



IPICYT

**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN GEOCIENCIAS APLICADAS

**ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DE
CONTAMINACIÓN DE LA PRESA SAN JOSÉ EN SAN
LUIS POTOSÍ.**

Tesis que presenta:

Cristal Jaqueline Limones Carranza

Para obtener el grado de:

Maestra en Geociencias Aplicadas

Codirectoras de la Tesis:

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Dra. Anne M. Hansen

San Luis Potosí, S. L. P., 23 de febrero de 2024.



Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Estudio de la problemática de contaminación de la presa San José en San Luis Potosí.**” presentada para obtener el Grado de Maestra en Geociencias Aplicadas fue elaborada por **Cristal Jaqueline Limones Carranza** y aprobada el **14 de febrero del 2024** por los/las suscritas, designadas por el Colegio de Profesores de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Codirectora de la tesis

Dra. Anne M. Hansen
Codirectora de la tesis

Dra. Jejanny Lucero Hernández Martínez
Miembra del Comité Tutoral

Dr. Omar Delgado Rodríguez
Miembro del Comité Tutoral

Dr. Javier Aguilar Carrillo de Albornoz
Miembro del Comité Tutoral



Créditos Institucionales

Este trabajo de investigación fue elaborado en el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la codirección de la Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas y la Dra. Anne M. Hansen del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Durante la realización del trabajo la autora recibió una beca académica del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. con número de registro 1143053.

Acta de examen de grado

Dedicatorias

Por siempre a mi familia:

A Lety y Don Rito, por apoyar todas mis decisiones, por hacerme saber que están orgullosos de mí y por siempre estar.

A Zulma, a Julio, a César, a Rubí, a Ritillo, a Borre, por celebrar mis logros, éxitos, sueños y aspiraciones.

Gracias a mi familia, por hacer ver mis problemas más chiquitos, solo me queda decirles que lxs amo, admiro y me inspiran a ser mejor cada día. Espero seguir compartiendo mis tantas experiencias con ustedes, y con lxs pequeñxs Anita, el Gordo, Fer, Andree, Elías y bebé, mi gran familia.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., (IPICYT) por brindarme la valiosa oportunidad de formar parte de su cuerpo estudiantil. La realización de este proyecto representó un gran desafío para mí y estoy profundamente agradecida con todas las personas que contribuyeron a su finalización.

En particular, quiero agradecer a la Dra. Nadia por su generosidad al abrirme las puertas a formar parte de su gran equipo de trabajo y motivarme a crecer en mi carrera profesional y en mi vida personal. Su inmensa dedicación y compromiso con la ciencia y las mujeres han sido una gran fuente de inspiración y admiración para mí.

Asimismo, me gustaría expresar mi gratitud hacia la Dra. Anne, a la Dra. Lucero, al Dr. Omar y al Dr. Javier, quienes formaron parte de mi comité tutorial. Valoro enormemente su tiempo y disposición, agradezco sus observaciones, consejos y comentarios, los cuales fueron de gran ayuda para mejorar mi investigación.

Por último, pero no menos importante, quisiera agradecer a mis compañeros de laboratorio, Abril, Rod, JJ y Jaz por sus consejos y apoyo en cada etapa de este proyecto, que hicieron de esta experiencia más enriquecedora y significativa para mí.

Contenido

1. Introducción	1
1.1. Eutrofización	1
1.2. Hipótesis	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	6
2. Marco teórico	7
2.1. Regiones hidrológicas de México	7
2.1.1. Presas	9
2.2. Sistemas de clasificación del estado trófico de los cuerpos de agua	16
2.2.1. El estado trófico	16
2.2.2. El índice de estado trófico (IET)	19
2.3. Nivel de contaminación del agua (WPL)	21
2.4. Inventario de emisiones contaminantes	22
3. Métodos	27
3.1. Delimitación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	27
3.2. Descripción del medio físico de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	28
3.2.1. Geología superficial y tipos de suelo	28
3.2.2. Usos de suelo y vegetación	28
3.2.3. Sectores económicos	28
3.2.4. Red hidrográfica	29
3.3. Evaluación del estado trófico de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	29
3.3.1. Evaluación de estados tróficos	29
3.3.2. Cálculo del índice de estado trófico (IET)	30
3.4. Inventario de emisiones contaminantes de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	30
3.4.1. Estimación de emisiones contaminantes de fuentes puntuales	31
3.4.2. Estimación de emisiones contaminantes de fuentes difusas	32
3.4.3. Determinación del nivel de contaminación del agua de la presa San José por PT	33
4. Resultados	35
4.1. La subcuenca hidrográfica de la presa San José	35
4.2. Medio físico de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	36
4.2.1. Geología superficial y tipos de suelos	36
4.2.2. Usos de suelo y vegetación	37
4.2.3. Sectores económicos	38
4.2.4. Red hidrográfica	39
4.3. Estados tróficos de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	41

4.3.1. Estados tróficos	41
4.3.2. Índice de estado trófico	43
4.4. Inventario de emisiones de la subcuenca hidrográfica de la presa San José	44
4.4.1. Fuentes puntuales	45
4.4.2. Fuentes difusas	46
4.4.3. Inventario de emisiones contaminantes	49
4.4.4. Nivel de contaminación del agua de la presa San José por PT	50
5. Conclusiones	51
6. Recomendaciones	51
7. Referencias	53
Anexos	64
Anexo 1	65
Anexo 2	69
Anexo 3	81
Anexo 4	114

Lista de tablas

Tabla 1. Eficiencia de remoción de N y P para diversos sistemas de tratamiento de agua residual.	4
Tabla 2. Plantas potabilizadoras del agua de las presas San José, El Potosino y El Peaje en San Luis Potosí.	14
Tabla 3. Fórmulas para estimar el IET de los cuerpos de agua a partir del PT, del DS y de la Chl.	21
Tabla 4. Concentraciones típicas medias de algunos contaminantes reportados en aguas residuales domésticas y en diferentes usos de suelo y vegetación.	23
Tabla 5. Fórmulas para estimar el Ce de acuerdo con el valor de K .	25
Tabla 6. Valores de K, en función del tipo y uso de suelo.	26
Tabla 7. Ubicación y ventanas de tiempo de datos disponibles de las estaciones de monitoreo de calidad del agua de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José ordenadas de aguas arriba (El Peaje) a aguas abajo (San José), pasando por El Potosino que se encuentra en medio.	30
Tabla 8. Localidades, habitantes, coberturas de servicios de agua potable y alcantarillado de la zona de estudio para la estimación de emisiones contaminantes por agua residual doméstica colectada.	31
Tabla 9. Tiempo de residencia hidráulica de la presa San José para estimar el volumen de agua que se contamina.	34
Tabla 10. Arroyos, ríos y presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	39
Tabla 11. Caudal de agua residual descargado por las localidades pertenecientes a la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	45
Tabla 12. Usos de suelo y vegetación, área de cobertura de uso de suelo, valor de K, Ce, CP y emisiones contaminantes por escurrimiento usos de suelo y vegetación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	48
Tabla 13. Inventario de emisiones contaminantes en la subcuenca hidrográfica de la presa San José en San Luis Potosí.	49

Lista de figuras

Figura 1. Proceso de eutrofización en cuerpos de agua lénticos..	2
Figura 2. Crecimiento de algas en la presa San José en San Luis Potosí.	3
Figura 3. Regiones Hidrológico-Administrativas de México	7
Figura 4. Regiones Hidrológicas de México	8
Figura 5. Subcuencas de la región hidrológica 37 “El Salado”.....	9
Figura 6. Localización de la presa San José en el municipio de San Luis Potosí, San Luis Potosí..	12
Figura 7. Arroyos principales que desembocan en el cauce principal de subcuenca hidrográfica de la presa San José.....	13
Figura 8. a) Esquema ilustrativo de la parte delantera y b) posterior de la cortina de la presa San José.....	15
Figura 9. Cambios de elevación del NAMO y almacenamiento del año 2000 al 2022 en la presa San José, en el municipio de San Luis Potosí..	16
Figura 10. Estado trófico (ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrofico) y valores límites de a) DS, b) Chl, c) PT y d) NT para clasificar los estados tróficos según la OECD,1982.	18
Figura 11. a) Esquema del comportamiento hiperbólico de la transparencia del DS contra la Chl, mostrando b) una relación inversa entre la transparencia del DS y concentración de la biomasa (en este caso, Chl).....	19
Figura 12. El IET en función de a) la transparencia del DS, b) el PT y c) la Chl de acuerdo al modelo de Carlson (1977) y las clases tróficas de Orquera y Cabrera (2019).....	20
Figura 13. Extensión territorial de las regiones hidrológicas a las que pertenece la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	35
Figura 14. Geología superficial, tipo de suelo y elementos estructurales de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.....	36
Figura 15. a) Cobertura de usos de suelo y vegetación y b) sus porcentajes de ocupación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José.....	38
Figura 16. Sectores económicos, PTARs, plantas potabilizadoras, presas y localidades que se encuentran en la subcuenca hidrográfica de la presa San José.....	39
Figura 17. Red hidrográfica de la subcuenca de la presa San José y estaciones de monitoreo de calidad del agua de la subcuenca.	41
Figura 18. Diagramas de cajas para a) PT, b) Chl, c) transparencia con DS y d) NT en la presa El Peaje, El Potosino y San José.....	42

Figura 19. IET en función del a) Py b) el PT, c) y d) transparencia con DS y e) y f) la Chl de acuerdo con el modelo de Carlson y Aizaki de las presas El Peaje, El Potosino y San José, junto con sus respectivas estaciones de monitoreo y los estados tróficos..	44
Figura 20. Emisiones de DBO, SST, NT y PT generadas por el agua residual que se colecta en las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	46
Figura 21. Emisiones de DBO, SST, NT y PT generadas por el agua residual no colecta en las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.	47

Anexos

Anexos	64
Anexo 1	65
Anexo 2	69
Anexo 3	81
Anexo 4	114

Abreviaturas

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
INTERAPAS	Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
LMP	Límite Máximo Permisible
LMR	Límite Mínimo Requerido
NAME	Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias
NAMO	Nivel de Aguas Máximas Ordinarias
NOM	Norma Oficial Mexicana
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
RH	Región Hidrológica
RHA	Regiones Hidrológico Administrativas
RNM	Red Nacional de Monitoreo
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
TRH	Tiempo de residencia hidráulica
WPL	Nivel de contaminación de agua

Resumen

Las concentraciones de fósforo total (PT) y de nitrógeno total (NT) en la Presa San José, localizada en las afueras de la ciudad de San Luis Potosí, son superiores a 0.2 y 2.0 mg/L, respectivamente. Dichas concentraciones rebasan los límites permisibles (LP) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) de NT (1.9 mg/L) y PT (0.1 mg/L), indicando estados eutróficos. A su vez, dichos estados son evidenciados por el crecimiento excesivo de algas y los malos olores de la presa. A la fecha, sin embargo, se desconocen cuantitativamente las fuentes y las emisiones contaminantes de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Por tales motivos, los objetivos de este trabajo fueron: i) Delimitar el área de la subcuenca hidrográfica de la presa San José, ii) describir el medio físico del área de estudio, iii) determinar el estado trófico de la presa San José, El Peaje y El Potosino y iv) desarrollar el inventario de emisiones contaminantes de fuentes puntuales y difusas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Para ello: i) se delimitó el área de la subcuenca geoprocesando datos de las regiones hidrológicas y área de escurrimiento aguas arriba de la presa San José, ii) se describió el medio físico de la subcuenca elaborando mapas de la geología superficial y los tipos de suelo, los usos de suelo y vegetación, los sectores económicos y la red hidrográfica de la subcuenca, iii) se determinó el estado trófico de las presas San José, El Peaje y El Potosino a través los indicadores utilizados por la OECD y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) así como el Índice de Estado Trófico (IET) utilizando los valores de clorofila "a" (Chl), transparencia con disco Secchi (DS), PT y NT y el nivel de contaminación del agua (WPL) por PT y iv) se desarrolló un inventario de emisiones contaminantes de fuentes puntuales y difusas utilizando el volumen de descarga de agua residual doméstica colectada y no colectada, el volumen medio anual de escurrimiento natural de los usos de suelo y vegetación, y las concentraciones típicas reportadas para demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), NT y PT en descargas residuales y usos de suelo y vegetación. La subcuenca de la presa San José presentó un área de 265 km², una geología superficial compuesta por rocas de riolita y suelos de tipo feozem, regosol y xerosol. El uso de suelo y vegetación fue de tipo secundaria (36%),

pastizal natural (34%), bosque de pino (24%), asentamientos humanos (3%), pastizal inducido (2%) y cuerpos de agua (1%). En la zona se reportaron once tipos de sectores económicos, siendo los más importantes el comercio al por menor y la industria manufacturera. La subcuenca constó de 23 arroyos, 2 ríos y 3 presas, en dónde se localizaron 6 estaciones de monitoreo de calidad del agua. En lo que se refiere al estado trófico, de acuerdo a los indicadores de la OECD y CEPIS, éste fue eutrófico por concentraciones de NT de 0.17 mg/L a 869.04 mg/L), de PT de 0.01 mg/L a 0.27 mg/L, de Chl de 0.5 mg/m³ a 240.0 mg/m³ y de DS de 0.1 m a 4.0 m. El IET de las presas San José, El Peaje y el Potosino fue de 27 a 84%, de 38 a 95% y de 17 a 92%, respectivamente, evidenciando una alta productividad biológica por eutrofización. De acuerdo al WPL por PT, la presa San José superó ocho veces su capacidad, razón por la cual el proceso de eutrofización se ha acelerado. De acuerdo al inventario de emisiones de DBO, SST, NT y PT, estas ascendieron a 133.0 t/año, 643.4 t/año, 24.4 t/año y 4.5 t/año, respectivamente, para las fuentes puntuales y difusas. Los resultados de este estudio permitieron identificar las fuentes y cuantificar las emisiones contaminantes en la subcuenca hidrográfica de la presa San José causantes de la eutrofización.

