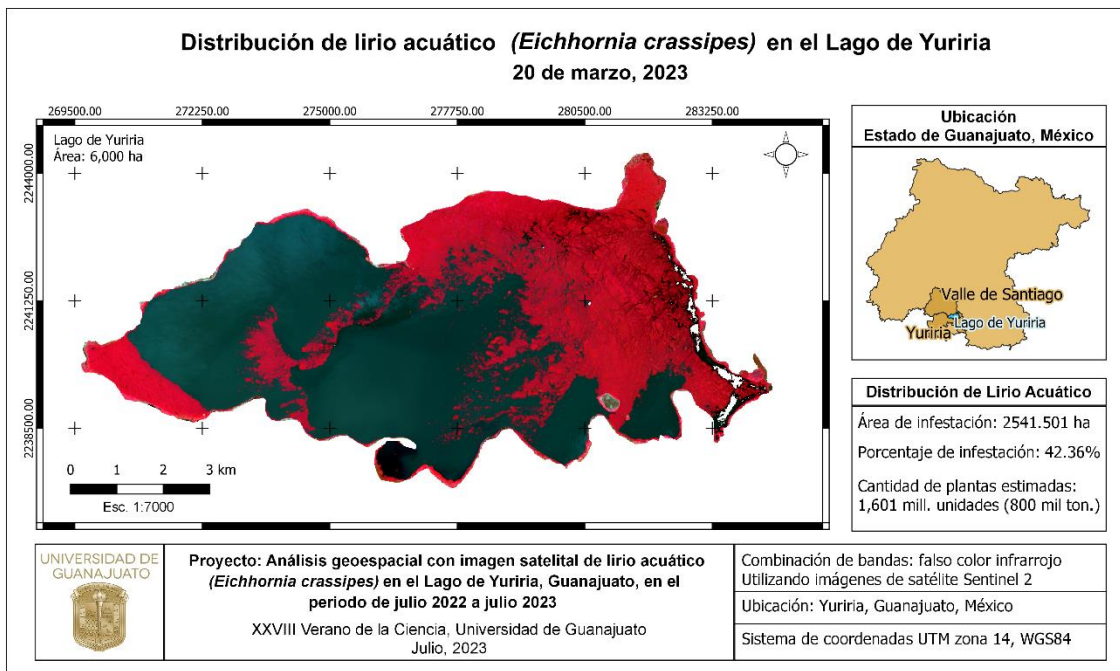


Figura 9. Área de infestación, marzo 2023

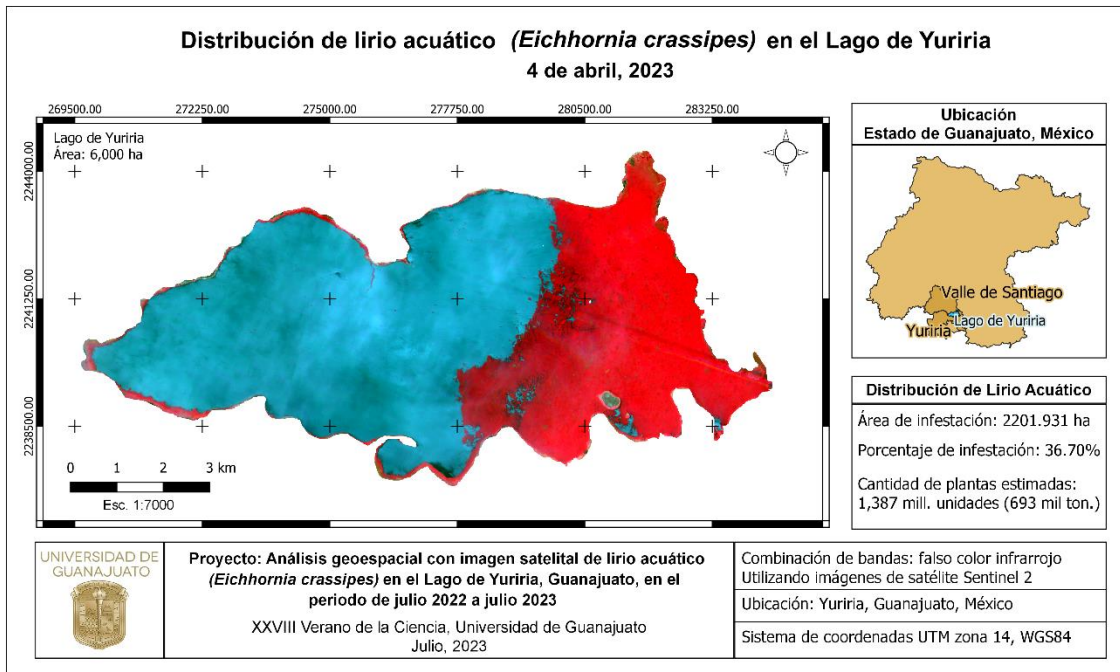


Figura 10. Área de infestación, abril 2023.

