



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
Y LOS EFECTOS ANTROPOGÉNICOS SOBRE
SISTEMAS LÉNTICOS.
CASO: LAGUNA DE CALDERAS, SAN VICENTE
PACAYA, GUATEMALA**

**EVALUATION OF WATER QUALITY AND
ANTHROPOGENIC EFFECTS ON LENTIC SYSTEMS. CASE:
LAGUNA DE CALDERAS, SAN VICENTE PACAYA,
GUATEMALA**

Dennis Salvador Argueta Mayorga

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

José Luis Argueta Mayorga

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Mayra Virginia Castillo Montes

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i3.11996

Evaluación de la Calidad del Agua y los Efectos Antropogénicos sobre Sistemas Lénticos. Caso: Laguna de Calderas, San Vicente Pacaya, Guatemala

Dennis Salvador Argueta Mayorga¹

arguetadennis@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8284-8707>

Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala

José Luis Argueta Mayorga

jlam.argueta@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3480-4263>

Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala

Mayra Virginia Castillo Montes

mayracastillom@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-0998-6502>

Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

alfredog0707@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4727-060X>

Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala

RESUMEN

El presente trabajo investigativo corresponde al análisis de un sistema léntico (lagos, lagunas, estuarios, entre otros), basándose en el comportamiento de ciertas variables fisicoquímicas y su relación con el uso del suelo de la cuenca que subtiende dicho recurso hídrico. En este caso, se analizó el comportamiento de las variables mencionadas, en la laguna de Calderas, de Guatemala. Se realizó una visita preliminar en donde se analizaron aspectos de trascendencia como puntos de muestreo, tipo de embarcación a utilizar para alcanzar los puntos definidos, entre otros. El objetivo principal correspondió a establecer los parámetros de calidad del recurso hídrico de la Laguna de Calderas y la incidencia del uso del suelo en sus valores, analizando mapas de clasificación supervisada categorizando los diferentes usos dentro de la cuenca. Se determinó que la calidad del agua de la Laguna de Calderas ha venido en decadencia, y los valores críticos encontrados en los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad y transparencia se dan en las cercanías a las áreas cuyo uso del suelo corresponden a la agricultura, urbanización e industria.

Palabras clave: cuerpo hídrico, eutrofización, nutrientes, escorrentía, uso del suelo

¹ Autor principal.

Correspondencia: arguetadennis@gmail.com

Evaluation of Water Quality and Anthropogenic Effects on Lentic Systems. Case: Laguna de Calderas, San Vicente Pacaya, Guatemala

ABSTRACT

This research work corresponds to the analysis of a lentic system (lakes, lagoons, estuaries, among others), based on the behavior of certain physicochemical variables and their relationship with land use within the watershed underlying said water resource. In this case, the behavior of the mentioned variables was analyzed in Calderas Lagoon, Guatemala. A preliminary visit was conducted where aspects of significance such as sampling points, type of vessel to be used to reach the defined points, among others, were analyzed. The main objective was to establish the water quality parameters of Calderas Lagoon and the incidence of land use on its values, analyzing supervised classification maps categorizing the different uses within the watershed. It was determined that the water quality of Calderas Lagoon has been declining, and critical values found in the parameters of temperature, dissolved oxygen, turbidity, and transparency occur in areas near land uses corresponding to agriculture, urbanization, and industry.

Keywords: water body, eutrophication, nutrients, runoff, land use

Artículo recibido 22 mayo 2024

Aceptado para publicación: 24 junio 2024

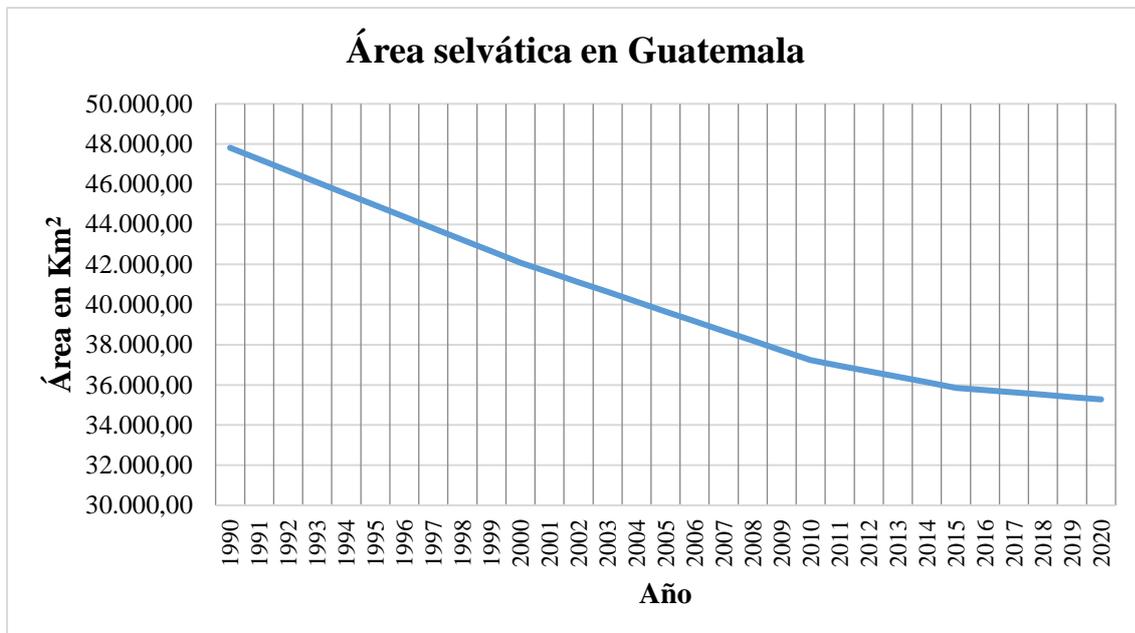


INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el uso del suelo ha presentado un dinamismo muy peculiar y de alta importancia. Como puede apreciarse en la figura 1, el área selvática se ha disminuido en más del 25% en el periodo de 1990 a 2020. Es decir, ha habido una disminución de la superficie, que de acuerdo con la base de datos del Banco Mundial (2022), se refiere a la zona forestal con agrupaciones de árboles naturales o plantados de por lo menos 5 metros de altura (*in situ*), sean estos para usos productivos o no.

Las actividades del hombre han impactado sobre la calidad del agua de los sistemas lénticos y no se aíslan completamente del crecimiento de las áreas urbanas, sino, que en buena medida se ve influida por el cambio en la cobertura del uso del suelo (Robledo, Vanegas, & García, 2014b).

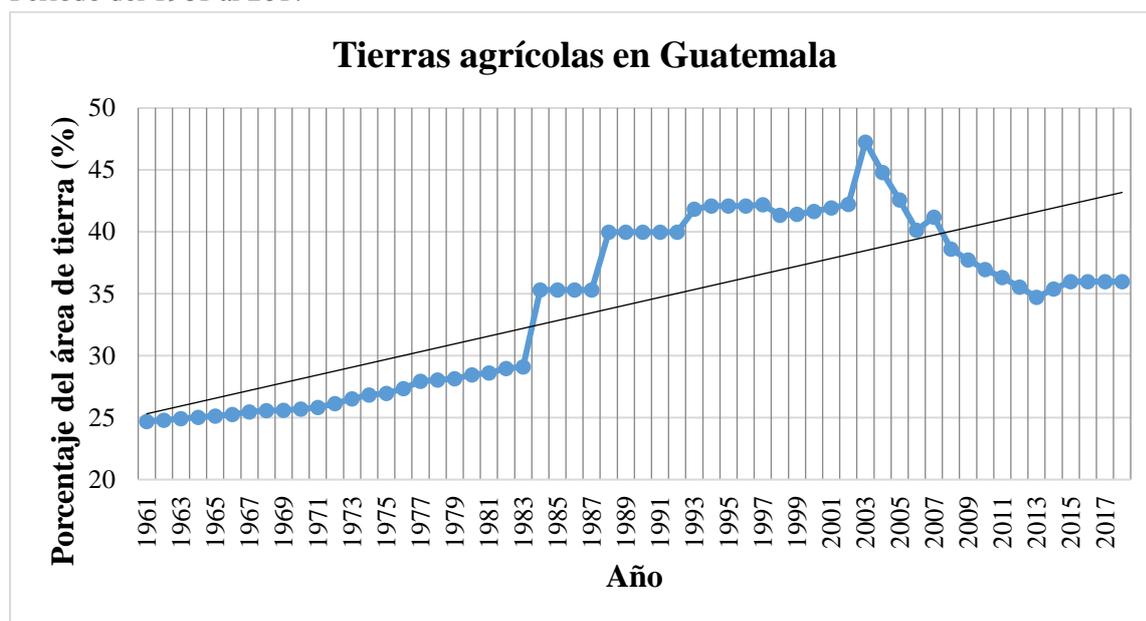
Figura 1 Disminución del área selvática en Guatemala de 1990 a 2020



Nota. El gráfico representa una disminución importante en la superficie del área selvática para Guatemala, con propensión a continuar descendiendo si no se implementa una respuesta para contrarrestar dicha tendencia. Elaboración propia con base en Banco Mundial, 2022.