PALABRAS CLAVE: Agua, Calidad del agua, Emisiones contaminantes, Fuentes puntuales y difusas, Estados eutróficos, Eutrofización, Presa San José, Presa El Peaje, Presa El Potosino, San Luis Potosí.

Abstract

The concentrations of total phosphorus (PT) and total nitrogen (NT) in the San José dam, located on the outskirts of the city of San Luis Potosí, are greater than 0.2 and 2.0 mg/L, respectively. These concentrations exceed the permissible limits (LP) of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) of NT (1.9 mg/L) and PT (0.1 mg/L), indicating eutrophic states. In turn, eutrophic states are evidenced by excessive algae growth and bad odors from the dam. To date, however, the polluting sources and emissions of the San José dam hydrographic subbasin are quantitatively unknown. For these reasons, the objectives of this work were: i) to determine the area of the hydrographic subbasin of the San José dam, ii) to describe the physical environment of the study area, iii) to determine the trophic state of the San José dam, El Peaje and El Potosino, and iv) to develop the inventory of polluting emissions from point and diffuse sources of the San José dam hydrographic subbasin. To do this: i) the area of the subbasin was delimited by geoprocessing data from the hydrological regions and runoff areas upstream of the San José dam, ii) the physical environment of the subbasin was described by preparing maps of the surface geology and the types of soil, land use and vegetation, economic sectors, and the hydrographic network of the sub-basin, iii) the trophic state of the San José, El Peaje and El Potosino dams was determined through the indicators used by the OECD and the Center Pan American of Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS) as well as by the Trophic State Index (IET) using the values of chlorophyll "a" (Chl), transparency with Secchi disk (DS), PT and NT and the Water Pollution Level (WPL) by PT and iv) the inventory of pollution emissions, from point and diffuse sources, was determined using the discharge volume of collected and uncollected domestic wastewater, the average annual volume of natural runoff from land uses and vegetation, and the typical concentrations reported for biochemical oxygen demand (DBO), total suspended solids (SST), NT and PT in residual discharges and land and vegetation uses. The San José dam sub-basin presented an area of 265 km², a surface geology composed of rhyolite rocks and feozems, regosols, and xerosols. The use of land and vegetation was secondary (36%), natural grassland (34%), pine forest (24%), human settlements (3%), induced grassland (2%), and bodies of water (1%). Eleven types of economic sectors were reported in the area, the most important being retail trade and manufacturing. The subbasin consisted of 23 streams, 2 rivers, and 3 dams, where 6 water quality monitoring stations were located. Regarding the trophic state, according to the OECD and CEPIS indicators, the concentrations of NT (from 0.17 mg/L to 869.04 mg/L), PT (from 0.01 mg/L to 0.27 mg/L), Chl (from 0.5 mg/m³ to 240.0 mg/m³), and DS (from 0.1 m to 4.0 m) indicated eutrophic states. The IETs of the San José, El Peaje, and El Potosino dams were 27 to 84%, 38 to 95%, and 17 to 92%, respectively, indicating high biological productivity due to eutrophication. According to the WPL by PT, the

San José dam was eight times its capacity, which explained the accelerated eutrophication process at the dam. According to the inventory of DBO, SST, NT, and PT emissions, these reached up to 133.0 t/year, 643.4 t/year, 24.4 t/year, and 4.5 t/year, respectively, from both point and diffuse sources. Results from this study allowed identifying the sources and quantities of the pollution emissions in the hydrographic sub-basin of the San José dam that cause eutrophication.

KEYWORDS: Water, Water quality, Polluting emissions, Point and diffuse sources, Eutrophic states, Eutrophication, San José dam, El Peaje dam, El Potosino dam, San Luis Potosí.

1. Introducción

1.1. Eutrofización

La eutrofización es un proceso natural que se desarrolla de manera gradual en todos los lagos del mundo, ya que estos reciben nutrientes, principalmente fósforo (P) y nitrógeno (N), de manera natural (Palau, 2003). Sin embargo, el problema surge cuando los lagos se enriquecen de estos nutrientes provenientes de actividades humanas, acelerando así el proceso de eutrofización lo que produce una alta productividad biológica, debido a que estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Lo anterior, es característico de estados eutróficos de los lagos.

Un indicador visible de la eutrofización es el crecimiento excesivo de algas (Ver Figura 1), lo que se traduce a altas concentraciones de clorofila "a" (Chl), un pigmento verde presente en la mayoría de las algas (Shrivastava, 2021).

Otro indicador visible de la eutrofización es la turbidez del agua, la cual se puede medir a través de la transparencia del agua utilizando un disco Secchi (DS). Este instrumento permite determinar la profundidad máxima a la que se puede observar el DS cuando se sumerge. Cuando la profundidad del DS es pequeña, indica altas concentraciones de algas, sólidos suspendidos (SS) y/o materia orgánica, reflejando así una alta productividad biológica (Shrivastava, 2021).

Además de que la eutrofización es un problema ambiental, también puede ser una amenaza para la salud humana debido a la proliferación de algas y cianobacterias que tienen la capacidad de producir toxinas (García, 2016), que podrían llegar a ser perjudiciales para las personas que consumen agua o alimentos contaminados (Vásquez et al., 2012).

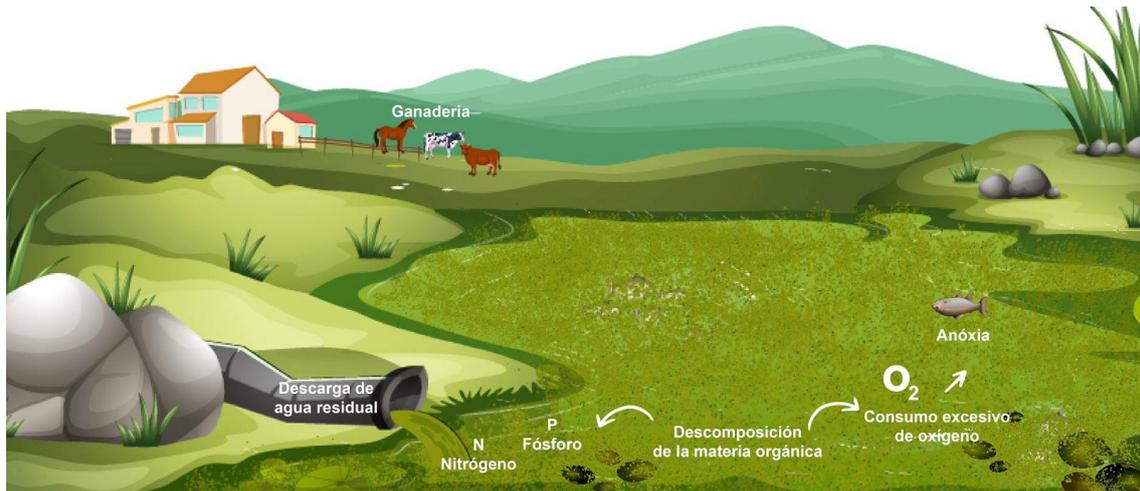


Figura 1. Proceso de eutrofización en cuerpos de agua lénticos. Autoría propia (2023).

El exceso de nutrientes (P y N) que acelera la eutrofización puede originarse por la escorrentía de fertilizantes utilizados en actividades agrícolas y ganaderas, así como por vertidos de aguas residuales domésticas e industriales. Además, la acumulación de sólidos, la descomposición de materia orgánica y la actividad biológica en los cuerpos de agua también contribuyen a la carga de nutrientes (Ávalos, 2009). Esto resulta en turbidez y en el consumo de oxígeno disuelto (OD), lo que, a su vez, provoca la mortandad de la vida acuática y alteraciones en las características organolépticas del agua, como su olor y sabor (Ruiz, 2018).

La eutrofización puede ser especialmente problemática en cuerpos de agua lénticos, como lagos, estanques y presas, ya que las aguas estancadas tienen la capacidad de acumular nutrientes (Moreno et al., 2010).

En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), lleva a cabo la medición de la calidad del agua superficial y subterránea a través de la Red Nacional de Monitoreo (RNM) (CONAGUA, 2021a). En 2022, dicha red consistía en 2,595 sitios de monitoreo o estaciones de monitoreo de calidad del agua en todo el país.

Del año 2013-2021, la CONAGUA reportó datos sobre concentraciones de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) a través de las estaciones de monitoreo de la presa San José, ubicada en San Luis Potosí. Estos informes registraban concentraciones de NT > 2.0 mg/L y de PT > 0.1 mg/L. Dichas concentraciones rebasan los límites permisibles (LP), 1.9 mg/L para NT y 0.1 mg/L para PT, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

(OECD, por sus siglas en inglés) para estados eutróficos, por lo que la concentración de nutrientes en la presa San José pudieron acelerar significativamente el proceso de eutrofización.

Adicionalmente, la presencia excesiva de algas y malos olores en la presa San José (Figura 2), son signos visibles de la eutrofización, lo que sugiere que el agua de la presa está siendo afectada por alguna fuente contaminante.



Figura 2. Crecimiento de algas en la presa San José en San Luis Potosí. Foto tomada el 24 de junio del 2022.

En base a lo expuesto anteriormente, es importante destacar la situación en la localidad de Escalerillas ya que pudiese ser una de las fuentes de contaminación hacia la presa San José. Esta comunidad, ubicada aguas arriba de la presa San José, tiene carencias de servicios básicos como agua potable y alcantarillado en más de 674 viviendas, de un total de 1,205, a pesar de su proximidad a la capital potosina (INEGI, 2020). Esta carencia de servicios básicos ha dado lugar a que las descargas de agua residual contaminen el río Santiago (García, 2022), que es el cauce principal de la presa San José. Además, la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) "Escalerillas" (Latitud 2446451, Longitud 285917) no se encuentra en operación y tiene una capacidad limitada e insuficiente de tan solo 5 L/s, desconociéndose el sistema de tratamiento que podría llevar a cabo (Pacheco, 2021).

En la literatura, se ha informado sobre la eficiencia de remoción de N y P en diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales (Tabla 1), considerando una operación de máxima eficiencia (Ruiz, 2018). Por lo que, se considera que

el sistema de tratamiento más eficiente para remover nutrientes es el de lodos activados con remoción de nutrientes.

Tabla 1. Eficiencia de remoción de N y P para diversos sistemas de tratamiento de agua residual (Metcalf y Eddy, 2004; Ruiz, 2018).

Sistema de tratamiento	Eficiencia de remoción de N (%)	Eficiencia de remoción de P (%)
Anaerobio	< 60	< 35
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	< 60	< 35
Fosa séptica	< 30	< 35
Lagunas aireadas	< 30	< 35
Lagunas de estabilización	< 60	< 35
Lodos activados	< 60	< 35
Lodos activados con remoción de nutrientes	< 80	< 90
RAFA o UASB	< 60	< 35
Zanjas de oxidación	< 60	< 35

RAFA o UASB - reactor anaerobio de flujo ascendente.

En la prensa local de San Luis Potosí se ha informado de problemas de contaminación en la presa San José. Sin embargo el problema se ha abordado desde la perspectiva del crecimiento excesivo de lirio acuático, dejando de lado la cuestión de la eutrofización. En respuesta a esta problemática el Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (INTERAPAS), responsable del suministro de agua en la ciudad, ha destinado recursos para eliminar el lirio acuático de la presa San José. El proceso consiste en extraer el lirio, depositarlo y extenderlo en las orillas, permitiendo que se seque, y luego trasladarlo a un banco de depósito como destino final.

Por otro lado, en 2019, el Consejo Académico del Posgrado del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT) estableció el Laboratorio Extramuros (LEMUR) con el objetivo de abordar problemas sociales locales a través de la colaboración interdisciplinaria de los estudiantes. En este contexto, los estudiantes del LEMUR se propusieron resolver el problema del lirio acuático en la presa San José y proponer soluciones de interés para la comunidad. Para dicho efecto, se establecieron alianzas con instituciones académicas como el Colegio San Luis (COLSAN), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

(UASLP) e instituciones gubernamentales como la CONAGUA, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), la Comisión Estatal del Agua (CEA), la Secretaría de Gestión Ambiental (SEGAM) y la Comisión Estatal de Áreas Naturales Protegidas (CEANP). También, con asociaciones civiles como el Grupo Sierra de San Miguelito A.C. y el Comisariado Ejidal del poblado de Escalerillas. Lo anterior, para trabajar conjuntamente en torno a la presa San José. El resultado de este grupo de trabajo se declaró “exitoso”. Sin embargo, se desconocen los logros y resultados obtenidos, además que el problema tampoco se abordó desde la eutrofización. La convocatoria de esta iniciativa se presenta en el Anexo 1.

La eutrofización en la presa San José es un asunto de gran relevancia que requiere atención inmediata. Esta problemática se ha consolidado como una de las principales fuentes de contaminación en los sistemas acuáticos, con efectos adversos significativos en el equilibrio ecológico y la biodiversidad del ecosistema. Para abordar eficazmente esta situación, es importante contar con datos concretos que nos permitan identificar las fuentes de contaminación específicas que podrían ser tratadas. Esta información es fundamental para posteriormente implementar estrategias dirigidas a mitigar el proceso de eutrofización y preservar la calidad de este recurso vital.

1.2. Hipótesis

La eutrofización de la presa San José se debe al ingreso de P y N provenientes de las descargas de agua residual de las poblaciones de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el estado trófico de las presas San José, El Peaje y El Potosino así como las fuentes y las emisiones contaminantes de la demanda bioquímica de oxígeno, de los sólidos suspendidos totales, del fósforo y del nitrógeno en la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Delimitar el área de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.
2. Describir el medio físico del área de estudio.
3. Determinar el estado trófico de la presa San José, El Peaje y El Potosino.
4. Desarrollar el inventario de emisiones contaminantes de fuentes puntuales y difusas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

2. Marco teórico

2.1. Regiones hidrológicas de México

La CONAGUA ha implementado un sistema de gestión de recursos hídricos y administración de datos socioeconómicos en la república mexicana a través de la división del territorio en trece regiones hidrológico-administrativas (RHA) (CONAGUA, 2019a), como se muestra en la Figura 3. Este sistema busca una mejor integración de los datos y recursos hídricos para una administración y preservación más eficiente y efectiva en todo el país (CONAGUA, 2022b).