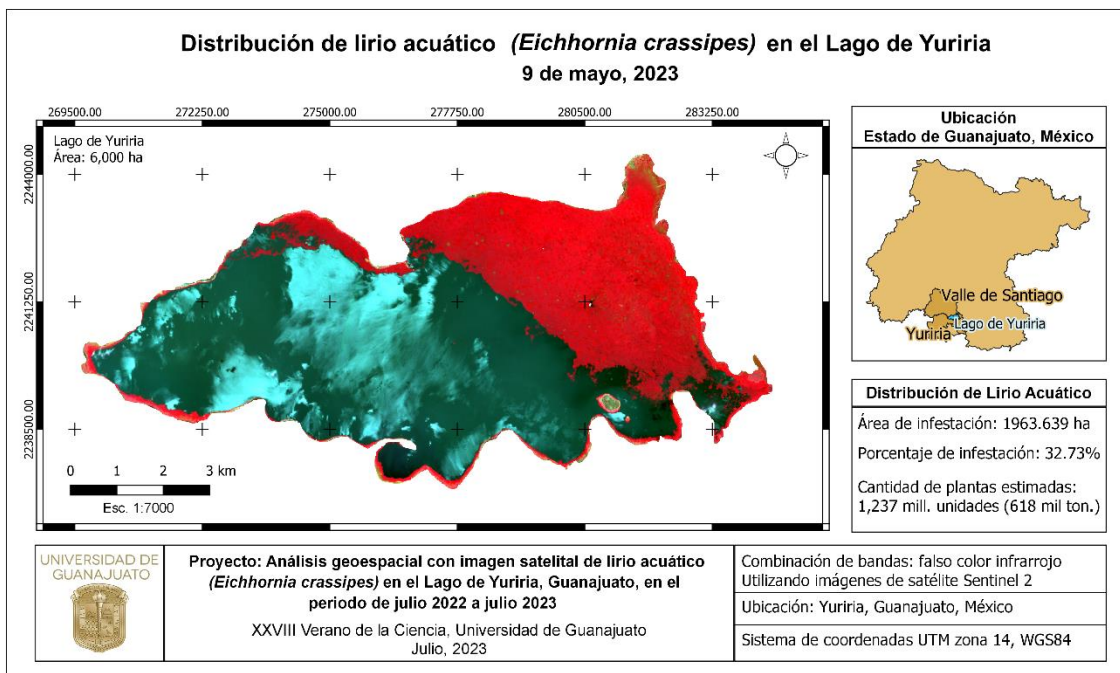


Figura 11. Área de infestación, mayo 2023.