La figura 1 representa un indicio de que la calidad del agua de la laguna de Calderas pueda alterarse debido al decrecimiento del área selvática dentro de la cuenca que subtiende dicho sistema léntico. Dentro del cambio del uso del suelo destaca la transformación de una tierra boscosa o selvática hacia terrenos para producción agrícola, en todo el país. Ver figura 2.

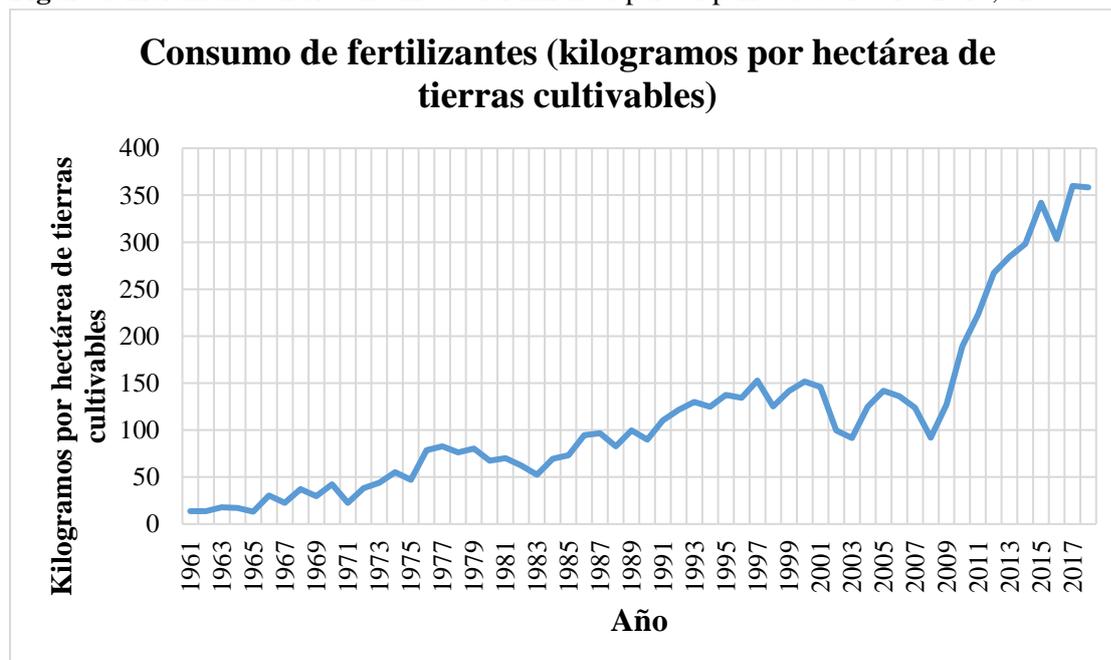
Figura 2 Dinámica en el porcentaje de la tierra agrícola en Guatemala, con respecto del total de tierra. Periodo del 1961 al 2017



Nota. En este gráfico se puede observar una tendencia al incremento del porcentaje de la tierra agrícola en Guatemala, aumentando en más del 40 por ciento en un periodo de 56 años. Elaboración propia con base en Banco Mundial, 2022.

El aumento de la tierra agrícola conlleva, a su vez, mayor empleo de fertilizantes, que, en un determinado momento, pueden arrastrar nutrientes (a través de escorrentía superficial y sub-superficial) hacia los recursos hídricos (en este caso, la laguna de Calderas). En la figura 3 se muestra el consumo de fertilizantes en Guatemala (en todo el territorio) para un periodo de 57 años (de 1961 a 2018).

Figura 3 Incremento en el consumo de fertilizantes para el periodo de 1961 a 2018, en Guatemala



Nota. El gráfico de la variación en el consumo de fertilizantes, en kilogramos por hectárea de tierra cultivable, por cada año del periodo comprendido entre 1961 a 2018, resalta un incremento de más de 18 veces en el empleo de fertilizantes. Elaboración propia con base en Banco Mundial, 2022.



La eutrofización en un cuerpo hídrico depende en parte, de la cantidad de nutrientes que pueden llegar al espejo del agua que comprende dicho sistema. A nivel nacional se atestigua un incremento en el consumo de fertilizantes, que, en un determinado momento, pueden ser acarreados a través de escorrentía a los sistemas lénticos y lóticos. Esto a su vez, incide en la calidad fisicoquímica y biológica de los recursos hídricos. En algunos estudios, se ha observado que existe una relación e influencia entre el tipo de uso de suelo y la calidad del agua ((Briceño, Pérez, San Miguel, & Ramos, 2018; Chen, Elhadj, Xu, Xu, & Qiao, 2020; Giri & Qiu, 2016; Huang, Zhan, Yan, Wu, & Deng, 2013; Lee, Hwang, Lee, Hwang, & Sung, 2009; Robledo et al., 2014b; Robledo, Vanegas, & García, 2014a; Singh, Bhardwaj, & Verma, 2020; Xu, Cai, Du, & Guo, 2020).

El agua representa un importante recurso para vivir y que permite la sobrevivencia de todas las especies sobre la Tierra, tanto al ser humano como a los animales y a las plantas (Cheah & Hamid, 2016); además, el agua se ha convertido en uno de los recursos naturales vitales para el día a día y el buen vivir de cada uno de los seres humanos en el mundo. Sin embargo, se ha observado que se han ido incrementando las interacciones del ser humano y sus actividades en las áreas de influencias de diferentes recursos hídricos. Estudios sobre la calidad de los recursos hídricos los consideran como recursos finitos, es decir, la calidad del agua será difícil de que permanezca con características esenciales para el uso del ser humano como para diferentes seres sobre la Tierra, que, al mismo tiempo, denota dificultad de que sea reemplazado, por lo que se requiere que los recursos hídricos puedan ser sostenibles y resilientes.

Existe una necesidad actual de discusión entre la población, investigadores, funcionarios públicos, políticos y administradores de recursos lénticos, para contar con información de base que permita la mejor toma de decisiones y que posibilite establecer panoramas de tratamiento, conservación, monitoreo y verificación del cumplimiento de la protección de los recursos hídricos. No obstante, el escenario a seguir no es solamente enfocarse en los análisis de la calidad del agua desde una óptica de laboratorio, sino que se debe sumar otros enfoques que permitan ahondar en el problema de influencia sobre la cuenca de los sistemas lénticos. En ese sentido, el análisis de los tipos de uso de suelo en relación con la calidad del agua ha retomado un mayor auge actualmente, puesto que, con el uso de equipos, *software* y otros insumos, se puede correlacionar las variables químicas, físicas, biológicas e hidrológicas, con las acciones antrópicas que inciden en el uso del suelo del área de influencia.



El impacto del hombre sobre la calidad del agua de los sistemas lénticos no se relaciona únicamente con la contaminación o las acciones de expansión urbana, sino que en buena medida se ve influenciada por el cambio en la cobertura del uso del suelo (Robledo et al., 2014b). Esto demuestra que existe una dinámica en el mundo que permite aceptar la existencia de una relación muy cercana entre el tipo de uso de suelo y la calidad de agua (Briceño et al., 2018; Chen et al., 2020; Giri & Qiu, 2016; Huang et al., 2013; Lee et al., 2009; Robledo et al., 2014b, 2014a; Singh et al., 2020; Xu et al., 2020).

La cobertura del suelo y las prácticas del manejo del suelo han demostrado tener una influencia importante entre los factores causantes de la alteración de los sistemas hidrológicos que pueden contribuir a los cambios en la calidad del recurso hídrico, de la escorrentía, así como de distintos cuerpos de agua (Huang et al., 2013).

Además, las investigaciones sobre efectos medioambientales debido al cambio de cobertura del uso del suelo se han convertido en un aspecto importante para la discusión del desarrollo sostenible regional; ya que en los últimos años se ha presentado un acelerado proceso de urbanización y expansión de los bordes urbanos de los usos de suelos. A la vez, el esparcimiento de aspectos sin restricción de los estos bordes (Chen et al., 2020) y de las actividades de agricultura, se han incrementado el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, ya que, la demanda de comida de la población humana también se ha incrementado; lo que ha tenido impacto directo o indirecto sobre la calidad del agua de ríos y lagos (Giri & Qiu, 2016).

Hasta el momento en Guatemala no se ha encontrado una discusión académica o en la literatura que proporcione la pauta de qué es lo que está aconteciendo a partir del análisis físico, químico, biológico o hidrológico acompañados de aplicaciones de las tecnologías y herramientas de teledetección como el Sistema de Información Geográfica, que se identifica en las vertientes en que los académicos concuerdan que se debe seguir analizando el vínculo y la relación entre la calidad del agua y los efectos antropológicos.