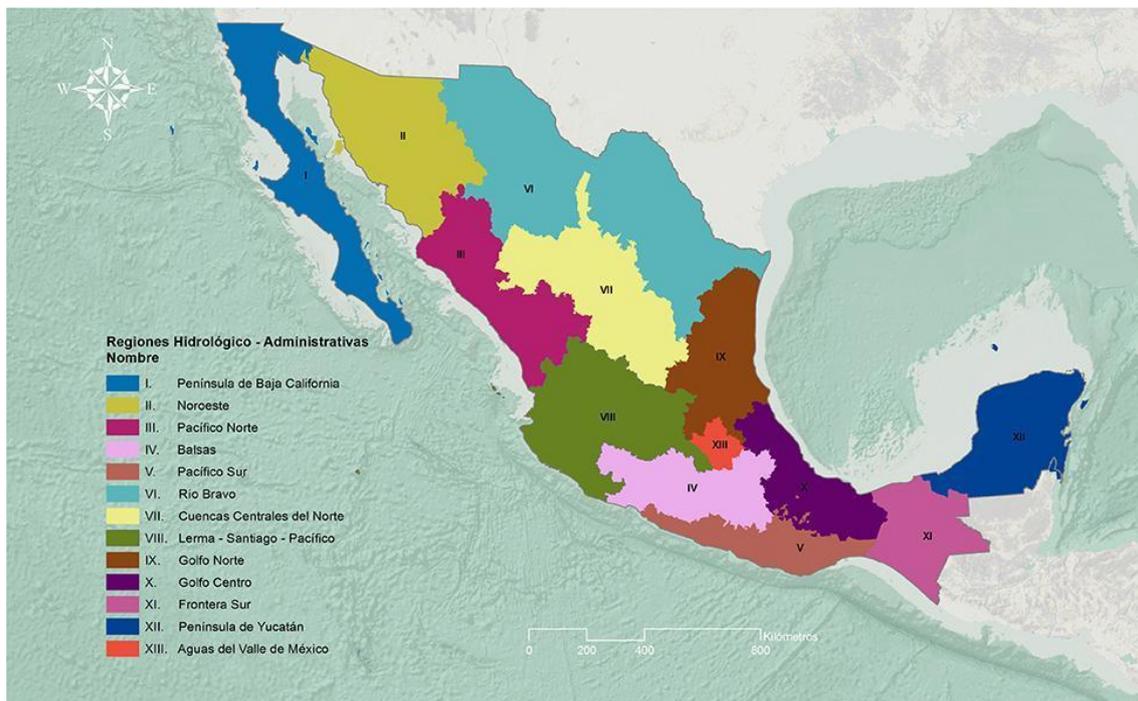


Figura 3. Regiones Hidrológico-Administrativas de México (SEMARNAT, 2015a).

En México, las regiones hidrológicas (RH) desempeñan un papel fundamental en la administración y cálculo del agua renovable disponible (CONAGUA, 2019a). Las RH están organizadas en 37 divisiones que delimitan las principales cuencas del país (Figura 4).

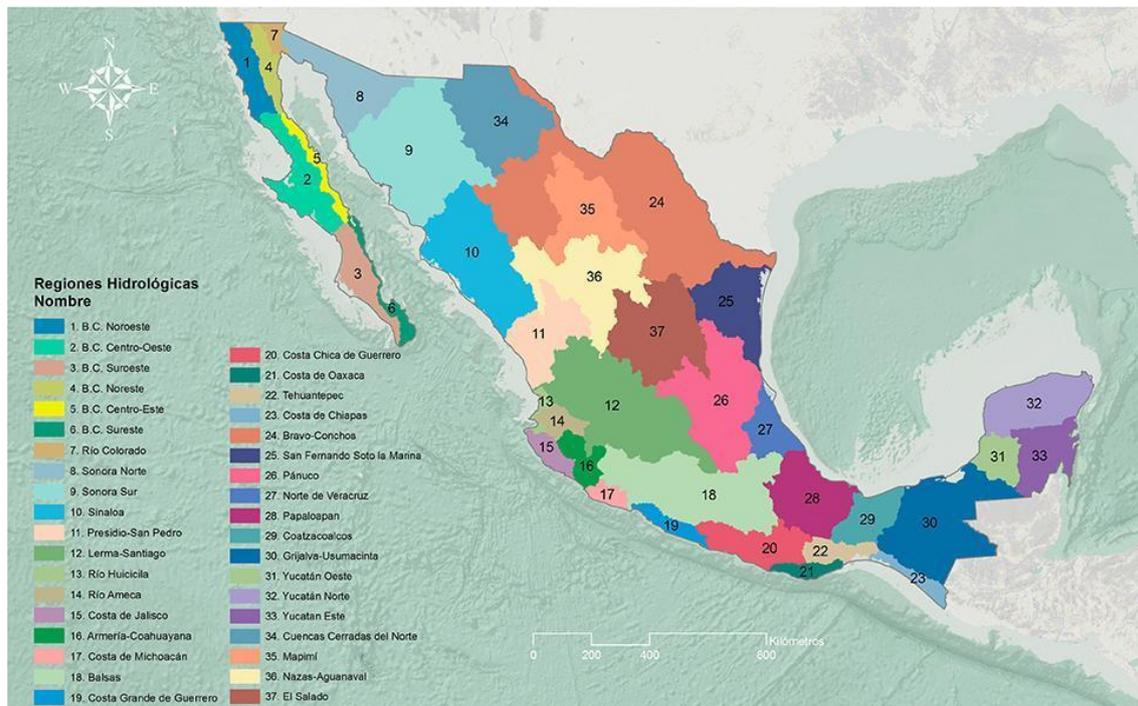


Figura 4. Regiones Hidrológicas de México (SEMARNAT, 2015a).

Cada cuenca hidrográfica, en el sistema de clasificación de CONAGUA, se identifica con un código alfanumérico que se compone de dos letras y un número, lo que permite su fácil identificación y seguimiento. Este sistema es esencial para la gestión adecuada del uso del agua y otros recursos naturales en cada región, así como para la comparación y análisis de datos hidrológicos y meteorológicos a nivel regional y nacional (Cotler et al., 2007).

La Región Hidrológica Número 37 (RH-37) “El Salado” se ubica en la zona occidental en la altiplanicie septentrional en toda la porción noroccidental del estado de San Luis Potosí y tiene una extensión de 87,801 km², correspondiente al 54.2% de la superficie total del territorio potosino (Estrada, 2013). El Salado se localiza dentro de los límites de la RHA-VII “Cuencas Centrales del Norte” y se divide en 8 subcuencas cerradas de topografía monótona y de pocas elevaciones importantes de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2002b). Las subcuencas que forman parte de El Salado son: RH-37A Sierra Madre Oriental, RH-37C Sierra de Rodríguez, RH-37D Camacho-Gruñidora, RH-37H Sierra Madre, RH-37B Matehuala, RH-37E Fresnillo-Yescas, RH-37G Presa San José-Los Pilares y Otras y RH-37F Presa San Pablo y Otras (INEGI, 2002b), como se muestra en la Figura 5.

Las subcuencas presa San José-Los Pilares y Otras (G) se ubican en la porción centro occidental del estado de San Luis Potosí, cubriendo una superficie de 17% del estado (INEGI, 2002a), limitando al norte con la subcuenca de Matehuala, al sur y sureste con la región hidrológica Pánuco, al este con la subcuenca Sierra Madre y al oeste y suroeste con la subcuenca San Pablo (Carrizales, 2004). La subcuenca (G) se divide en dos subcuencas (Ga) presa Los Pilares y (Gb) presa San José con 10% y 6% de la superficie del territorio potosino respectivamente (Mares et al., 2018).

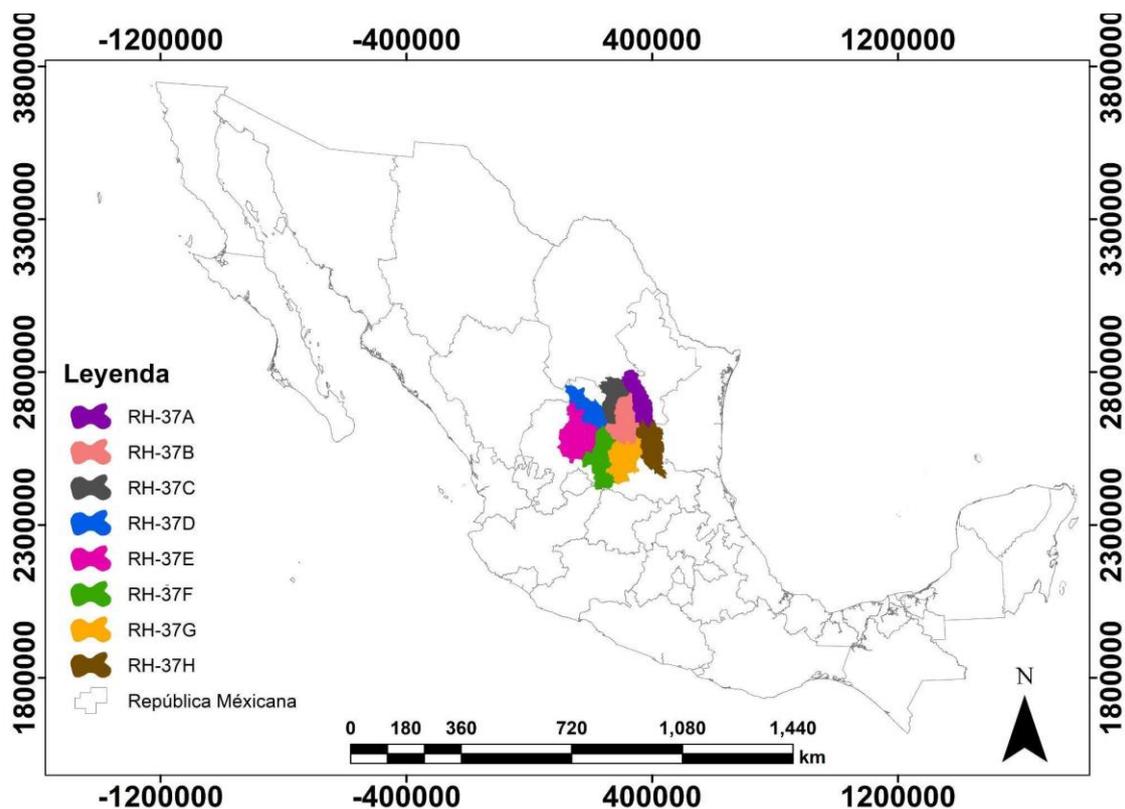


Figura 5. Subcuencas de la región hidrológica 37 “El Salado”. Construida a partir de datos de INEGI (2017b).

2.1.1. Presas

La gestión de los recursos hídricos en México se lleva a cabo mediante diversas estrategias, siendo una de ellas el almacenamiento de agua a través de estructuras hidráulicas conocidas como presas. De acuerdo con Domínguez (2019), las presas se sitúan de manera estratégica en las cuencas hidrográficas considerando factores ambientales, sociales y técnicos como:

1. El clima: se debe considerar un clima húmedo, una precipitación anual suficiente, evitar temperaturas extremas, tener en cuenta la tasa de

evaporación y la variabilidad en los ciclos de lluvia, así como los riesgos naturales.

2. La geología: se deben considerar los aspectos geológicos del área circundante y la geología de la propia presa (permeabilidad de la roca, la erosión, la capacidad de soporte, la estabilidad de la pendiente y la presencia de fallas).
3. Los tipos y usos de suelo y vegetación: se debe considerar un uso del suelo adecuado que no comprometa la calidad del agua. Si la presa se construye en una zona agrícola o urbana, se deben tomar medidas para proteger la calidad del agua y minimizar los impactos ambientales. Además, se debe evitar la construcción de presas en zonas con una vegetación densa, ya que puede afectar la estabilidad de la presa y comprometer su seguridad.
4. Las actividades económicas: se debe considerar que el suministro de agua sea adecuado y sostenible para satisfacer las necesidades de las actividades económicas.
5. La red hidrográfica: se debe considerar un río con caudal adecuado y sostenible, ya que esto determinará la cantidad de agua que se puede almacenar y utilizar.
6. Los usos previstos para el agua almacenada: se debe considerar la demanda de agua potable en la zona circundante y la calidad del agua para determinar si el agua es adecuada para el uso previsto. Para acondicionar la calidad del agua para abastecimiento público el agua tendrá que pasar por un tratamiento en plantas potabilizadoras.

Además, un factor importante para la gestión y operación de presas es el tiempo de residencia hidráulica (TRH). El TRH se refiere al período de tiempo durante el cual el agua puede permanecer en un embalse antes de ser liberada (Ecuación 1) (Vörösmarty et al., 2003).

$$\Delta t_{Rj} = \frac{\sum V_{ij}}{Q_j} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

Δt_{Rj} = *Tiempo de residencia hidráulica de la presa j (años).*

V_{ij} = *Volumen de almacenamiento i (Mm³).*

Q_j = *Gasto de descarga j (Mm³/año).*

Un TRH prolongado tiene la posibilidad de mayor retención de sedimentos ricos en nutrientes, lo que puede causar eutrofización y disminución de la capacidad de almacenamiento de las presas (US Energy Solutions, 2023).

Según un informe de Arreguín et al. (2013), en México existen 836 presas grandes (con cortinas mayores a 15 m de altura), 4,330 presas pequeñas y alrededor de 8,000 presas y bordos pequeños no registrados. La operación de las presas se lleva a cabo entre el Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), que es el máximo nivel con que se puede operar una presa, para satisfacer las demandas y el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) que es el nivel más alto de agua que puede resistir la cortina de una presa (CONAGUA, 2022a). El bordo libre se considera como la elevación extra en la cortina que toma en cuenta los movimientos del agua por oleaje y la corona es la parte superior de una cortina (Téllez, 2012).