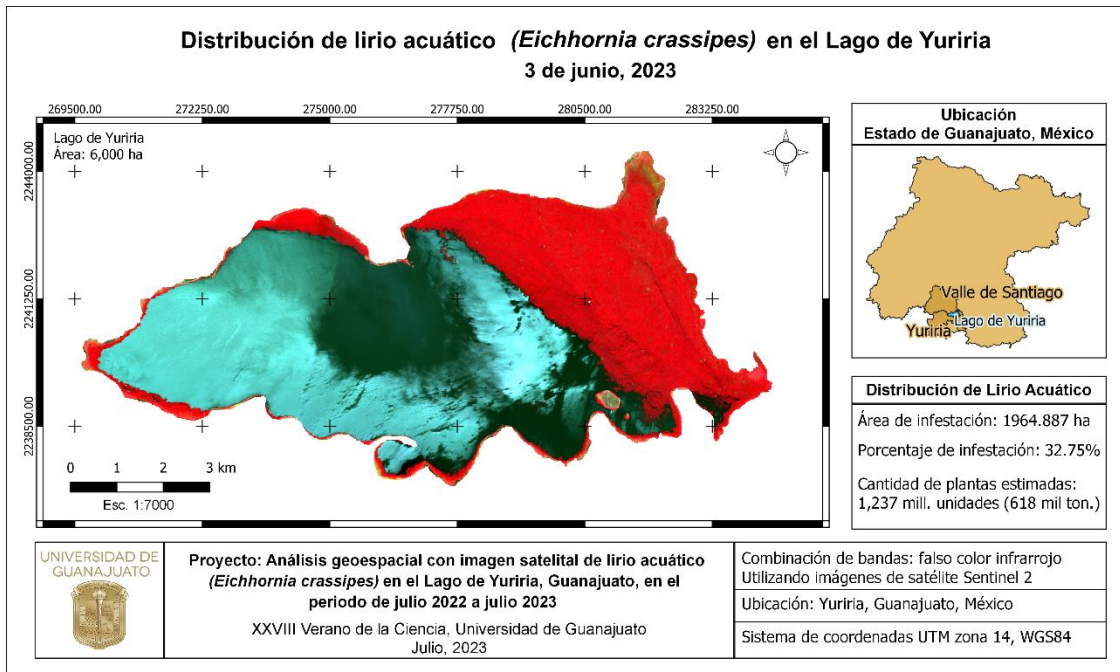


Figura 12. Área de infestación, junio 2023.

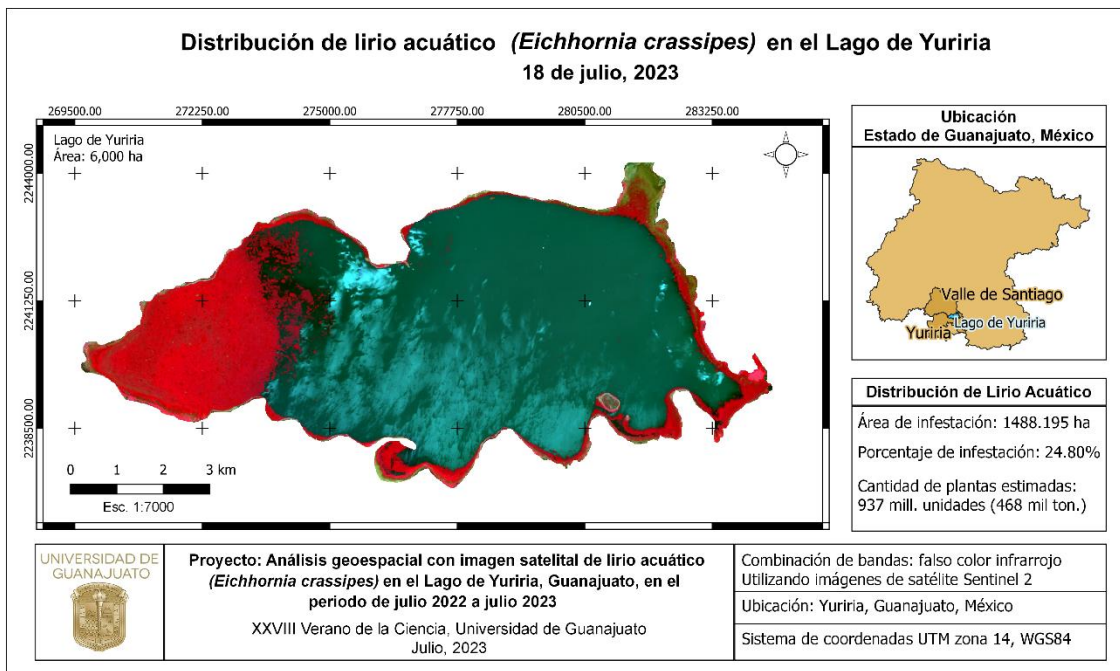


Figura 13. Área de infestación, julio 2023.

Tabla 1. Áreas de infestación de lirio acuático en el lago de Yuriria obtenidas a través de imágenes satelitales, período julio de 2022 a julio de 2023, con estimación de cantidad de plantas y masa vegetal

Fecha	Área de Infestación (Ha)	Área infestación (%)	Número de plantas (unidades de lirio acuático)	Masa (Ton)
22-jul-22	2597.269	43.29	1636279470	818140
17-ago-22	2717.055	45.28	1711744650	855872
24-sep-22	1455.884	24.26	917206920	458603
26-oct-22	2329.505	38.83	1467588150	733794
15-nov-22	2823.066	47.05	1778531580	889266
20-dic-22	2861.225	47.69	1802571750	901286
24-ene-23	2138.713	35.65	1347389190	673695
18-feb-23	2353.572	39.23	1482750360	741375
20-mar-23	2541.501	42.36	1601145630	800573
4-abr-23	2201.931	36.70	1387216530	693608
9-may-23	1963.639	32.73	1237092570	618546
3-jun-23	1964.887	32.75	1237878620	618939
18-jul-23	1488.195	24.80	937562850	468781