Por tanto, este trabajo establece una metodología que permitirá realizar análisis de las calidades del agua de los sistemas lénticos asociadas a los efectos del ser humano, en un sistema lacustre de Guatemala, siendo este la “laguna de Calderas”.



Una de las principales recomendaciones que se derivan de estudios previos, concluyen que el estado trófico de los lagos es cambiante, por lo que se recomienda que dentro de la metodología se implemente el seguimiento continuo de la calidad del agua con las herramientas que entreguen integren datos *in situ*, laboratorio y la teledetección (Briceño et al., 2018).

METODOLOGÍA

El estudio se plantea desde la perspectiva cuantitativa, con un alcance explicativo. Se centra en un caso de estudio. Es importante señalar que se utiliza un Sistema de Información Geográfica y se deberá poseer de manera inicial imágenes satelitales para la realización del análisis. Además, se requiere la creación de una variedad de clases que permitan establecer la descripción de la cobertura del uso de suelo a determinar.

En ese sentido, para el presente estudio se demarcarán como número de clases y la descripción de cobertura de suelo, los siguientes:

Tabla 1 Delimitación de la cobertura del uso del suelo y las clases para la clasificación supervisada

Número de clase	Descripción de la cobertura de suelo
1	Agua superficial
2	Bosques
3	Agricultura
4	Tierra no cultivable (sin uso)
5	Urbanas e industria

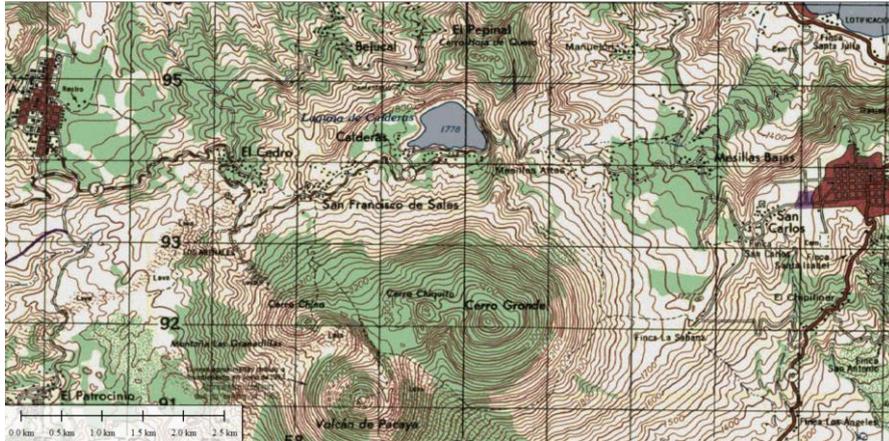
Nota. De acuerdo con los diversos usos del suelo, se pretende identificar en un mapa de clasificación supervisada, los valores numéricos del área que representan cada uso. Elaboración propia.

Ubicación geográfica

La cuenca que subtiende la laguna de Calderas se localiza entre los municipios de Amatitlán del departamento de Guatemala y San Vicente Pacaya del departamento de Escuintla. La laguna de Calderas se localiza a una altitud de 1778 metros sobre el nivel del mar.

Como se aprecia en la figura 4, la cuenca de la laguna de Calderas es endorreica y se asemeja a un cráter. Por consiguiente, para analizar la incidencia del uso del suelo dentro del espejo de agua se hizo una poligonización a través de radiaciones desde cada punto muestreado de la laguna debido a que topográficamente es una depresión de forma circular y márgenes elevados.

Figura 4 Mapa cartográfico de la laguna de Calderas



Nota. La gráfica representa el mapa cartográfico con las líneas que corresponden a curvas de nivel, en donde se resalta que la laguna de Calderas representa una depresión rodeada por cerros o montañas relativamente altas. Elaboración propia con base en Instituto Geográfico Nacional –IGN-, 2010.

Los principales usos de la laguna corresponden a la pesca artesanal, fuente de agua doméstica y producción de tul. De acuerdo con Castañeda (1995), la laguna de Calderas tiene un origen volcánico, cuya característica principal de formación corresponde a una depresión en el sistema volcánico formado por el volcán de Pacaya. Durante algunas de las visitas realizadas a la laguna de Calderas, se obtuvieron diversas fotografías aéreas, destacándose la que se muestra a continuación (Figura 5).

Figura 5 Fotografía aérea de la laguna de Calderas y los usos de suelo en las periferias de la laguna, dentro de la aldea de San José Calderas



Nota. En la fotografía se aprecia la situación de la laguna, en el año 2022, de los diferentes usos del suelo que se dan en la circunscripción de la microcuenca que representa la Laguna de Calderas. Elaboración propia.

Vías de acceso

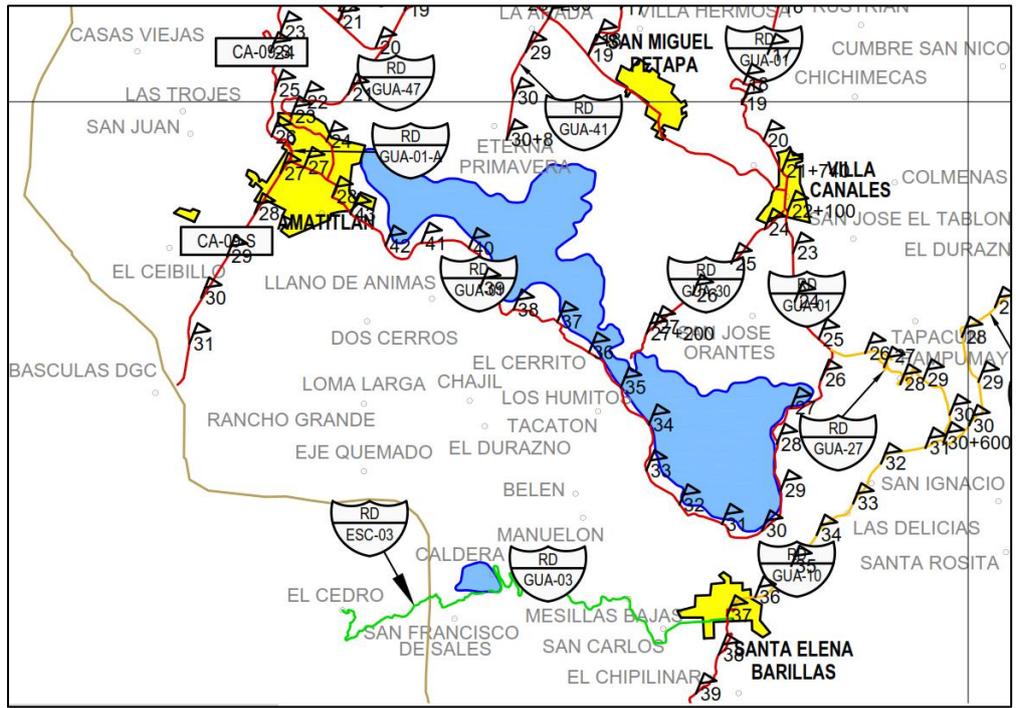
El acceso hacia la laguna de Calderas se puede hacer por medio terrestre, a través de 2 vías:

- a) Desde la ciudad capital de Guatemala, hacia la carretera al Sur (CA-09-SUR), cruzando en el kilómetro 36.7 en dirección hacia el municipio de San Vicente Pacaya (ruta RD-ESC-03). Hasta

este punto, la ruta se encuentra asfaltada. Posteriormente, se transita en un tramo de terracería, hasta llegar a la aldea San José Calderas, del municipio de Amatlán, que es en donde se encuentra la laguna de Calderas.

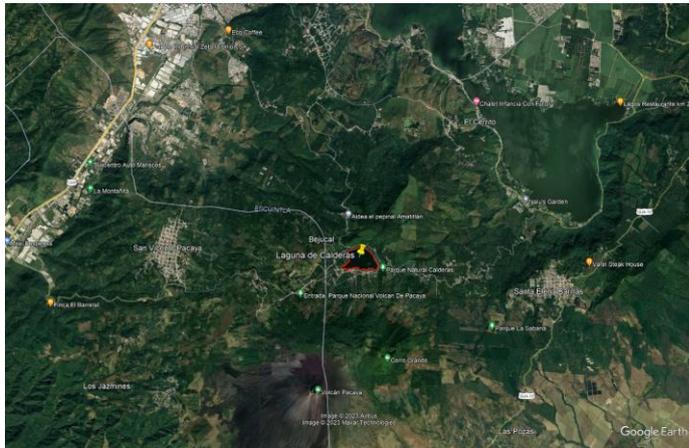
- b) El otro acceso, es a través del municipio de Villa Canales, en la aldea Santa Elena Barillas, en donde se toma una ruta de terracería identificada como RD-GUA-03.

Figura 6 Acceso hacia la laguna de Calderas



Nota. Se puede observar las diferentes rutas de acceso que hay hacia la Laguna de Calderas, vía terrestre. Elaboración propia con base en MICIVI, 2016.