La presa San José, ubicada en las afueras de la ciudad de San Luis Potosí entre los 2450787 de latitud y 288011 de longitud (Figura 6), forma parte de la subcuenca presa San José (Gb). El perímetro de la presa es de 11.4 km y el área es de 1.2 km² aproximadamente (Google LLC, s/f). La presa San José se comenzó a construir el 19 de marzo de 1894 e inició su operación en el año de 1903 (Camacho, 2020), por lo que es la estructura hidráulica más antigua de San Luis Potosí, S.L.P.

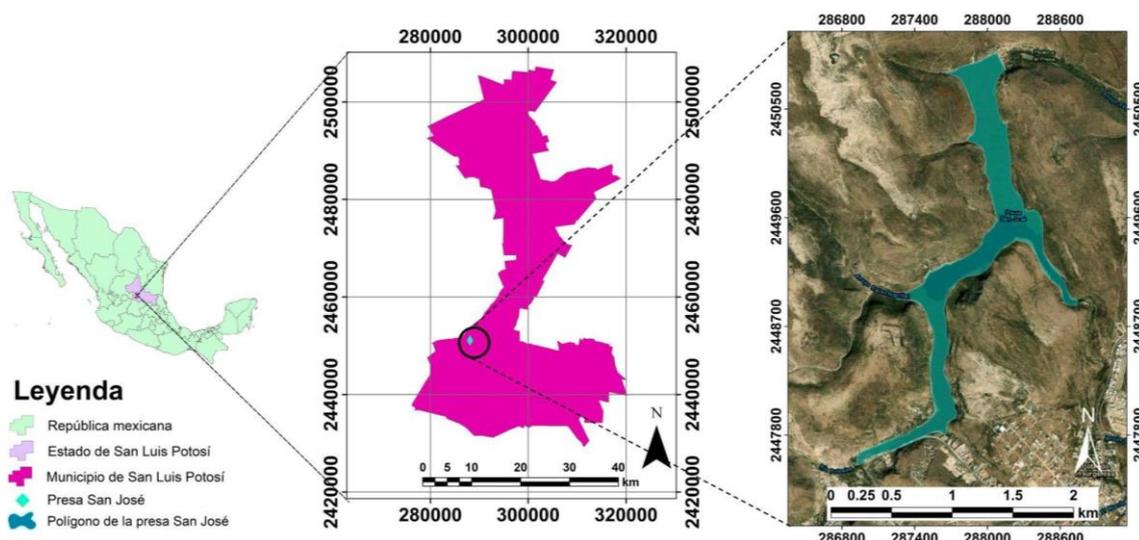


Figura 6. Localización de la presa San José en el municipio de San Luis Potosí, San Luis Potosí. Construida a partir de datos reportados por CONAGUA (2022); INEGI (2010).

Aguas arriba de la presa San José se origina el cauce del río Santiago a partir de 26 afluentes que descargan sus aguas en un sistema de vasos de captación conformado por tres presas: El Peaje, El Potosino y San José. La longitud aproximada de dicho río es de 70 km desde su nacimiento en las inmediaciones de la sierra de San Miguelito, hasta su desembocadura en las lagunas de la Tinaja al noreste de la zona metropolitana de San Luis Potosí (López-Mares et al., 2019).

El río Santiago se compone de tres arroyos principales: el arroyo Grande, el arroyo Azul y el arroyo Las Cabras (Olivo, 1977) como se muestra en la Figura 7. Algunas de las corrientes que desembocan directamente en la presa San José a través del río Santiago son el arroyo Las Escobas, ubicado en el margen izquierdo a 3 km aguas arriba de la cortina de la presa y el río Potosino ubicado en el margen derecho cerca de la localidad de Escalerillas (INEGI, 2012).

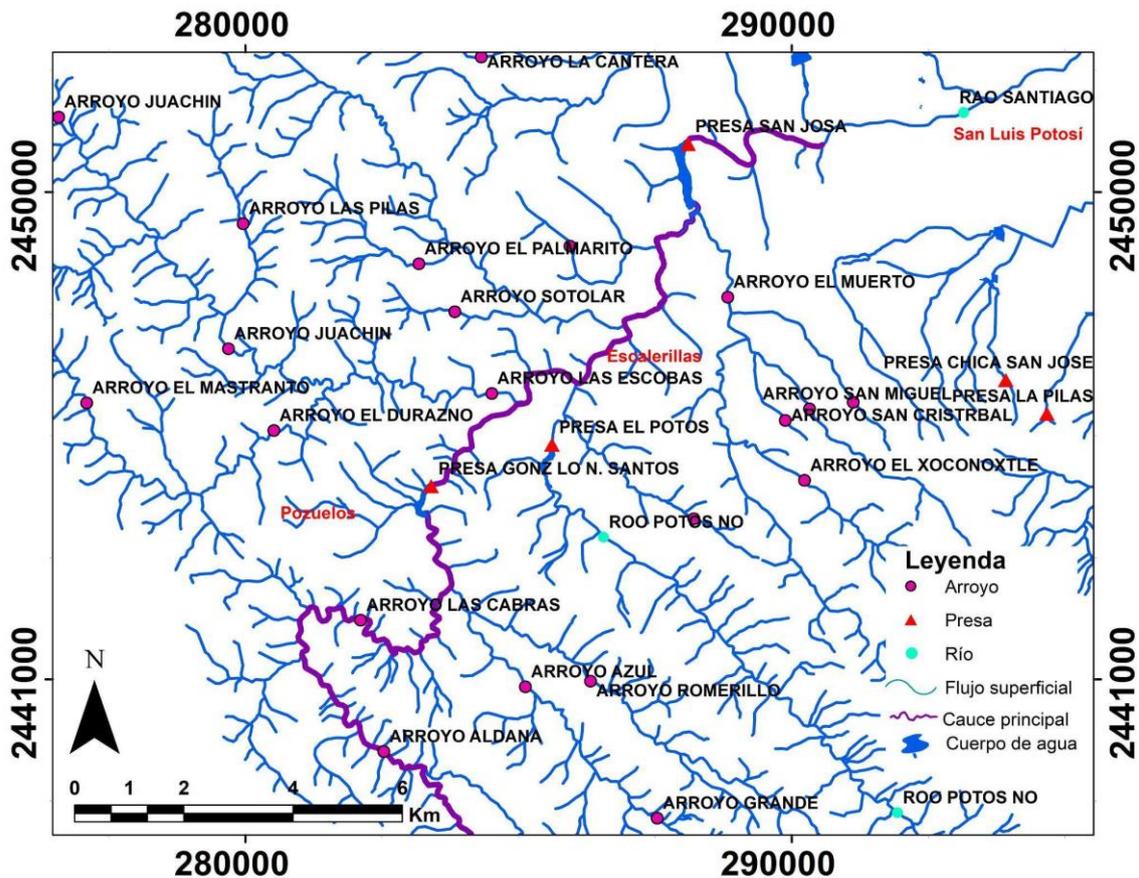


Figura 7. Arroyos principales que desembocan en el cauce principal de subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por INEGI (2010).

El 76% de la población de la capital potosina y zonas conurbadas se abastece de 129 pozos del acuífero profundo del valle de San Luis Potosí, que producen 2,917 L/s, el 24% restante se abastece a través de las presas San José, Gonzalo N. Santos (El Peaje), El Potosino y El Realito (IMPLAN, 2021). Estas presas suministran un caudal total de 520 L/s que se destina a dos plantas potabilizadoras, "Los Filtros I" y "Los Filtros II" (Tabla 2). En estas plantas el proceso de tratamiento consiste en cribar, aplicar reactivos (sulfato, polímero), flocular, sedimentar, filtrar y clorar el agua para su posterior distribución a través de 7 líneas de conducción (INTERAPAS, 2011). El agua que se distribuye debe cumplir con los estándares establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el uso y consumo humano (SSA, 2000; IMPLAN, 2021).

Tabla 2. Plantas potabilizadoras del agua de las presas San José, El Potosino y El Peaje en San Luis Potosí. Construida a partir de datos reportados por CONAGUA (2020); INTERAPAS (2011).

Clave	Planta	Latitud	Longitud	Capacidad instalada (L/s)	Caudal tratado (L/s)
-------	--------	---------	----------	---------------------------	----------------------

127	Los Filtros I	50573	91675	480	250
128	Los Filtros II	24501	28991	40	25

La cortina de la presa San José se encuentra entre los 245086 de latitud y los 288158 de longitud, tiene un ancho de 5.7 m, una longitud de 172 m y una altura de 32.0 m (Figura 8a). El comportamiento de la cortina es rígido, de bloques labrados, cimentación rocosa y eje circular (CONAGUA, 2022c). Adicionalmente, la cortina se conforma por dos vertedores laterales de operación libre con capacidad de 42.25 m³/s, por un bordo libre de 0.4 m, por seis compuertas (trabaja solo una a la vez) de 18" de diámetro con gasto de 0.35 m³/s, con un control de excedencias de 140 m³/s y por una corona con elevación de 1955.0 m.s.n.m. (INTERAPAS, 2011).

En 2022, el NAMO de la presa San José tenía una elevación de 1933.3 m.s.n.m. y un almacenamiento de 5.2 hm³ y el NAME tenía una elevación de 1933.7 m.s.n.m. y un almacenamiento de 5.6 hm³ (CONAGUA, 2022a), como se muestra en la Figura 8b.

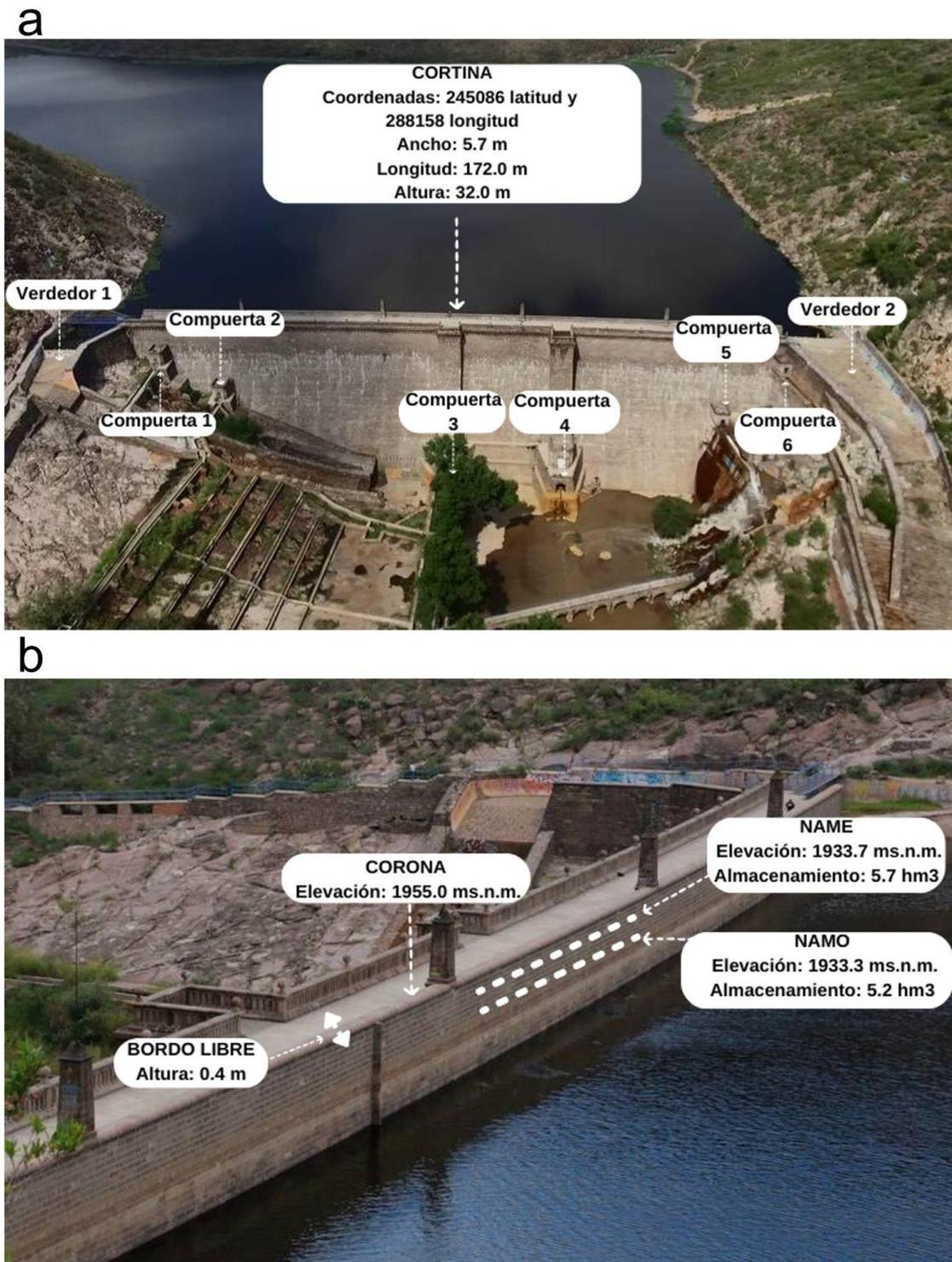


Figura 8. a) Esquema ilustrativo de la parte delantera y b) posterior de la cortina de la presa San José. Construida a partir de imágenes tomadas por El Sol de San Luis (2018).

El NAMO de la presa San José ha tenido cambios de elevación y almacenamiento a través del tiempo (Figura 9) debido a diversos factores como el clima, a cambios hidrológicos (ciclo del agua), al mantenimiento de la presa y a las demandas de agua de la población (Domínguez, 2019).