Discusión de resultados

Las imágenes satelitales son de gran utilidad para cuantificar elementos naturales en un área de tamaño considerablemente grande, ya que proporcionan un método práctico para poder cuantificar para este proyecto la cantidad de lirio acuático presente. En la combinación de bandas falso color infrarrojo, metodología utilizada en la presente cuantificación, el color rojo intenso indica vegetación sana y bien desarrollada, mientras que el rosa puede indicar vegetación menos densa y enferma, además de identificar a los cuerpos de agua en color azul oscuro o negro¹³.

En las figuras de la 1 a la 13 se observan los mapas realizados del lago de Yuriria que muestran en tonalidad rojo intenso la distribución de lirio acuático en este cuerpo de agua para cada mes del año en el período de estudio.

En el mes de julio 2022, la imagen utilizada corresponde al día 22 del mes. Se observa la presencia del lirio distribuida en la parte central del lago y en las periferias. No se tenía una distribución compacta, sino que se puede observar el esparcimiento del lirio. En agosto se observa un comportamiento similar, contrastando con lo observado para el mes de septiembre en donde el lirio presente se observa de forma únicamente en el lado oeste del lago. El área ocupada por el lirio disminuyó en un 21.02%, lo cual se puede deber a la acción de compactación por vientos predominantes y este fue el punto de mínima área de ocupación en el período de estudio. En los meses de octubre a diciembre se observa que el lirio se esparció al centro y periferias del lago, perdiendo su estructura compacta y la densidad de ocupación.

¹³ Comisión Nacional de Actividades Espaciales (s.a.)

El área de infestación aumentó considerablemente, hasta alcanzar su punto máximo en el mes de diciembre ocupando un 47.69% del área del espejo de agua. En los meses restantes de enero a julio de 2023 la distribución del lirio se encontró más compacta al norte, centro, este y oeste del lago, pasando por períodos de esparcimiento ligero como se observa para los meses de febrero y marzo. Es necesario tener registros disponibles de los movimientos de las masas de lirio en el lago y de los vientos predominantes del área, para analizar si existen tendencias mensuales de movimiento y áreas de mayor compactación. Si existe una tendencia, se puede tener una aproximación de los movimientos y prever las áreas en donde deben focalizarse las medidas de control en cada mes.

En la Tabla 1, se observan los datos obtenidos para cada mes de las áreas de infestación y los respectivos porcentajes, según se discutió anteriormente y se muestra en los mapas generados. Además, se estimó la cantidad de plantas presentes según el área de ocupación y la masa de estas, ya que en estudios previos se tiene que en promedio una planta de lirio acuático tiene un peso de 0.50 kilogramos y que existe una densidad de 63 plantas por metro cuadrado del espejo de agua¹⁴. En septiembre del 2022, en el mes de menor área ocupada, se estiman más de 900 millones de plantas, lo cual representa 458 mil toneladas de masa vegetal presente en el lago. En el mes de máxima ocupación, diciembre de 2022, se estima la presencia de 1802 millones de plantas, es decir, 901 mil toneladas. Esto representa un desafío alto para poder controlar esta especie invasora, pero a la vez una posibilidad de aprovechamiento debido a los altos volúmenes que se manejan. Por ello, se debe invertir en encontrar diferentes vías de aprovechamiento de la planta y su posible uso como materia prima u otros fines. Para ello se deben priorizar las medidas de control mecánico y manual, ya que las medidas de control químico en las que la planta muere pueden causar efectos negativos en la calidad del agua por el proceso de degradación y descomposición que sufre, además de no generar ningún beneficio económico.

Con fines de análisis, se realizó una comparativa con los resultados de un estudio previo (Tabla 2 y Figura 14), cuyos datos de área de infestación fueron proporcionados por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato para el período de julio de 2014 a junio de 2015¹⁵, exceptuando el mes de noviembre cuya información no se encuentra disponible. En esta se encontró un aumento considerablemente alto del área ocupada por el lirio acuático, siendo el mínimo aumento en el mes de junio comparando los años 2022 y 2023 con un 166.41% y el máximo en el mes de diciembre comparando los años 2014 y 2022 con 470.69%.