Figura 7 Imagen de la ubicación de la Laguna de Calderas y las aldeas y municipios aledaños



Nota. Se aprecia una imagen satelital para ubicar la laguna de Calderas. Elaboración propia con base en Google (2023).

Visita preliminar

Primero, se realizó una visita preliminar al área de estudio, que en este caso corresponde a la laguna de Calderas. Durante esta visita, se constataron los accesos por carretera, así como se cotizó la disponibilidad de lanchas y lugares para acceder hacia la laguna. Se aprovechó a tomar fotografías panorámicas de la laguna, así como de casas, comercios y calles del poblado más cercano que se circunscribe dentro de la cuenca de la Laguna de Calderas. Esta actividad preliminar confirmó la factibilidad de realizar el estudio pretendido.

Figura 8 Fotografía panorámica de la laguna de Calderas, tomada durante la visita preliminar



Nota. Se aprecia una fotografía de la laguna de Calderas y su entorno. Elaboración propia.

Puntos de muestreo

De acuerdo con la distribución prevista, se muestrearon 16 puntos a diferentes profundidades. A continuación, se muestra una imagen de los puntos muestreados, así como una tabla con las georreferencias de cada uno de ellos.

Figura 9 Localización de los puntos de muestreo



Nota. Se puede observar los 16 puntos muestreados en esta investigación. Como se aprecia, los puntos abarcan todas las zonas posibles dentro del espejo de agua, para tener un panorama general de la calidad fisicoquímica del agua de la laguna de Calderas. Elaboración propia.

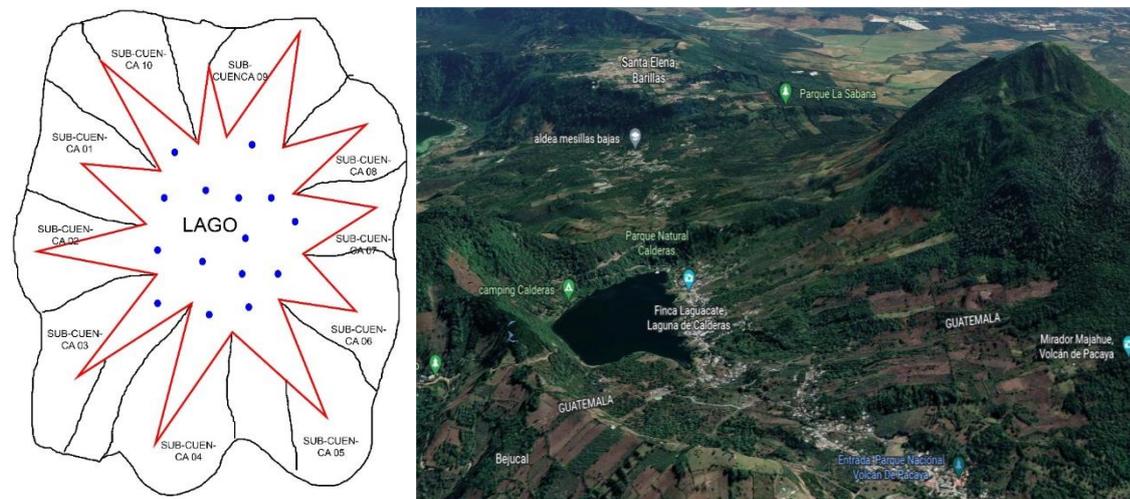
Tabla 2 Identificación de puntos de muestreo con coordenadas georreferenciadas

Punto	Longitud	Latitud	Punto	Longitud	Latitud
1	-90.587437	14.411429	9	-90.593877	14.410364
2	-90.587924	14.412213	10	-90.591862	14.410722
3	-90.588753	14.413512	11	-90.591351	14.41162
4	-90.590906	14.41475	12	-90.590781	14.41256
5	-90.592485	14.414164	13	-90.589175	14.412286
6	-90.593496	14.413548	14	-90.588993	14.410487
7	-90.593476	14.41222	15	-90.590034	14.410371
8	-90.59435	14.41059	16	-90.587425	14.410281

Nota. Elaboración propia.

En cuanto a las áreas de influencia en cada punto muestreado, estas serán segmentadas y luego se procederá a poligonizar sus valores para obtener los valores de las áreas de estudio pertenecientes al área acotada del punto de muestra. Se muestra en la siguiente figura la forma en la que se hizo la subdivisión de sub-cuencas para establecer áreas de influencia en cada punto muestreado.

Figura 10 Subdivisión aplicada para poligonizar la cuenca y áreas de influencia en cada punto muestreado



Nota. Elaboración propia. Esta actividad de división en sub-áreas se hizo tomando en consideración los aspectos morfométricos y topográficos de la cuenca.

Equipo utilizado para medición de datos *in situ*

A continuación, se lista el equipo utilizado para realizar mediciones de parámetros de calidad del agua, así como el equipo para tomar fotografías aéreas que servirá para obtener resultados y su respectiva discusión: lancha y chalecos salvavidas, sonda paramétrica HORIBA, disco Secchi, Dron Phantom IV.

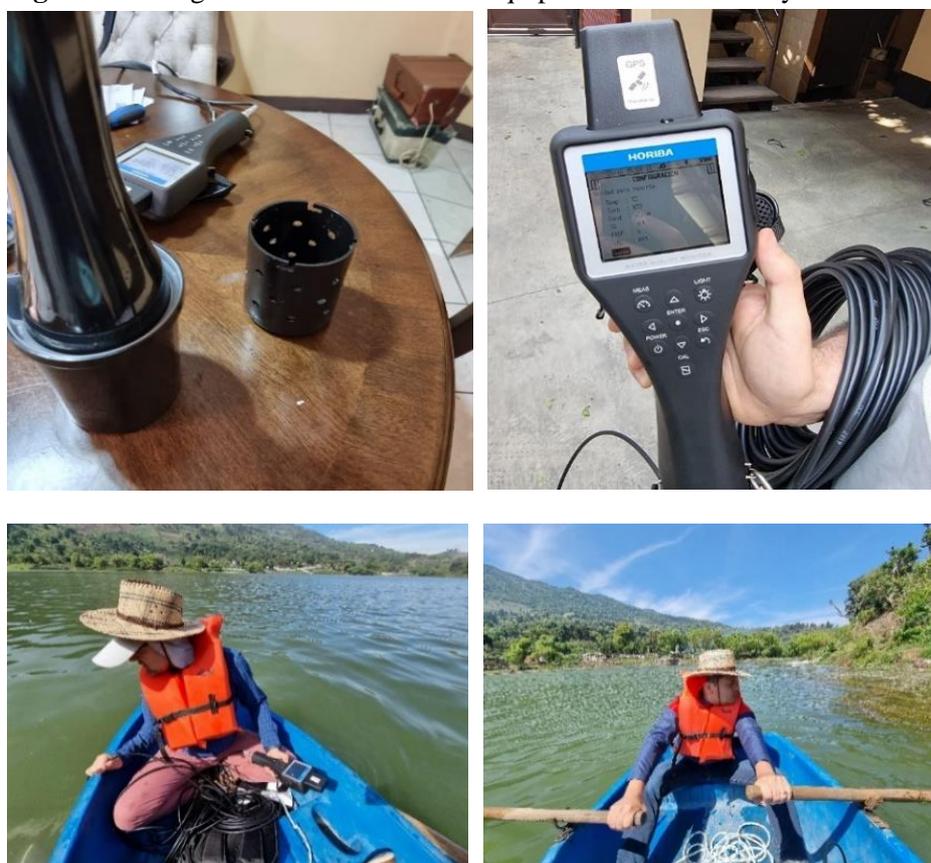
Equipo para uso en oficina

Se lista a continuación, el equipo a nivel de *software* y *hardware* requerido para la presente investigación: computadora portátil, Google Earth®, QGIS® 3.4 Madeira.

Toma de datos

De acuerdo con los puntos previstos para toma de datos, se hicieron mediciones a diferentes profundidades de los parámetros siguientes: oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura y turbiedad. Previo a tomar datos en campo, se calibró el equipo a utilizar. Se muestran las siguientes fotografías, de limpieza y calibración de la sonda multiparamétrica.