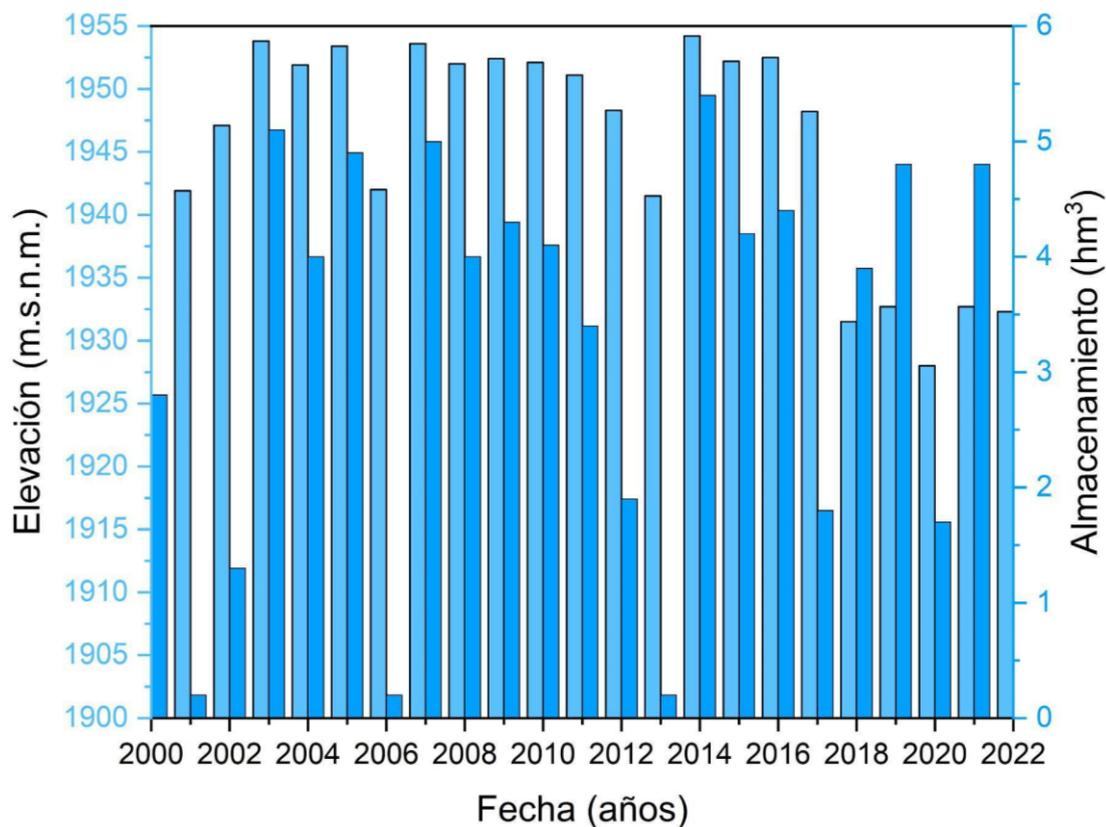


Figura 9. Cambios de elevación del NAMO y almacenamiento del año 2000 al 2022 en la presa San José, en el municipio de San Luis Potosí. Construida a partir de comunicación personal con CONAGUA (2023).

De acuerdo con la CONAGUA (2022a), en el año de 1903 la capacidad del NAMO de la presa San José era de 8.0 Mm^3 , por lo que se estima que el volumen de azolvamiento actual es de 2.8 Mm^3 con un volumen promedio de sedimento acumulado de $0.02 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

2.2. Sistemas de clasificación del estado trófico de los cuerpos de agua

2.2.1. El estado trófico

El estado trófico es un sistema de clasificación cualitativo diseñado para determinar el estado actual de los lagos así como su condición futura basado en la productividad biológica (o biomasa de algas), misma que depende de la concentración de nutrientes (principalmente P y N) en los lagos (Carlson, 1977). Según Moreno et al. (2010), el estado trófico hace referencia a la cantidad de nutrientes presentes en un lago, río o presa. Con este sistema, los cuerpos de agua se pueden agrupar en cinco estados tróficos, desde el nivel más bajo de productividad biológica hasta el más alto (López y Madroñero, 2015; Hoyer et al., 2022):

1. Ultraoligotrófico: cuerpos de agua altamente prístinos, caracterizados por una productividad biológica extremadamente baja debido a una concentración mínima de nutrientes. Estas aguas se presentan transparentes, sin vida acuática y saturadas de oxígeno.
2. Oligotrófico: nivel bajo de productividad biológica debido a una baja concentración de nutrientes. El agua es muy clara, con pocas plantas acuáticas, pocos peces, poca vida silvestre y alta concentración de OD.
3. Mesotrófico: nivel moderado de productividad biológica debido a un aumento de concentración de nutrientes. El agua es moderadamente clara y alberga una cantidad moderada de plantas acuáticas
4. Eutrófico: alto nivel de productividad biológica debido a una alta concentración de nutrientes. El agua comienza a tornarse turbia, con proliferación excesiva de algas y plantas acuáticas.
5. Hipereutrófico: nivel más alto de productividad biológica debido a una alta concentración de nutrientes. La claridad de agua es muy baja (verdosa) debido a la acumulación y descomposición de la biomasa algal causando condiciones anóxicas.

Numerosos cuerpos de agua como lagunas, embalses y lagos naturales de México han tenido problemas de eutrofización, por lo que muchos de ellos se encuentran en estados eutróficos, lo que interfiere con los propósitos específicos para los que esos embalses fueron creados (SEMARNAT, 2013b).

Entre los casos documentados en México con problemas de eutrofización se incluye el lago de Chapala en Jalisco, en la península de Yucatán se han registrado lagunas costeras como Celestún, Chelem, Dzilam, Río Lagartos, Holbox, Chacmochuk, Nichupté, Bojorquez, Ascensión y Chetumal, la presa de Valle de Bravo, lagos urbanos de la Ciudad de México como el de Xochimilco, Chapultepec, Tezozomoc, el lago de Tequesquitengo en Morelos, Pátzcuaro en Michoacán, Cajititlán en Jalisco, Zimapán en Hidalgo, entre otros (García, 2016).

El estado trófico al ser un sistema de clasificación cualitativo no permite tener una precisión o delimitación clara entre cada cambio trófico, lo que puede generar confusión (Carlson, 1977). Para resolver un poco esto, la OECD (1982)

propuso valores límites para clasificar los estados tróficos de lagos templados de acuerdo con valores promedio de DS, Chl, PT y NT (Figura 10).

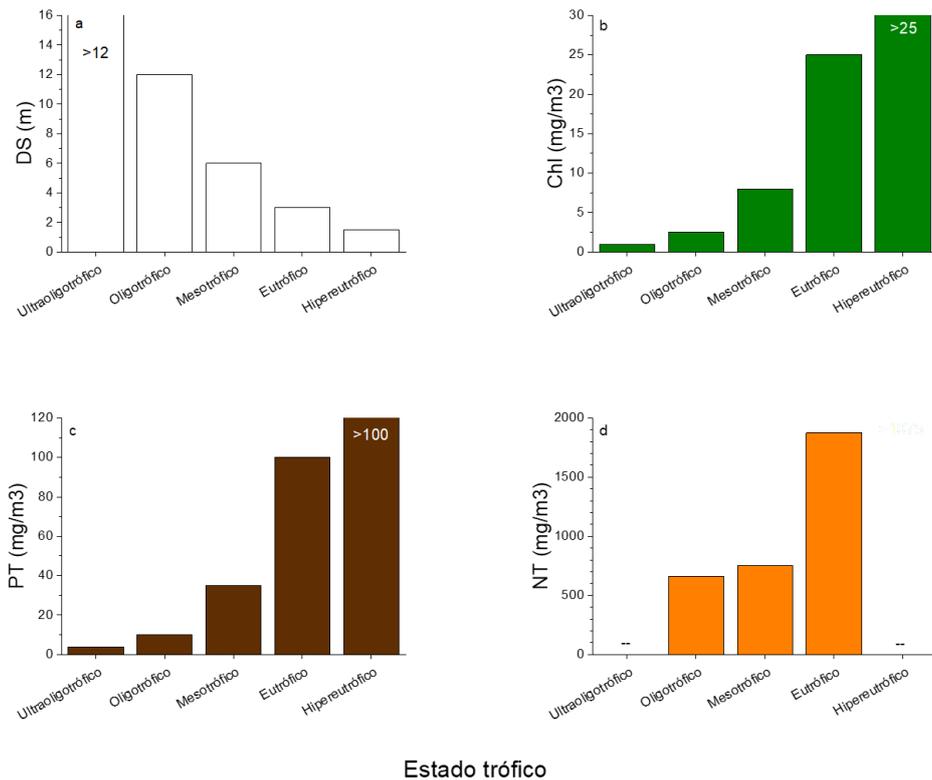


Figura 10. Estado trófico (ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico) y valores límites de a) DS, b) Chl, c) PT y d) NT para clasificar los estados tróficos según la OECD, 1982.

Además, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), un centro especializado perteneciente a la Organización Panamericana de la Salud de la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), implementó un programa regional para desarrollar enfoques simplificados para evaluar la eutrofización en lagos y embalses cálidos tropicales de América Latina y el Caribe (Salas y Martino, 2001). Lo anterior, debido a que, en la región, la mayoría de los cuerpos de agua presentan concentraciones de P superiores a 0.05 mg/L (50.0 mg/m³) y una producción excesiva de biomasa, lo que llevó a sugerir dicha concentración como un valor límite para clasificar a los cuerpos de agua como eutróficos.

No obstante, para poder tener una mayor precisión al describir los cambios tróficos, Carlson (1977) desarrolló un índice cuantitativo que permite definir y clasificar cuantitativamente el estado trófico de los lagos, conocido como índice de estado trófico.

2.2.2. El índice de estado trófico (IET)

El índice de estado trófico (IET) es un sistema de clasificación cuantitativo diseñado para determinar el estado trófico de los lagos en una escala de 0 a 100%, donde cada decena (10%, 20%, 30%, etc.) representa un incremento del doble de la biomasa algal. Este índice puede calcularse a través de la transparencia del DS, la Chl y el PT. Lo anterior, debido a las relaciones que existen entre dichos parámetros y la biomasa algal (Carlson, 1977).

En muchos lagos, la transparencia del DS exhibe comportamientos hiperbólicos cuando se gráfica contra parámetros relacionados con la biomasa algal, como la Chl (Figura 11a), donde un incremento del doble de biomasa algal ocasiona la disminución de la transparencia a la mitad (Figura 11a) (Carlson, 1977), como ocurre en las funciones logarítmicas de base 2. De hecho, hay una relación recíproca inversa entre el logaritmo de la concentración de la biomasa algal (expresada como Chl) y el logaritmo de la transparencia del DS (Figura 11b) (Carlson, 1977).

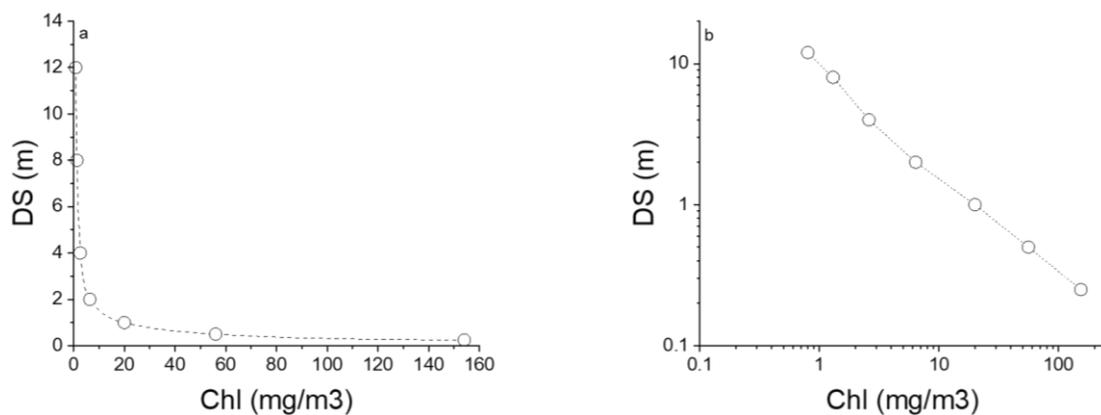


Figura 11. a) Esquema del comportamiento hiperbólico de la transparencia del DS contra la Chl, mostrando b) una relación inversa entre la transparencia del DS y concentración de la biomasa (en este caso, Chl). Construida a partir de datos reportados por Carlson (1977).

En lagos altamente prístinos, el IET se asumió 0% debido a una producción de biomasa algal mínima, donde la transparencia de sus aguas permitió lecturas de hasta 64 m de DS (Carlson, 1977). Dichas condiciones sirvieron de punto de partida para el establecimiento de la escala del IET, mismo que corresponde a 0% cuando la transparencia del DS = 64 m (Figura 12a).

De acuerdo con la ecuación $IET = 10(6 - \text{Log}_2 DS)$ (Carlson, 1977), una disminución sucesiva del 50% de la transparencia de DS (por la presencia de biomasa algal), causa incrementos sucesivos de 10 unidades porcentuales en el IET (Figura 12a). Así, en lagos con poca biomasa algal, cuando la transparencia del agua es alta, el IET es bajo y viceversa (Figura 12a).

La simplicidad de las mediciones de transparencia con el DS la hacen un parámetro fácilmente asequible, comprendido y apreciado por lo que ésta se convirtió en una medida clave para la determinación cuantitativa del estado trófico de los lagos (Carlson, 1977). No obstante, la concentración de Chl y PT también son indicadores de la biomasa algal, por lo que estos también se utilizan como parámetros para determinar el IET (Figuras 12b y c). A diferencia de la transparencia del DS, cuando la concentración de Chl y PT incrementan (por la presencia de biomasa algal), el IET aumenta (Figuras 12b y c).