Tabla 2. Comparativa de infestación de lirio acuático para los períodos de 2014-2015 y 2022-2023 en el Lago de Yuriria

Mes	Área de Infestación 2014-2015 ¹⁵ (Ha)	Área de Infestación 2022-2023 (Ha)	Variación (%)
Julio	780.92	2597.27	332.59
Agosto	687.55	2717.06	395.18
Septiembre	457.71	1455.88	318.08
Octubre	922.28	2329.51	252.58
Diciembre	607.88	2861.23	470.69
Enero	666.83	2138.71	320.73
Febrero	668.62	2353.57	352.00
Marzo	682.52	2541.50	372.37
Abril	651.55	2201.93	337.95
Mayo	946.46	1963.64	207.47
Junio	1180.75	1964.89	166.41

¹⁴ Veyra-Hernández, Bautista-Justo, Zanor y Leal-Morales (2016).

¹⁵ Veyra-Hernández, Bautista-Justo, Zanor y Leal-Morales (2016).

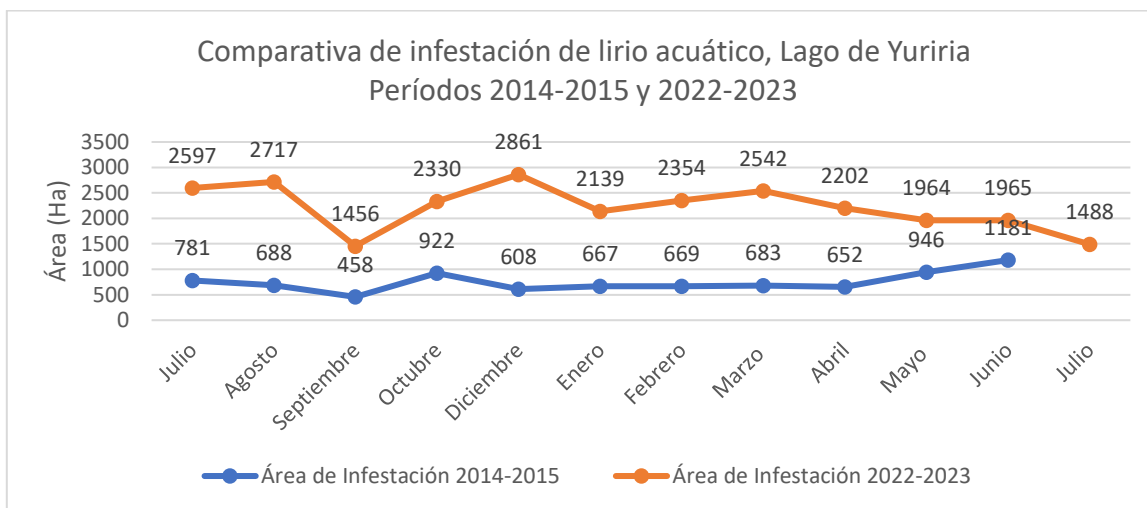


Figura 14. Área de infestación, julio 2022.

El aumento del área ocupada ha sido considerablemente alto, por lo cual debe ser una prioridad para el municipio realizar acciones constantes y efectivas para evitar que esta planta invasora se siga extendiendo en la zona y cause consecuencias graves en el ecosistema. Por último, se observa en la Figura 14 que ambos períodos de comparación coinciden en el mes de septiembre como el mes con menor área ocupada por el lirio acuático. En el mes de octubre se tiene un aumento en la extensión ocupada en ambos períodos y en diciembre se rompe la similitud. Sin embargo, de enero a abril se tiene un comportamiento similar en ambos períodos, en el que se observa un aumento en el área de lirio hasta el mes de marzo en el cual se tiene un pico, más evidente en el período 2022-2023, y disminuyendo en abril, rompiendo nuevamente la similitud en el mes de mayo. Es importante que la cuantificación del lirio sea constante y de esta manera poder establecer tendencias mensuales, y relacionarlas con aspectos climáticos, así como las medidas de control desarrolladas y otros aspectos de interés.

Conclusiones

Las áreas ocupadas por el lirio acuático y su ubicación dentro del lago de Yuriria son muy dinámicas, tanto en la extensión que se ocupa como en el grado de compactación observable. En este aspecto, los vientos predominantes tienen una influencia importante. Tener un registro anual de las áreas infestadas y su posición, así como la comparativa con los vientos predominantes es necesario para establecer si existen tendencias entre ambas variables y prever las zonas en las cuales se tendrá la mayor concentración de lirio para ubicar en ellas las acciones de control pertinentes.