Figura 11 Fotografías de calibración de equipo de toma de datos y recolección de datos en campo

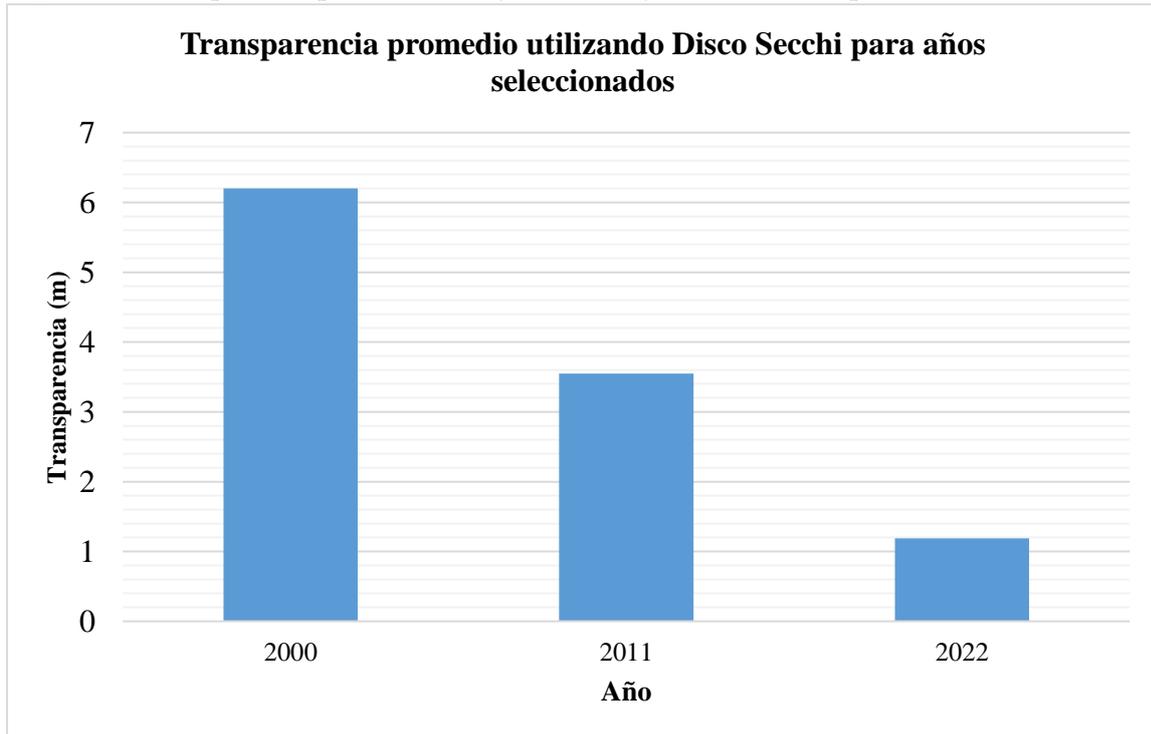


Nota. Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 12 se observa la disminución interanual (para años seleccionados) de la transparencia del agua.

Figura 12. Transparencia promedio del agua en la Laguna de Calderas para diversos años.



Nota. En los últimos 22 años ha habido un decremento en la transparencia del agua que contiene la laguna de Calderas. Esta disminución corresponde a mayor presencia de moléculas y partículas que absorben o dispersan la luz, muy probablemente haya un incremento en los sólidos disueltos y en suspensión, comparando el año 2000 y el año 2022. Elaboración propia con datos de Del Valle (2000), Martínez (2015) y la presente investigación.

De acuerdo con la figura 12, se deduce una notable disminución de la transparencia del agua, interpretándose que, posiblemente, haya mayor cantidad de sedimentos que son arrastrados debido al cambio del uso del suelo (mayor tierra agrícola o deforestada). En relación con el grado de eutrofia, la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE) propuso una clasificación para lagos y embalses, de acuerdo con los valores de las variables: clorofila, transparencia con disco Secchi y fósforo. Para este estudio se utilizó el parámetro de transparencia con disco Secchi. En la siguiente figura se aprecia la dinámica en el grado de eutrofia según los valores para diferentes años, de la transparencia del agua.

Tabla 3 Grado de eutrofia para diferentes años, de acuerdo con la clasificación de la OCDE

Grado de Eutrofia	Transparencia con disco Secchi (M)	Año 2000	Año 2011	Año 2022
Ultraoligotrófico	> 12			
Oligotrófico	12 - 6	x		
Mesotrófico	6 - 3		x	
Eutrófico	3 - 1.5			
Hipereutrófico	< 1.5			x

Nota. Es alarmante el nivel de decaimiento en la calidad del agua en los últimos 22 años, donde de pasar de un cuerpo hídrico dentro del estado Oligotrófico (buena calidad), se menoscabó hacia un grado de eutrofia dentro de los límites del estado hipereutrófico (alta producción biótica, que se traduce en sistema hídrico de baja calidad de agua). Elaboración propia.

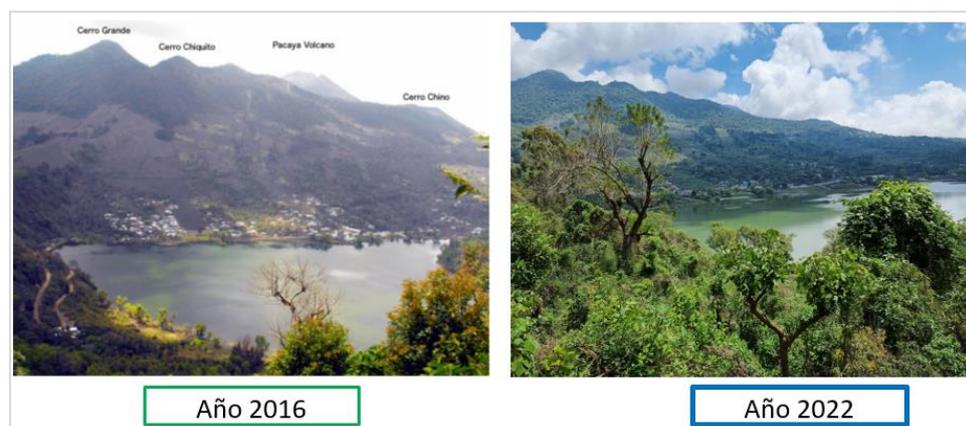
Por otro lado, es perturbador que haya habido una modificación notable en el uso del suelo dentro de la cuenca que subtiende la laguna de Calderas, lo cual puede comprobarse a través de la comparación visual para diferentes años. Generalmente el cambio o transformación del uso del suelo ha sido de área selvática o boscosa hacia áreas o zonas cultivables o agrícolas y de vivienda.

Figura 13 Comparación visual de la expansión urbana (cambio de uso del suelo) dentro de la cuenca de la Laguna de Calderas



Nota. Se aprecia una expansión demográfica (incremento en la cantidad de viviendas o infraestructura en general) dentro de la circunscripción de la sub-cuenca de la Laguna de Calderas. Elaboración propia con base en Martínez (2015).

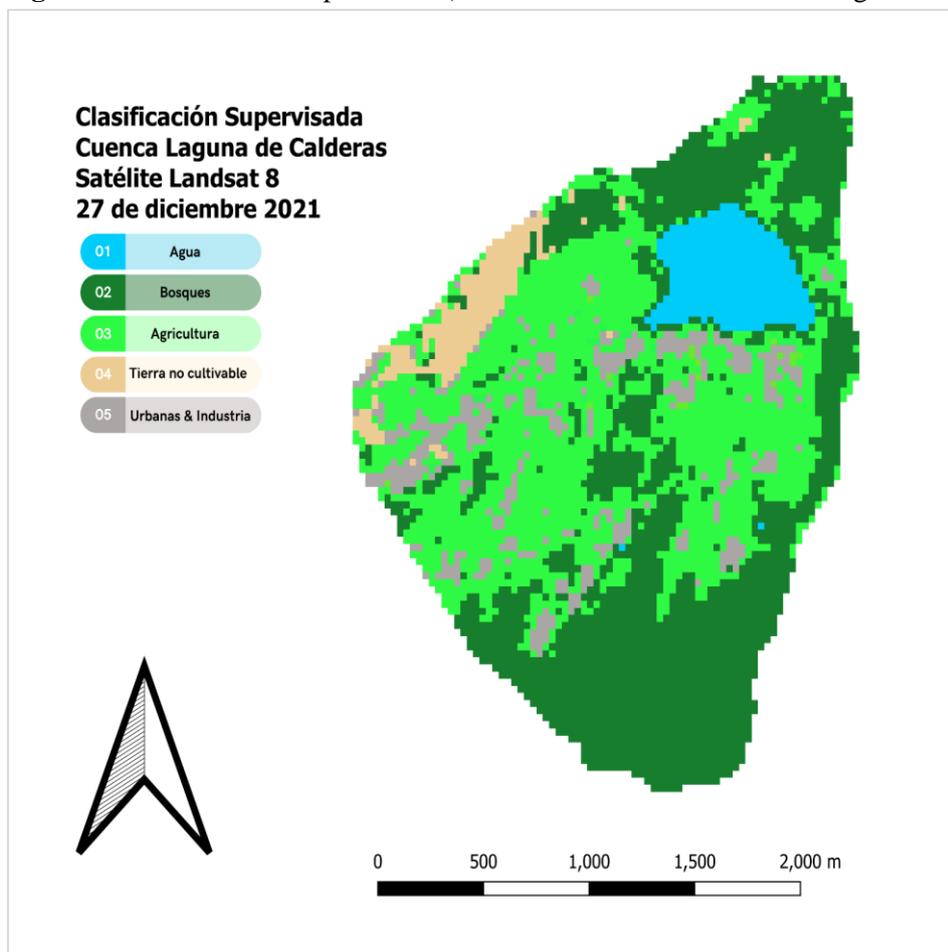
Figura 14 Comparación visual del cambio en el uso del suelo para la parte sur de la cuenca de la Laguna de Calderas



Nota. Elaboración propia con base en Ramos (2016).