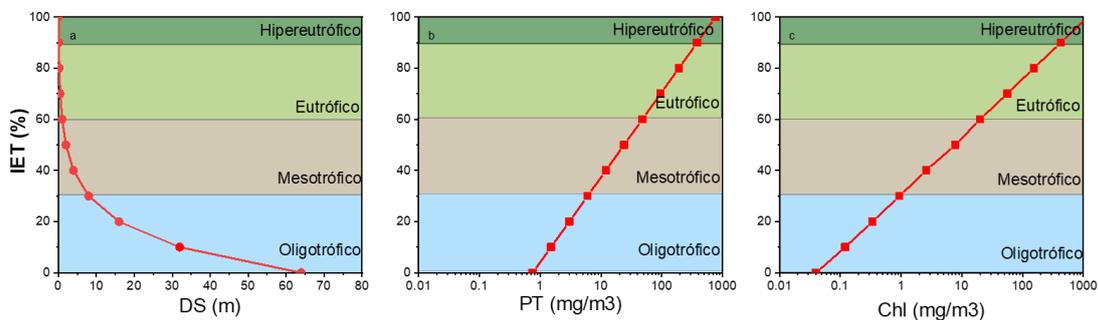


Figura 12. El IET en función de a) la transparencia del DS, b) el PT y c) la Chl de acuerdo al modelo de Carlson (1977) y las clases tróficas de Orquera y Cabrera (2019).

Debido a que la transparencia del agua está parcialmente influenciada por factores independientes de la biomasa algal, como la concentración de materiales suspendidos (fitoplancton, detritos, bacterias y materia orgánica), Aizaki et al. (1981) modificó el modelo propuesto por Carlson (1977) e intentó tomar en cuenta otros parámetros relacionados con el estado trófico de los lagos. En lugar de tomar la transparencia del DS como el indicador de la biomasa algal, Aizaki et al. (1981) tomó la concentración de Chl como un mejor indicador de la biomasa algal. En este contexto, el IET se asumió 0% a una concentración relativamente baja de Chl (0.1 mg/m^3) y 100% a una concentración muy alta de Chl ($1,000 \text{ mg/m}^3$). Lo anterior, relativa y arbitrariamente, tomando en cuenta que las concentraciones ordinarias de Chl varían entre 200 y 400 mg/m^3 y que las concentraciones observadas en lagos eutróficos con abundantes floraciones de

algas verde-azules varían entre 500 y 1000 mg/m³. Por último, Aizaki et al. (1981) modificó la profundidad máxima a la que se ha observado el DS en cuerpos de agua altamente prístinos de 64 m a 46 m por considerarla más representativa de los cuerpos de agua altamente prístinos. No obstante, como se verá más adelante, tanto el modelo de Carlson (1977) como el de Aizaki et al. (1981) arrojan valores de IET relativamente similares y se consideran herramientas adecuadas para el diagnóstico del estado trófico de los cuerpos de agua.

Así, el IET se puede determinar con las ecuaciones o modelos propuestos por Carlson (1977) o Aizaki et al. (1981) (Tabla 3) en función del PT (IET_{PT}), la Chl (IET_{Chl}) y el DS (IET_{DS}). El IET_{PT} puede arrojar valores erróneos en lagos con gran cantidad de partículas no algales, muy coloreadas o extremadamente claras. Sin embargo, también puede dar valores muy similares a los de la Chl (IET_{Chl}). Para propósitos de clasificación de estados tróficos se recomienda dar prioridad al IET_{PT} y al IET_{Chl} (Carlson, 1977).

Tabla 3. Fórmulas para estimar el IET de los cuerpos de agua a partir del PT, del DS y de la Chl (Aizaki et al., 1981; Carlson, 1977).

IET	Carlson (1977)	Aizaki et al. (1981)
IET _{PT} ¹ (%)	$IET = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{48}{PT} \right)}{\ln 2} \right)$	$IET = 10 \left(2.46 + \frac{6.68 + 1.15(\ln PT)}{\ln 2.5} \right)$
IET _{DS} ² (%)	$IET = 10 \left(6 - \frac{\ln DS}{\ln 2} \right)$	$IET = 10 \left(2.46 + \frac{3.76 - 1.57(\ln DS)}{\ln 2.5} \right)$
IET _{Chl} ³ (%)	$IET = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68(\ln Chl)}{\ln 2} \right)$	$IET = 10 \left(2.46 + \frac{\ln Chl}{\ln 2.5} \right)$

¹Las unidades de las concentraciones de PT en mg/m³ para Carlson y en mg/L para Aizaki.

²DS en m.

³Chl en mg/m³.

2.3. Nivel de contaminación del agua (WPL)

Un indicador clave para evaluar la contaminación del agua por nutrientes es el Nivel de Contaminación del Agua (WPL, por sus siglas en inglés). Éste mide la capacidad de los cuerpos de agua y ríos para asimilar nutrientes, comúnmente conocido como carga crítica ($L_{m\acute{a}x}$), y se obtiene a través de la ecuación 2 (Hoekstra et al., 2011).

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{C_{m\acute{a}x} * V}{\Delta t_{Rj}} \quad \text{Ecuaci3n 2.}$$

Donde:

$$L_{m\acute{a}x} = \text{Carga cr\acute{it}ica de PT en el cuerpo de agua (t/a\~{n}o).}$$

$$C_{m\acute{a}x} = \text{L\acute{i}mite m\acute{a}ximo permisible para estados tr3ficos (mg/L).}$$

$$V = \text{Capacidad de almacenamiento (Mm}^3\text{).}$$

$$\Delta t_{Rj} = \text{T tiempo de residencia hidr\acute{a}ulica del cuerpo de agua j (a\~{n}os).}$$

Un WPL de uno indica que la capacidad de asimilaci3n de nutrientes se ha agotado. Por otro lado, un WPL menor a uno indica que la esorrent\~{i}a es suficiente para asimilar los nutrientes. M\~{e}xico presenta niveles de WPL particularmente altos (Mekonnen et al., 2015).

2.4. Inventario de emisiones contaminantes

La emisi3n contaminante es la masa del contaminante o sustancias t3xicas que se emiten al ambiente por unidad de tiempo (ej: t/a\~{n}o) (Ruiz, 2018) y se estiman con la concentraci3n del contaminante (masa/volumen) por el caudal (volumen/tiempo) que transporta el contaminante (Caparr3s-Cube\~{n}a et al., 2021).

Las emisiones contaminantes por fuentes puntuales son puntos espec\~{i}ficos de descarga f\~{a}ciles de identificar, monitorear y tratar. Com\~{u}nmente, las fuentes puntuales derivan del entorno humano e involucran a las descargas residuales dom\~{e}sticas que a trav\~{e}s de tuber\~{i}as o alcantarillas llegan a los cuerpos de agua superficiales (Ruiz, 2018).

Por otro lado, las emisiones contaminantes por fuentes difusas no tienen un punto de origen espec\~{i}fico o puntual de descargas y se encuentran dispersas en zonas muy extensas, por lo que su detecci3n y control es m\~{a}s complicado (Su\~{a}rez-L3pez et al., 2021). Los contaminantes pueden ser liberados en el ambiente debido a los usos de suelo (agricultura, ganader\~{i}a, forestal, zonas urbanas, etc), a la vegetaci3n y a las descargas residuales dom\~{e}sticas no colectadas y ser transportados por la esorrent\~{i}a natural, teniendo como destino final el suelo, r\~{i}os, arroyos y cuerpos de agua (Ruiz, 2018).

Las cargas externas se refieren a todas las emisiones de contaminantes que alcanzan a llegar a los cuerpos de agua en un determinado per\~{i}odo de tiempo (Vicente y Cruz-Pizarro, 2003). Estas cargas abarcan tanto a las fuentes

puntuales como a las difusas. Por otro lado, las cargas internas son aquellas que se generan dentro del propio cuerpo de agua, donde los contaminantes son liberados desde el sedimento por la acumulación de sólidos, la descomposición de materia orgánica y/o la actividad biológica (Vicente y Cruz-Pizarro, 2003).

El monitoreo es un método utilizado para medir la concentración de contaminantes en puntos específicos, como por ejemplo en un río (Ruiz, 2018). Este proceso implica la toma de muestras en el lugar de interés y su posterior análisis. Además, se puede realizar el aforo del caudal del río con el fin de obtener datos del volumen en función del tiempo.

No obstante, en ocasiones puede no estar disponible la información necesaria acerca de las concentraciones de contaminantes y los caudales, lo que dificulta la estimación de las emisiones contaminantes específicas. Además, llevar a cabo programas de muestreo para recopilar esta información puede resultar costoso (Ruiz, 2018).

Por lo tanto, una alternativa viable para estimar las concentraciones de contaminantes es recurrir a la literatura, donde se pueden encontrar recomendaciones sobre concentraciones típicas de contaminantes en aguas residuales domésticas (Metcalf y Eddy, 2004) y para cada tipo de uso de suelo y vegetación (Benaman et al., 1996) (ver Tabla 4).

Tabla 4. Concentraciones típicas medias de algunos contaminantes reportados en aguas residuales domésticas (Metcalf y Eddy, 2004) y en diferentes usos de suelo y vegetación (Benaman et al., 1996).

	Concentración (mg/L)			
	DBO	SST	NT	PT
Aguas residuales domésticas	220	220	40	10
Usos de suelo y vegetación	DBO	SST	NT	PT
Pastizal inducido	6	70	1.5	0.1
Pastizal natural	6	70	1.5	0.1
Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	6	70	1.5	0.1
Bosque de pino	6	39	0.8	0.1

Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	6	39	0.8	0.1
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	6	39	0.8	0.1
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	6	39	0.8	0.1
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	6	39	0.8	0.1
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	6	39	0.8	0.1
Asentamientos humanos	9	166	2.1	0.4

Para poder estimar el caudal por diferentes usos de suelo y vegetación se puede utilizar la NOM-011-CONAGUA-2015, que establece las especificaciones y métodos para determinar la disponibilidad media anual del agua en México con el fin de utilizarla, explotarla o aprovecharla (SEMARNAT, 2015b). La norma ofrece dos métodos para determinar el caudal medio anual de escurrimiento natural por diferentes usos de suelo: el método directo y el método indirecto.

El método directo se aplica cuando hay un registro hidrométrico de al menos 20 años consecutivos o no consecutivos en la cuenca en estudio. Si faltan datos para completar el periodo de 20 años, se pueden calcular los años faltantes (siempre que no excedan un máximo de cinco años), utilizando un método aprobado por CONAGUA, en el cual se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales.

El volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca mediante el método directo, de acuerdo con la SEMARNAT (2015b), se determina con la siguiente expresión:

$$CP = V2 + UC - V1 + \text{Volumen anual de exportaciones} - \text{Volumen anual de importaciones} - \text{Volumen anual de retornos} \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Donde:

$$CP = \text{Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca (Mm}^3\text{)}.$$

$V2 =$

Volumen anual de escurrimiento aforado de la cuenca hacia aguas abajo (Mm^3).

UC = Volumen anual de extracciones de agua superficial (Mm^3).

$V1$

= Volumen anual de escurrimiento aforado desde la cuenca aguas arriba (Mm^3).

El método indirecto se aplica cuando la cuenca de estudio carece de registros hidrométricos suficientes o tiene una cantidad limitada de ellos. Para determinar el caudal medio anual de escurrimiento natural se aplica el método conocido como "precipitación-escurrimiento" el cual se obtiene, de acuerdo con la SEMARNAT (2015b), mediante la siguiente expresión:

$$CP = PMA * A * Ce \quad \text{(Ecuación 4).}$$

CP = Caudal anual de escurrimiento natural de la cuenca ($Mm^3/año$).

PMA = Precipitación media anual ($m/año$).

A = Área de la cuenca (km^2).

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual (adimensional).

El Ce se calcula considerando la erodabilidad del suelo (K), es decir, su susceptibilidad a la erosión (Ramírez-Ortiz et al., 2009) y la precipitación media anual (PMA) en la cuenca de análisis (SEMARNAT, 2015b) (Tabla 5). El Ce puede variar entre 0 y 1, donde 0 indica que toda la precipitación es absorbida por el suelo y no hay escorrentía, mientras que 1 indica que toda la precipitación se convierte en escorrentía. Cabe señalar que la evapotranspiración está incluida en el Ce y las fórmulas para su cálculo se consideran válidas sólo para valores de precipitación anual entre 350 y 2,150 mm (SEMARNAT, 2015b).

Tabla 5. Fórmulas para estimar el Ce de acuerdo con el valor de K (SEMARNAT, 2015b).

K: Parámetro que depende del tipo y uso de suelo	Coeficiente de escurrimiento anual (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0.15	$Ce^* = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0.15	$Ce^* = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$

*P = precipitación en mm.

El valor de K se calcula considerando la tipología y uso del suelo de la cuenca de análisis. La tipología de los suelos en la cuenca se puede clasificar en tres tipos: A (suelos altamente permeables), B (suelos moderadamente permeables)

y C (suelos con baja permeabilidad) y los usos de suelo se pueden dividir en tres tipos: pastizal, bosque y zonas urbanas (ver Tabla 6).

Tabla 6. Valores de K, en función del tipo y uso de suelo (SEMARNAT, 2015b).

Tipo de suelo	Características		
A	Suelos permeables (arenas profundas y loess poco compactos).		
B	Suelos medianamente permeables (arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los suelos A; terrenos migajosos).		
C	Suelos casi impermeables (arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas).		
Uso de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Pastizal: % del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% - Regular -	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% - Excesivo -	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32

En el caso de que en la cuenca analizada se presenten varios usos de suelo, el cálculo del valor de K se realiza obteniendo el promedio ponderado total de todos los usos de suelo.

3. Métodos

En esta tesis se trabajó con información recolectada de la literatura. Para los análisis presentados en este trabajo se decidió no recolectar datos de campo debido a la incertidumbre que existía en el Instituto respecto al regreso de actividades presenciales.