En el período de estudio de julio 2022 a julio 2023 se obtuvo la menor área ocupada por el lirio acuático en el mes de septiembre de 2022, por lo tanto, se estima una menor cantidad de plantas y masa vegetal. El mes de mayor ocupación fue diciembre de 2022, estimando 901 mil toneladas de lirio. La cantidad presente es muy alta, por lo cual se debe priorizar entre las medidas de control manual y mecánico, buscando un beneficio productivo o aprovechamiento tomando la planta como materia prima.

Comparando la infestación de lirio en los períodos de 2014-2015 y 2022-2023 se observó un aumento en todos los meses analizados que, como mínimo, duplicó las áreas que se registraron en el primer período e incluso en el mes más alto se quintuplicó. El aumento de las áreas ocupadas es alarmante, por lo que debe ser una prioridad para el municipio y el estado mantener un control de esta plaga, por la importancia nacional e internacional de este ecosistema. Por último, entre ambos períodos de comparación, se encontró que el mes de septiembre registró una menor área ocupada por lirio y que existe una similitud en las tendencias de aumento y descenso de las áreas de infestación en los meses de enero a abril. Los registros mensuales de

las áreas ocupadas por esta planta pueden ser una herramienta para establecer si existen tendencias mensuales y relacionarlas con aspectos climáticos o actividades desarrolladas en cada período.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada, a través del XXVIII Verano de la Ciencia. A los doctores Israel Castro y Juan Manuel López. A Martín Salmerón Hernández, de la Dirección de Ecología del municipio de Yuriria.

Bibliografía/Referencias

- Malik A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environment international*, 33(1), 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.004>
- Ramil Rego, P., Rubinos Román, M., Gómez-Orellana, L., Hinojo Sánchez, B., & Rodríguez, P. (2014). *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia como resultado de un transporte por mar a larga distancia. *Recursos Rurais*, 10, pp. 15-24. <https://doi.org/10.15304/rr.id3319>
- Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. (2004) 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database (2004). Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), un grupo especialista de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126-Es.pdf>
- Decreto Gubernativo No. 96 del 2001. [Gobierno del Estado de Guanajuato]. Por el cual se declara como Área Natural Protegida en la categoría de restauración ecológica, la zona conocida como Laguna de Yuriria y su zona de influencia, del municipio de Yuriria, Gto. 13 de noviembre del 2001. http://transparencia.guanajuato.gob.mx/biblioteca_digital/docart10/200804301701350.12.-Decla.%20Laguna%20de%20Yuriria.pdf
- Vieyra-Hernández, M., Bautista-Justo, M., Zanon, G. y Leal-Morales C. Infestación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. Universidad de Guanajuato. https://app.ecologiagto.mx/servicios/archivosc/laguna_yuriria/Dinamica_poblacional_de_lirio_acuatico.pdf
- Granillo-Suárez, I. J., López-López, E., & Martínez, E. (2022). ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE YURIRIA, GUANAJUATO, MÉXICO PARA 2022. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(2), 19-29. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/download/15/11>
- Vargas Saénz, S. M., Barrios Martínez, Z. G., Olvera Rosales, B., & Zanon, G. A. (2021). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE YURIRIA (GUANAJUATO) Y SU IMPACTO ANTRÓPICO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenenciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenenciencia/article/view/3288>
- Miranda, M. y Lot, A. (1999). El lirio acuático, ¿una planta nativa de México? *Ciencias* 53, enero-marzo, 50-54. <https://www.revistacienciasunam.com/es/106-revistas/revista-ciencias-53/928-el-lirio-acuatico-iuna-planta-nativa-de-mexico-.html>
- Ramos, L. y Novelo, A. (1993). Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. *Acta Botánica Mexicana*, 25. <https://doi.org/10.21829/abm25.1993.683>
- Rodríguez-Lara, J., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L., Aguirre-Mancilla, C., y Andrio-Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33, 1. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44201>
- Guardiola, A. (26 de febrero de 2023). Parásito vegetal devora la Laguna de Yuriria. *Excelsior*. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/parasito-vegetal-devora-la-laguna-de-yuriria/1572491>
- Comisión nacional de Actividades Espaciales (s.f.). Programa 2Mp Guía de Interpretación Visual de Imágenes Satelitales. Gobierno de Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_interpretacion_visual_de_imagenes_satelitales.pdf