En las figuras 13 y 14, se muestra la expansión urbana que se ha presentado dentro de la circunscripción de la subcuenca de la laguna de Calderas.

Figura 15 Clasificación supervisada (uso del suelo en la cuenca de la laguna de Calderas)



Nota. Se distinguen 5 diferentes tipos de uso dentro de la cuenca de la laguna de Calderas, prevaleciendo bosques y agricultura. Elaboración propia.

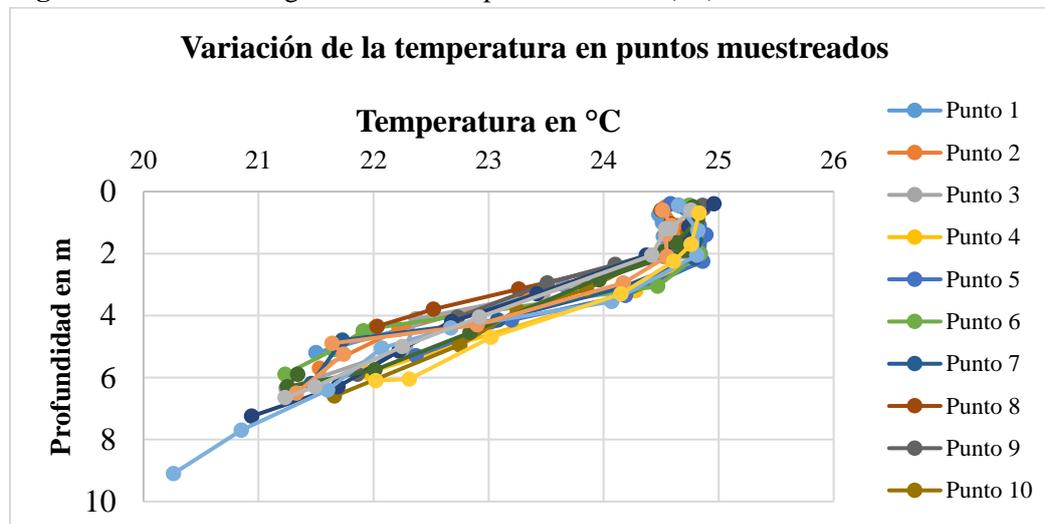
A través del software QGIS, como se muestra en la figura 15, se realizaron los polígonos y clasificación supervisada de la cuenca de la Laguna de Calderas, utilizando el satélite Landsat 8. En seguida, se muestra una tabla conteniendo los porcentajes de las distintas áreas que componen la cuenca de la Laguna de Calderas.

Tabla 4 Uso del suelo dentro de la Cuenca de la Laguna de Calderas (2021)

Área	Km ²	%
Agua	0.297	6.33
Agricultura	1.8441	39.29
Bosques	1.9251	41.01
Urbana	0.4293	9.14
Tierra no cultivable	0.1984	4.23

El crecimiento poblacional, aunado a la expansión urbana (más casas, industrias y comercio) lleva consigo un incremento en los recursos naturales para subsistencia, así como mayor generación de desechos líquidos y sólidos que alteran el medio ambiente y los recursos naturales.

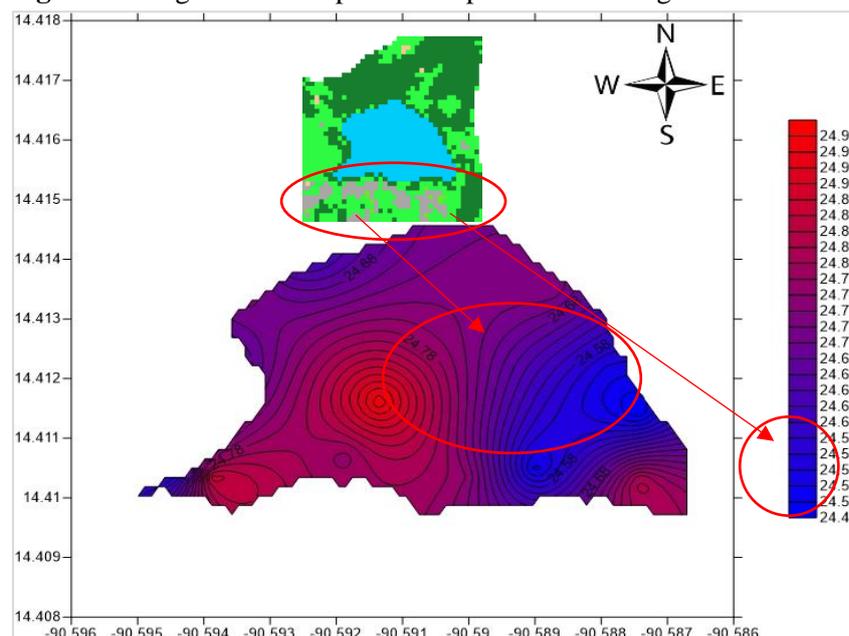
Figura 16 Perfil estratigráfico de la temperatura media (°C)



Nota. El estrato más superficial (1 a 2 metros desde la superficie) se le denomina epilimnio, y en todos los puntos muestreados se aprecia. Asimismo, el decrecimiento lineal en la temperatura se da en el estrato conocido como metalimnio. En este cuerpo hídrico, al ser de una profundidad relativamente pequeña, no se apreció en las mediciones el estrato inferior que se da en los cuerpos hídricos, que se le conoce como hipolimnio. Salvo en el punto muestreado 1, que a partir de los 7 metros cambió la tendencia lineal inclinada, propia del metalimnio (termoclina). Elaboración propia.

La dinámica del uso del suelo que ocurre dentro de la cuenca de la laguna de Calderas, genera a su vez, cambios en los parámetros físicos y químicos dentro del espejo del agua que subtiende la laguna de Calderas. En la figura 16, se aprecia el perfil estratigráfico de la temperatura media dentro de la laguna de Calderas.

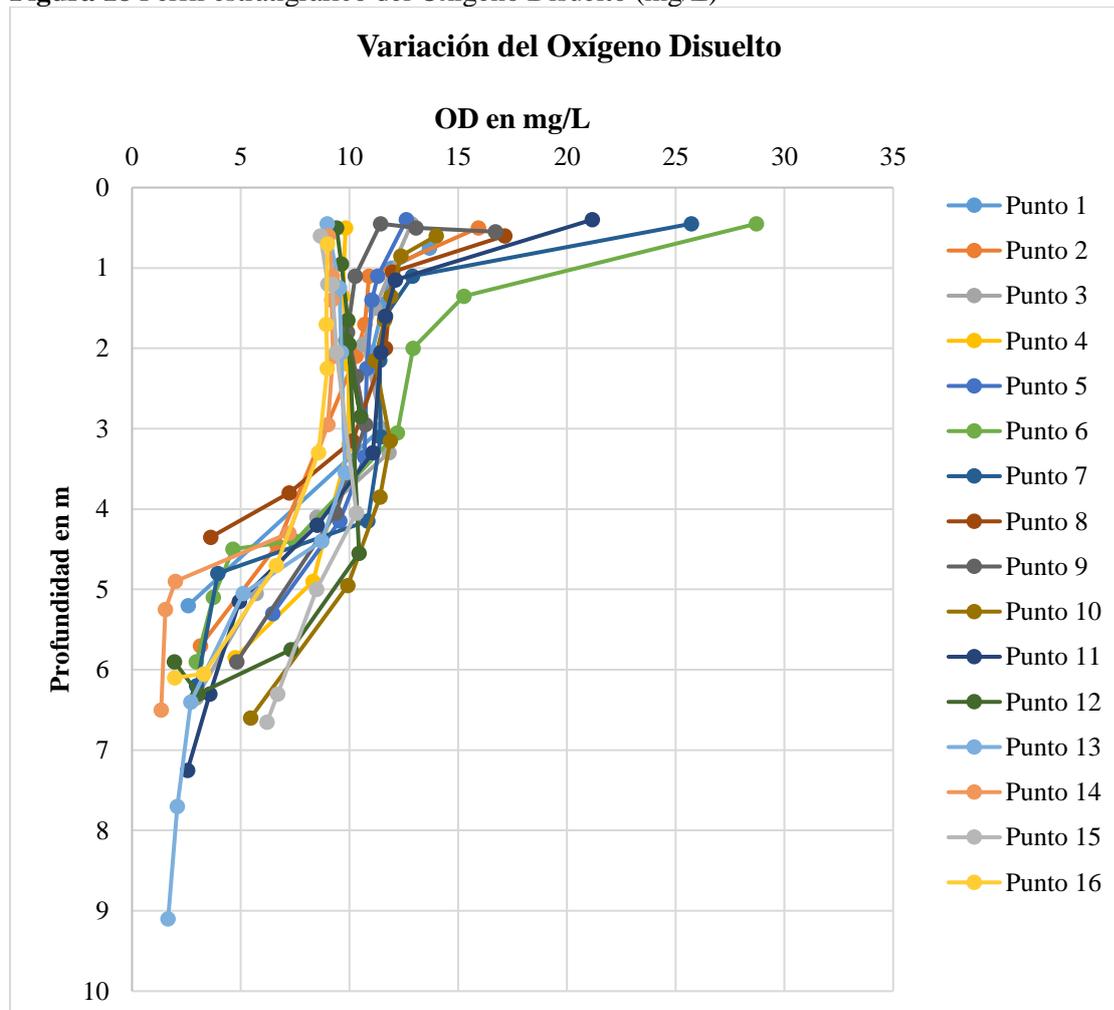
Figura 17 Isograma de temperatura superficial de la laguna de Calderas (°C)