La información sobre la delimitación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José y la descripción del medio físico del área de estudio (geología superficial y tipos de suelo, los usos de suelo y vegetación, sectores económicos y red hidrográfica) se realizó estableciendo una búsqueda sistemática que aseguró la calidad de la recolección de datos e información. La búsqueda sistemática de información se realizó en los siguientes motores de búsqueda:

1. Científicos, en Web of Science con las palabras clave “San Jose”, “dam” y “San Luis Potosi” en todos los campos, refinados a documentos de tipo artículo, con una ventana de tiempo abierta a todos los años.
2. Académicos, del IPICYT, COLSAN, UASLP y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) utilizando como palabras clave “presa”, “San José” y “San Luis Potosí” así como la frase “presa San José San Luis Potosí” en el campo del título y para cualquier fecha de publicación.
3. Gubernamentales, como CONAGUA, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), INEGI, SEMARNAT e INTERAPAS utilizando las palabras clave “presa”, “San José” y “San Luis Potosí” así como la frase “presa San José San Luis Potosí” con una ventana de tiempo abierta a todos los años. Adicionalmente, se realizó un proceso de vinculación con el organismo gubernamental de CONAGUA para la obtención de información y datos batimétricos de la presa San José.

3.1. Delimitación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

Se delimitó la subcuenca hidrográfica de la presa San José a partir de formatos shape de las regiones hidrológicas (subcuenca, cuenca y región), escala 1:50,000 y el área de escurrimiento aguas arriba de la presa San José con

información del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas de INEGI, 2017b. Para ello, se utilizó el software ArcMap en la versión 10.8. (Esri, 2019), en donde se insertaron los shape de la red hidrográfica y el área de escurrimiento de la presa San José.

3.2. Descripción del medio físico de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

3.2.1. Geología superficial y tipos de suelo

Se elaboró un mapa de la geología superficial, del tipo de suelo y de los elementos estructurales de la subcuenca hidrográfica de la presa San José a partir de un formato shape del Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales a escala 1:250,000 Serie I de México (INEGI, 1989) que se geoprocesó en el software ArcMap 10.8. (Esri, 2019).

3.2.2. Usos de suelo y vegetación

Se elaboró un mapa de usos de suelo y vegetación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José a partir de formatos shape del Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 Serie VII (Conjunto Nacional) (INEGI, 2018) y de la Edafología del Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la (CONABIO, 2022). Dichos formatos se procesaron en el software ArcMap 10.8 (Esri, 2019). Se generó una gráfica de pastel del porcentaje de los usos de suelo y vegetación de la zona de estudio con información del mapa generado de usos de suelo, utilizando el software OriginPro 2018 (OriginLab Corporation, 2018).

3.2.3. Sectores económicos

Se realizó un mapa de los sectores económicos que se desarrollan en la zona de estudio con información de: i) las actividades económicas activas en formato shape del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de (INEGI, 2022a), ii) la ubicación de las localidades de la zona de estudio del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de San Luis Potosí (IMPLAN, 2021), iii) la ubicación de la PTAR y las plantas potabilizadoras dentro de la zona de estudio (CONAGUA, 2020, 2021b), y iv) las descargas de agua

residual de la zona de estudio del Localizador del Registro Público de Derechos de Agua (LOCREPDA) (CONAGUA, 2019b). Dicha información se georreferenció en el software de ArcMap 10.8 (Esri, 2019).

3.2.4. Red hidrográfica

Se generó un mapa de la red hidrográfica (ríos arroyos, cauce principal, presas y área de escurrimiento) de la subcuenca hidrográfica de la presa San José con información de la Red Hidrográfica escala 1:50,000 para la zona de estudio, edición 2.0 del Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas en formato shape (INEGI, 2017b) y con información de la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del agua de la subcuenca hidrográfica de la presa San José de la red nacional de monitoreo de calidad del agua (CONAGUA, 2021a). Los formatos shape y las ubicaciones de las estaciones se geoprocesaron en el software de ArcMap 10.8 (Esri, 2019).

3.3. Evaluación del estado trófico de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

3.3.1. Evaluación de estados tróficos

Se recolectaron los datos de las estaciones de monitoreo de la red nacional de monitoreo de calidad del agua (CONAGUA, 2021a) correspondientes a las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Las ubicaciones y la ventana de tiempo de los datos disponibles se muestran en la Tabla 7. Para este estudio, se asumió que los datos de las estaciones de monitoreo corresponden a mediciones diarias sencillas y discretas realizadas en la fecha reportada. A cada parámetro de interés (PT, Chl, transparencia de DS y NT) de cada estación de la base de datos se le realizó un análisis estadístico básico utilizando gráficas de caja y bigote. Dicho análisis se realizó a través del software de OriginPro (OriginLab Corporation, 2018). Para cada sitio y cada parámetro se determinaron las medianas, los límites de las cajas que indican los percentiles 25 y 75, los bigotes que se extienden 1.5 veces el rango intercuartil (IQR), desde los percentiles 25 y 75, los datos atípicos y los promedios. Posteriormente, el estado trófico de las presas el Peaje, el Potosino y San José se diagnosticó comparando las gráficas de caja y bigote de los parámetros PT, NT, Chl y DS con los valores

límites establecidos por la OECD de la Figura 11 y la CEPIS para clasificar los estados tróficos.

Tabla 7. Ubicación y ventanas de tiempo de datos disponibles de las estaciones de monitoreo de calidad del agua de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José (CONAGUA, 2021a) ordenadas de aguas arriba (El Peaje) a aguas abajo (San José), pasando por El Potosino que se encuentra en medio.

Presa	Estación de monitoreo*	Latitud	Longitud	Datos disponibles**
El Peaje	2317	2444517	283257	2013-2021
	2318	2443031	283623	2013-2020
El Potosino	2315	2445326	285630	2013-2021
	2316	2444186	285775	2013-2020
San José	2314	2450770	288072	2013-2021
	2320	2450737	287952	2013-2017

*Todas las estaciones con iniciación DLSAN seguida del número (ej: DLSAN 2317).

**Por considerarlo valioso para la caracterización de la problemática de la Presa San José, se evaluó la calidad del agua de la presa San José y de las presas El Peaje y El Potosino en base a los límites permisibles (LP) de calidad para la protección de la vida acuática en agua dulce de los CE-CCA-001/89 y en base al ICA propuesto por Brown y McClelland (1974). No obstante, por estar fuera de los objetivos de esta tesis, dicha metodología y resultados sólo se muestran en los Anexos de este trabajo.

3.3.2. Cálculo del índice de estado trófico (IET)

Se calculó el IET de las presas el Peaje, el Potosino y San José con los datos de PT, NT, Chl y DS que reportan las estaciones de monitoreo de las presas mencionadas para el período 2013-2021 (CONAGUA, 2021a), utilizando las fórmulas de Carlson y Aizaki de la Tabla 3 (Carlson, 1977; Aizaki et al., 1981).

3.4. Inventario de emisiones contaminantes de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

Se realizó una visita al área de estudio verificar la presencia de los puntos de descarga residual domésticos e industriales, los cuerpos de agua receptores de efluentes, los usos de suelo y el tipo de vegetación existente así como la realización de las actividades económicas que se encontraron en la revisión bibliográfica de este estudio.

3.4.1. Estimación de emisiones contaminantes de fuentes puntuales

Se estimaron las emisiones contaminantes (E) de acuerdo con la Ecuación 5 de Maidment (1992). Lo anterior, para agua residual doméstica colectada para cada localidad (Colonia Insurgentes, Mesa de los Conejos, Escalerillas y Pozuelos) de la subcuenca hidrográfica de la presa San José utilizando las concentraciones medias (C) de DBO, SST, NT y PT típicamente encontradas en aguas residuales (Tabla 4) (Metcalf y Eddy, 2004) y el caudal (Q) de agua residual colectada.

$$E = \frac{C*Q}{1,000,000 \frac{mg \cdot m^3}{L \cdot t}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

$$\begin{aligned} E &= \text{Emisión del contaminante (t/año).} \\ C &= \text{Concentración del contaminante (mg/L).} \\ Q &= \text{Caudal de agua residual (m}^3\text{/año).} \end{aligned}$$

El Q de agua residual colectada se calculó utilizando: i) la población total de cada localidad (INEGI, 2022b), ii) las fracciones de coberturas de servicios de agua y alcantarillado para las localidades dentro de la subcuenca (INEGI, 2020), iii) la dotación de agua potable por habitante para el estado de San Luis Potosí (278.8 L.hab.d.), (INTERAPAS, 2011), y iv) la fracción de aportación de aguas residuales (75% de la dotación) (Ecuación 6 y Tabla 8).

$$Q = \frac{hab*Ap*Alcantarillado*(Dotación*tiempo)*Aportación*}{1,000 \frac{L}{m^3}} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Q &= \text{Caudal de agua residual (m}^3\text{/año).} \\ hab &= \text{Número de habitantes.} \\ Ap &= \text{Fracción de cobertura de agua potable.} \\ Alcantarillado &= \text{Fracción de cobertura de alcantarillado.} \\ Dotación &= \text{Dotación de agua potable por habitante (L/(habitante x día)).} \\ tiempo &= 365 \text{ (días/año).} \\ Aportación &= \text{Fracción de la aportación de aguas residuales.} \end{aligned}$$

Tabla 8. Localidades, habitantes, coberturas de servicios de agua potable y alcantarillado de la zona de estudio para la estimación de emisiones contaminantes por agua residual doméstica colectada (CONAGUA, 2007) .

Localidad	Habitantes	Agua potable (%)	Alcantarillado (%)
Colonia Insurgentes	1031	98.3	79.3

Mesa de los Conejos	1436	93.1	67.9
Escalerillas	5,299	32.5	83.4
Pozuelos	1339	20.6	46.0
Total	9,105	-	-

3.4.2. Estimación de emisiones contaminantes de fuentes difusas

Se estimaron las emisiones contaminantes por agua residual doméstica no colectada para cada localidad de la subcuenca hidrográfica de la presa San José utilizando la Ecuación 5. Para ello: se utilizaron concentraciones medias para DBO, SST, NT y PT típicamente encontradas en agua residual (Tabla 4) (Metcalf y Eddy, 2004) y el Q de descarga de agua residual no colectada.

El Q de agua residual no colectada se calculó utilizando: i) la población total de cada localidad (INEGI, 2022b), por ii) la fracción de cobertura de agua potable y la fracción que no cuenta con un sistema de alcantarillado para las localidades dentro de la subcuenca (Tabla 9) (INEGI, 2020), por iii) la dotación de agua potable por habitante para el estado de San Luis Potosí (278.8 L.hab.d.), (INTERAPAS, 2011) y por iv) la fracción de aportación de aguas residuales (75% de la dotación) (CONAGUA, 2007) (Ecuación 6).

Se estimaron las emisiones de contaminantes por usos de suelo y vegetación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José utilizando la Ecuación 7 adaptada de Ruiz (2018). Para ello: se utilizaron concentraciones típicamente observadas en los escurrimientos de diversos usos de suelo y vegetación en clima cálido tropical de América Latina (Tabla 4) y el Q por usos de suelo y vegetación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

$$E = \frac{C * Q}{1 \frac{mg}{L} * \frac{Mm^3}{t}} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 E &= \text{Emisión del contaminante (t/año).} \\
 C &= \text{Concentración del contaminante (mg/L).} \\
 Q &= \text{Caudal anual de escurrimiento natural (Mm}^3\text{/año).}
 \end{aligned}$$

El Q se calculó mediante el método indirecto “precipitación-escurrimiento” (Ecuación 8) de la NOM-011-CONAGUA-2015 (SEMARNAT, 2015b), que multiplica: i) la PMA (0.392 m/año) del Anuario estadístico y geográfico de San

Luis Potosí (INEGI, 2017a), por ii) el área de cobertura (km²) de los usos de suelo y vegetación (Figura 15), y por iii) el C_e (SEMARNAT, 2015b).

$$Q = \frac{PMA * (A * 1000,000 \frac{m^2}{km^2}) * C_e}{1,000,000 \frac{m^3}{Mm^3}} \quad (\text{Ecuación 8}).$$

Donde:

$Q = \text{Caudal anual de escurrimiento natural de la cuenca (Mm}^3/\text{año).}$

$PMA = \text{Precipitación media anual (m/año).}$

$A = \text{Área del uso de suelo (km}^2\text{).}$

$C_e = \text{Coeficiente de escurrimiento (adimensional).}$

El C_e se calculó utilizando el K de cada uso de suelo y vegetación y la precipitación media anual (392 mm/año).

$$C_e = K(P - 250)/2000 + (K - 0.15)/1.5 \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

$C_e = \text{Coeficiente de escurrimiento anual (adimensional).}$

$K = \text{Parámetro que depende del tipo, uso y cobertura del suelo.}$

$P = \text{precipitación media anual (mm/año).}$

El valor de K (Tabla 6), se obtuvo utilizando el tipo de suelo de la subcuenca hidrográfica de la presa San José (tipo B) (CONABIO, 2022) y del % de cobertura de cada uso de suelo y vegetación de la Figura 15b.

3.4.3. Determinación del nivel de contaminación del agua de la presa San José por PT

Para determinar el WPL por PT en la presa San José se dividieron las emisiones de PT del inventario de la subcuenca hidrográfica de la presa San José entre la carga crítica de PT en la presa ($L_{m\acute{a}x}$). Para ello, se calculó la capacidad de asimilación de PT (carga crítica) utilizando la Ecuación 2 que se adaptó de Hoekstra et al. (2011), tomando como referencia el LP de PT ($C_{m\acute{a}x}$) para estados tróficos (0.05 mg/L) establecido por la CEPIS (Salas y Martino, 2001), la capacidad de almacenamiento de la presa (V) (5.2 Mm³) (CONAGUA, 2022a) y el tiempo de residencia hidráulica (Δt_{Rj}). El Δt_{Rj} se determinó utilizando la Ecuación 1 propuesta por Vörösmarty et al. (2003). Este cálculo se basó en el volumen de almacenamiento (V_{ij}) y el gasto de descarga (Q_j) de diseño de la presa San José, como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9. Tiempo de residencia hidráulica de la presa San José para estimar el volumen de agua que se contamina.