Nota. En color rojo se observa las temperaturas superficiales más elevadas, medidas en grados Celsius, para diferentes puntos de muestreo, generándose curvas de mismo valor (isograma) a través del software Surfer ®. Elaboración propia.

En cuanto a la medición de la temperatura superficial, en todos los puntos muestreados, prácticamente no hubo mayor variación en la temperatura. Esto se muestra en la figura 17, en donde se obtiene que la temperatura superficial varió desde 24.48 °C hasta 24.96 °C. Justamente, donde se da el valor más alto, es donde hay mayor concentración de algas, que es en la parte cercana a donde hay mayor cantidad de viviendas.

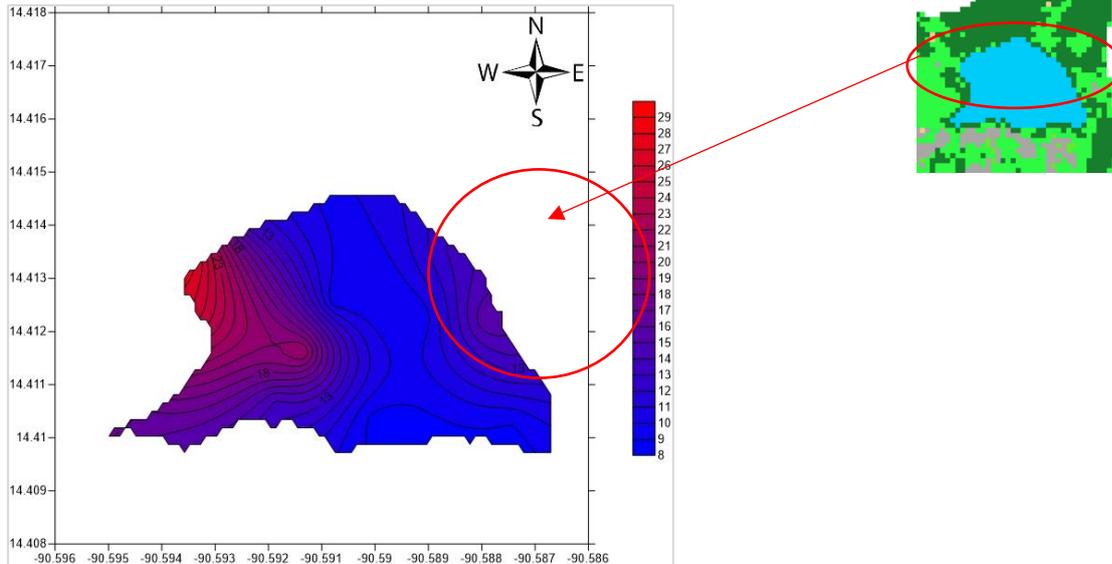
Figura 18 Perfil estratigráfico del Oxígeno Disuelto (mg/L)



Nota. La variación del oxígeno disuelto en la columna de agua de la laguna de Calderas corresponde a una disminución progresiva, a mayor profundidad. Esto es característico de muchos sistemas lénticos, sin embargo, este fenómeno se ve fortalecido debido a la gran cantidad de algas y sólidos suspendidos que están en la superficie de la laguna, que impiden la interacción de los estratos más profundos en la columna de agua, con respecto de la superficie del cuerpo hídrico. Elaboración propia.

Un aspecto de relevancia, es que la mayoría de valores obtenidos de oxígeno disuelto son aptos para la supervivencia de diferentes especies, a excepción de aquellos puntos en los cuales el OD arroja valores menores a 5 mg/L.

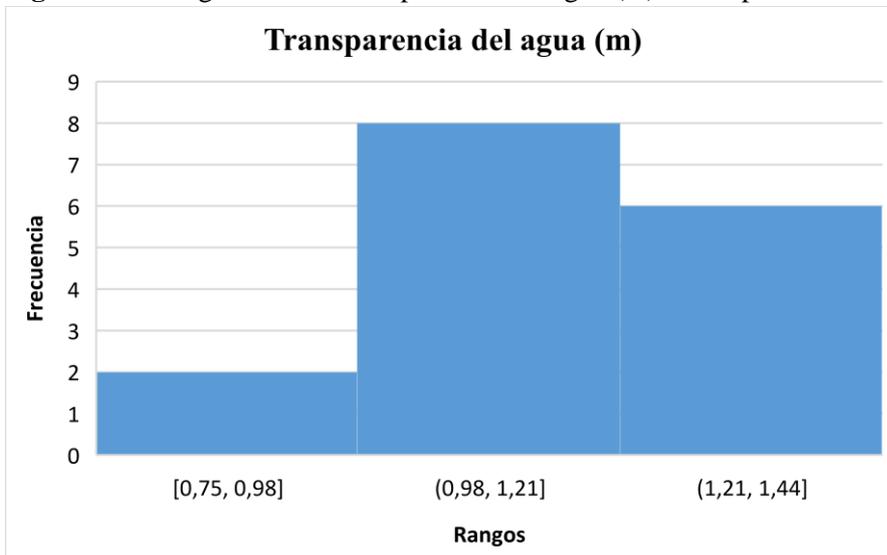
Figura 19 Isograma de Oxígeno Disuelto superficial (mg/L)



Nota. Debido a que las mediciones se hicieron en horas diurnas (medio día), los niveles de oxígeno disuelto en la superficie fueron más altos, por varios motivos: re aireación producto del viento y fotosíntesis de las algas. Elaboración propia.

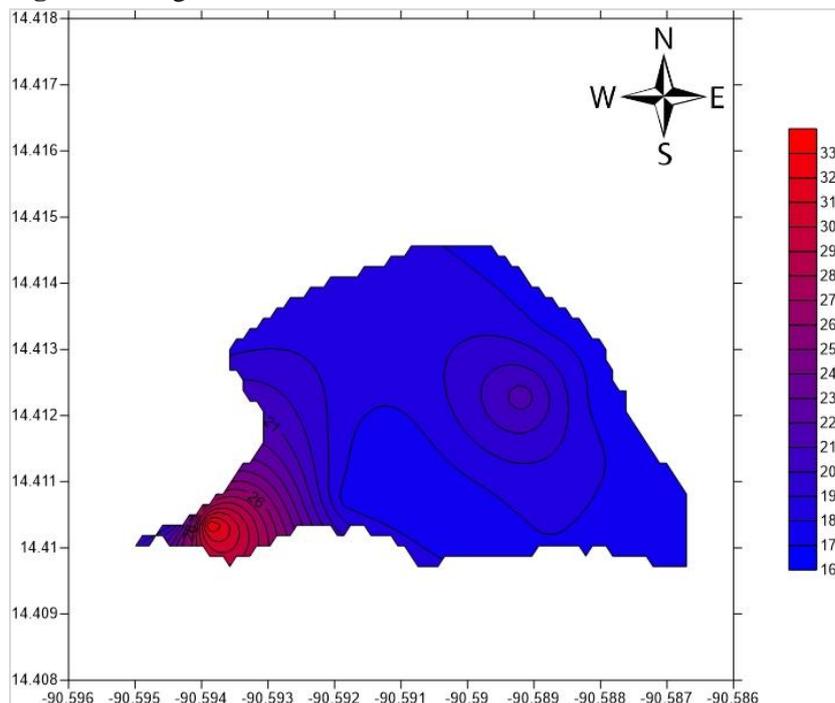
De acuerdo con la figura 19, los puntos con la mayor cantidad de oxígeno disuelto superficial, corresponden a las zonas en las que detrás de ellas no hay uso urbano alguno, sino áreas boscosas.

Figura 20 Histograma de la transparencia del agua (m) en los puntos muestreados



Nota. La mayor cantidad de los puntos muestreados, corresponden a valores de transparencia entre 0.98 m y 1.21 m, quiere decir, como ya se explicó anteriormente, que la laguna de Calderas en toda su superficie, está clasificada como cuerpo léntico hipereutrófico. Elaboración propia.

Figura 21 Isograma de turbiedad



Nota. Los puntos identificados con mayor turbiedad, son los que justamente tienen incidencia directa de la descarga de aguas residuales, que es donde hay mayor uso del suelo correspondiente a urbanización. Identificándose puntos superiores a los 30 Unidades Nefelométricas de Turbiedad. Elaboración propia.

Tabla 5 Porcentajes de uso del suelo de agricultura con incidencia directa en la turbiedad para los puntos muestreados

Punto muestreado	Turbiedad NTU	Porcentaje terreno agricultura (polígono de influencia)	Punto muestreado	Turbiedad Ntu	Porcentaje terreno agricultura (polígono de influencia)
Punto 1	17.7	58.07%	Punto 8	16.6	59.94%
Punto 2	17.2	36.48%	Punto 9	33.1	73.30%
Punto 3	17.3	21.83%	Punto 10	17.6	43.45%
Punto 4	18.1	24.33%	Punto 11	17.3	26.97%
Punto 5	18.3	3.61%	Punto 14	18.1	43.17%
Punto 6	17.8	39.66%	Punto 15	17.1	42.64%
Punto 7	20.9	55.33%	Punto 16	17.5	28.89%

Nota. Los puntos mostrados en la tabla, son los que tienen incidencia directa en las periferias de la laguna de Calderas. Por esa razón hay unos puntos muestreados que no están colocados en la tabla, porque se localizan más hacia el centro de la laguna. Elaboración propia.

Puede observarse en la tabla 5, que los mayores porcentajes de turbiedad corresponden a cuando las áreas de incidencia de acuerdo con el uso del suelo, corresponden, principalmente, a la agricultura. El punto muestreado 9 tiene una turbiedad de 33.1 (casi el doble de la mayoría de puntos muestreados) y el área de incidencia es la agricultura con un 73.30%.

Figura 22 Vista aérea de algas en el espejo de agua de la Laguna de Calderas



Nota. Los puntos que tienen mayor turbiedad se localizan cercanos a donde se ubican casas, comercios, sembradíos y otros que corresponden a usos del suelo “urbanización”. Elaboración propia.

En relación con el grado y causas del deterioro de la laguna de Calderas, en el estudio realizado por Castañeda (1995), se indica que dicho recurso hídrico está dentro de los límites de un sistema lacustre poco eutroficado y poco contaminado. Su deterioro corresponde a la deforestación de su cuenca, y eliminación de desechos de los poblados (es decir, que toman la laguna como un punto de desfogue de desechos).

Coincidentemente, Castañeda (1995) expone que las principales estrategias de recuperación de la laguna de Calderas son: manejo adecuado de la cuenca y remoción de la vegetación emergente.

CONCLUSIONES

Ha habido un decremento notable en la calidad del agua de la laguna de Calderas, ya que la transparencia se ha reducido progresivamente desde el año 2000 al año 2022, desde valores de 6 m hasta levemente arriba de 1 m. Esto se traduce en mayor carga contaminante, mayor cantidad de sólidos en el espejo de agua de la laguna.

Según los valores recomendados para determinar el grado de eutrofia, a través de la clasificación de la OCDE, se deduce que ha decaído la calidad hídrica, desde un estado oligotrófico hasta uno hipereutrófico, basándose en el parámetro de transparencia.

Contrastando los valores obtenidos en los puntos muestreados para temperatura, oxígeno disuelto y turbiedad, se aprecia una correlación entre los puntos que representan mayor contaminación, en los puntos cercanos a las áreas marcadas con uso del suelo agrícolas o de urbanización e industria, según

el mapa de clasificación supervisada de diversos tipos de usos de la tierra dentro de la cuenca y los isogramas de cada variable medida. Los valores máximos de temperatura superficial alcanzaron los 25°C; para el oxígeno disuelto superficial, su valor crítico superficial fue cercano a 8 mg/L, y en los puntos con mejores condiciones llegó a tener un valor aproximado de 28 mg/L. En relación con la turbiedad, hubo puntos que tenían valores de 33 NTU, que parecieran ser valores similares a ciertas caracterizaciones de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Chávez , J. F., Franco Gallegos , L. I., Montes Mata, K. J., Ponce de León, A. C., & Robles Hernández, G. S. I. (2024). Impacto de la actividad física en la prevención de enfermedades cardiovasculares: un análisis sistemático . *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 5(2), 274–302. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.136>
- Banco Mundial. (2022). World Development Indicators. www.worldbank.org. Base de datos disponible en línea:
<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators#>
- Briceño, I., Pérez, W., San Miguel, D., & Ramos, S. (2018). Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile. *Revista de Teledetección*, (52), 67. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126>
- Castañeda Salguero, C. (1995). *Sistemas lacustres de Guatemala. Recursos que mueren*. Guatemala: Editorial Universitaria, Primera edición.
- Cheah, E. H. M. R., & Hamid, S. A. (2016). Determination of Water Quality of Rivers under Various Land Use Activities Using Physico-chemical Parameters and Bacterial Populations in Northern Peninsular Malaysia. *Wetland Science*, 14(6), 788–798.
<https://doi.org/10.13248/j.cnki.wetlandsci.2016.06.005>
- Chen, D., Elhadj, A., Xu, H., Xu, X., & Qiao, Z. (2020). A study on the relationship between land use change and water quality of the Mitidja watershed in Algeria based on GIS and RS. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SU12093510>



- Cazco Balseca, G. L. (2024). La Contaminación de las Aguas del Río “Chibunga” y el Derecho de Regeneración de la Naturaleza, en el Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 4(1), 2516–2529.
<https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i1.206>
- Del Valle, A. (2000). Caracterización ecológica de la Laguna de Calderas, Amatitlán, Guatemala. (Tesis, Universidad del Valle de Guatemala).
<https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1233>
- Da Silva Santos , F., & López Vargas , R. (2020). Efecto del Estrés en la Función Inmune en Pacientes con Enfermedades Autoinmunes: una Revisión de Estudios Latinoamericanos. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 1(1), 46–59. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v1i1.9>
- Giri, S., & Qiu, Z. (2016). Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management*, 173, 41–48.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.029>
- Google Earth Pro (2023). Mapa de la Laguna de Calderas. <http://earth.google.es>
- Huang, J., Zhan, J., Yan, H., Wu, F., & Deng, X. (2013). Evaluation of the impacts of land use on water quality: A case study in the Chaohu lake basin. *The Scientific World Journal*, 2013.
<https://doi.org/10.1155/2013/329187>
- Instituto Geográfico Nacional. (2010). *Mapas cartográficos de los departamentos de Guatemala y Escuintla*. Guatemala.
- Lee, S. W., Hwang, S. J., Lee, S. B., Hwang, H. S., & Sung, H. C. (2009). Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning*, 92(2), 80–89.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.02.008>
- Martínez, M. (2015). Caracterización fisicoquímica de la laguna de Calderas, ubicada entre las aldeas de San José Calderas y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, Departamento de Escuintla, de la República de Guatemala. Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala.



- Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda –MICIVI- (2016). Mapa de la Red Vial de Guatemala. Guatemala.
- Morales, J. C. (2023). Fostering Recycling Culture Through Playful Strategies. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 4(1), 143–160. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i1.41>
- Martínez, O., Aranda , R., Barreto , E., Fanego , J., Fernández , A., López , J., Medina , J., Meza , M., Muñoz , D., & Urbieta , J. (2024). Los tipos de discriminación laboral en las ciudades de Capiatá y San Lorenzo. *Arandu UTIC*, 11(1), 77–95. Recuperado a partir de <https://www.uticvirtual.edu.py/revista.ojs/index.php/revistas/article/view/179>
- Ramos, E. (2016). A small-scale water budget approach and water quality assessment: a case study for calderas lake, Guatemala. Master's degree at Michigan Technological University.
- Robledo, J., Vanegas, E., & García, N. (2014a). Calidad del agua del río Túnico como respuesta al uso del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 41–45.
- Robledo, J., Vanegas, E., & García, N. (2014b). La calidad del agua del lago de Izabal , Guatemala . Relaciones temporales y espaciales de variables físico-químicas y biológicas Water quality Izabal Lake , Guatemala . Temporary and spatial relations of physical-chemical and biologicals variables. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 28–32. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n4/rcta05414.pdf>
- Singh, S., Bhardwaj, A., & Verma, V. K. (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*, 262(July 2018), 110355. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110355>
- v, H., & Quispe Coca, R. A. (2024). Tecno Bio Gas. *Horizonte Académico*, 4(4), 17–23. Recuperado a partir de <https://horizonteacademico.org/index.php/horizonte/article/view/14>
- Xu, H., Cai, C., Du, H., & Guo, Y. (2020). Responses of water quality to land use in riparian buffers: a case study of Huangpu River, China. *GeoJournal*, 2. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10150-219>