Presa San José	
Volumen de almacenamiento ¹ (Mm ³)	5.2
Gasto de descarga de diseño ² (Mm ³ /año)	11.0
Tiempo de retención ³ (años)	0.47

¹ CONAGUA (2022a).

² CONAGUA (2022c).

³ Ecuación 1.

4. Resultados

4.1. La subcuenca hidrográfica de la presa San José

La Figura 13 muestra la extensión territorial de tres regiones hidrológicas en el país: RHA-VII “Cuencas Centrales del Norte”, que abarca 187,621 km², RH-37 “El Salado” con 87,801 km² y RH-37 Gb “Subcuenca presa San José” con 4,127 km². Adicionalmente, muestra la delimitación de la subcuenca hidrográfica de la presa San José con un área de 265 km² y un perímetro de 120 km. El área de la subcuenca hidrográfica de la presa San José es pequeña ($100 \text{ km}^2 < \text{área} \leq 1,000 \text{ km}^2$) (Londoño, 2001). En condiciones normales las cuencas con áreas de 600 km² tienen un caudal promedio anual de 17 m³/s (Londoño, 2001). Por lo tanto, si la delimitación de la subcuenca San José tiene un área de 265 km², es de esperar que el caudal promedio anual sea menor a 17 m³/s.

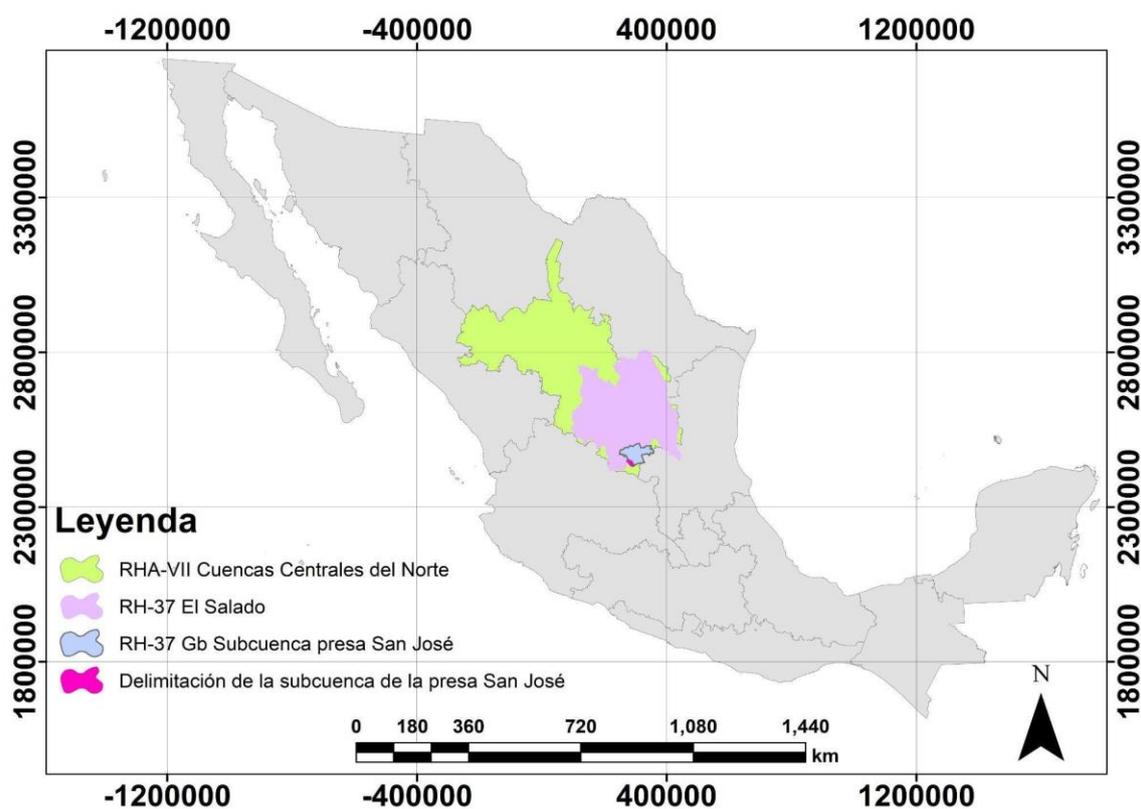


Figura 13. Extensión territorial de las regiones hidrológicas a las que pertenece la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por INEGI (2010).

4.2. Medio físico de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

4.2.1. Geología superficial y tipos de suelos

La Figura 14 muestra la geología superficial de la subcuenca hidrográfica de la presa San José (de origen ígneo extrusivo Riolita-Toba ácida y depósitos de aluvión), los tipos de suelo (feozem, regosol y xerosol) y algunos elementos estructurales como fallas y fracturas. En la zona de estudio se presenta un clima árido-semiárido y los suelos son someros (INEGI, 2002c), típicos de climas áridos-semiáridos y formados sobre rocas caliza, lutita, riolita y toba ácida (INEGI, 2002c). El regosol calcárico y el xerosol háplico tienden a tener un pH ligeramente alcalino (Salas, 2011), por lo que en la mayor parte de la subcuenca puede haber una contribución de nitritos, esto debido a que los nitritos de forma natural se encuentran en suelos con pH superior a 7.7 y en rocas ígneas (De Miguel y Vázquez, 2006).

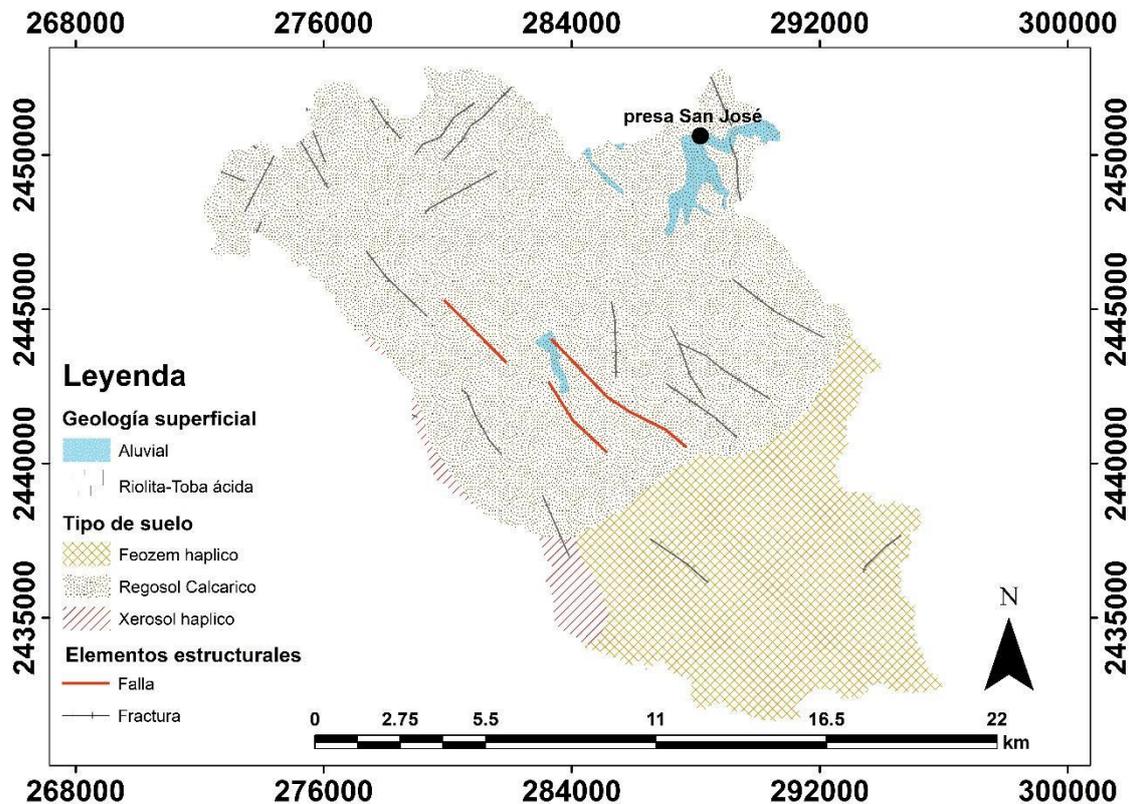


Figura 14. Geología superficial, tipo de suelo y elementos estructurales de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por INEGI (1989).

4.2.2. Usos de suelo y vegetación

La Figura 15a muestra los 11 usos de suelo y vegetación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José. La Figura 15b muestra el porcentaje que cubren los usos de suelo y vegetación, en donde la vegetación secundaria (36%) y el pastizal natural (34%) son los predominantes, seguidos del bosque de pino (24%), asentamientos humanos (3%), pastizal inducido (2%) y cuerpos de agua (1%). Se ha reportado que un sistema que tiene vegetación natural es un sistema inalterado, donde solo una pequeña parte de los nutrientes existentes en el suelo alcanzan los ríos o arroyos (Barreto, 2008). La subcuenca hidrográfica de la presa San José tiene un sistema medianamente alterado por asentamientos humanos y pastizal inducido.

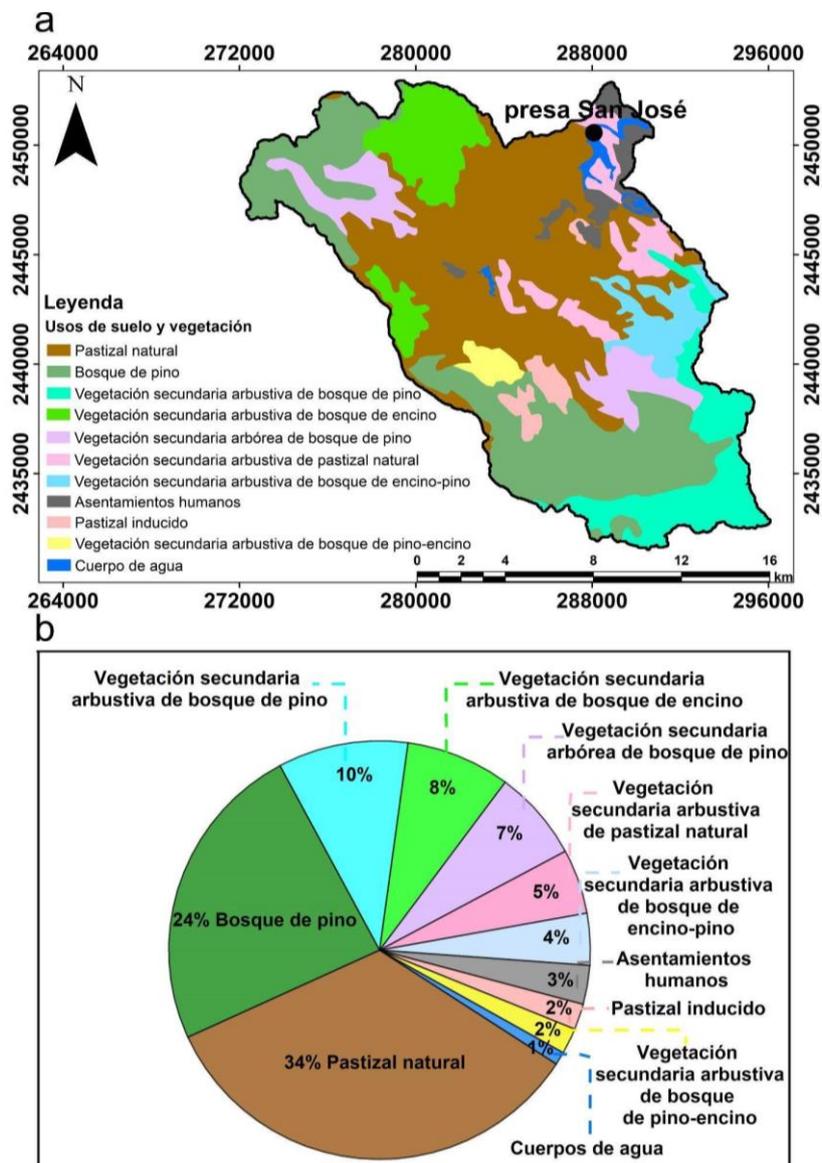


Figura 15. a) Cobertura de usos de suelo y vegetación y b) sus porcentajes de ocupación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por CONABIO (2022).

4.2.3. Sectores económicos

La Figura 16 muestra los códigos y nombres de los trece sectores económicos (INEGI, 2022a), las plantas potabilizadoras (Los Filtros I y Los Filtros II) (CONAGUA, 2020), la PTAR “Escalerillas” (CONAGUA, 2021b), las dos presas que alimenta a la presa San José (El Peaje y El Potosino), así como las seis localidades (Colonia Insurgentes, Escalerillas, Casa Blanca, La Maroma, Mesa de los Conejos y Pozuelos) que se encuentran aledaños a la presa San José (IMPLAN, 2021).

En la zona de estudio los sectores económicos son: 1) agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza, 2) industria manufacturera referente a la industria alimentaria (pastelerías y tortillerías), 3) industria manufacturera referente a la fabricación de productos a base de minerales no metálicos (talleres y artesanías de cantera), 4) industria manufacturera referente a la fabricación de productos metálicos (talleres de herrería), 5) comercio al por menor (farmacias, tiendas de abarrotes, carnicerías, papelerías), 6) información en medios masivos, 7) servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles, 8) servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y servicios de remediación, 9) servicios educativos, 10) servicios de salud y de asistencia social, 11) servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas, 12) otros servicios excepto actividades gubernamentales y 13) actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales (INEGI, 2022a).

Los desechos vertidos directamente a los cuerpos de agua receptores y/o alcantarillado son fuentes puntuales de contaminantes (Escobar, 2002), por lo que los sectores económicos de la subcuenca hidrográfica de la presa San José se podrían considerar fuentes puntuales de contaminación.

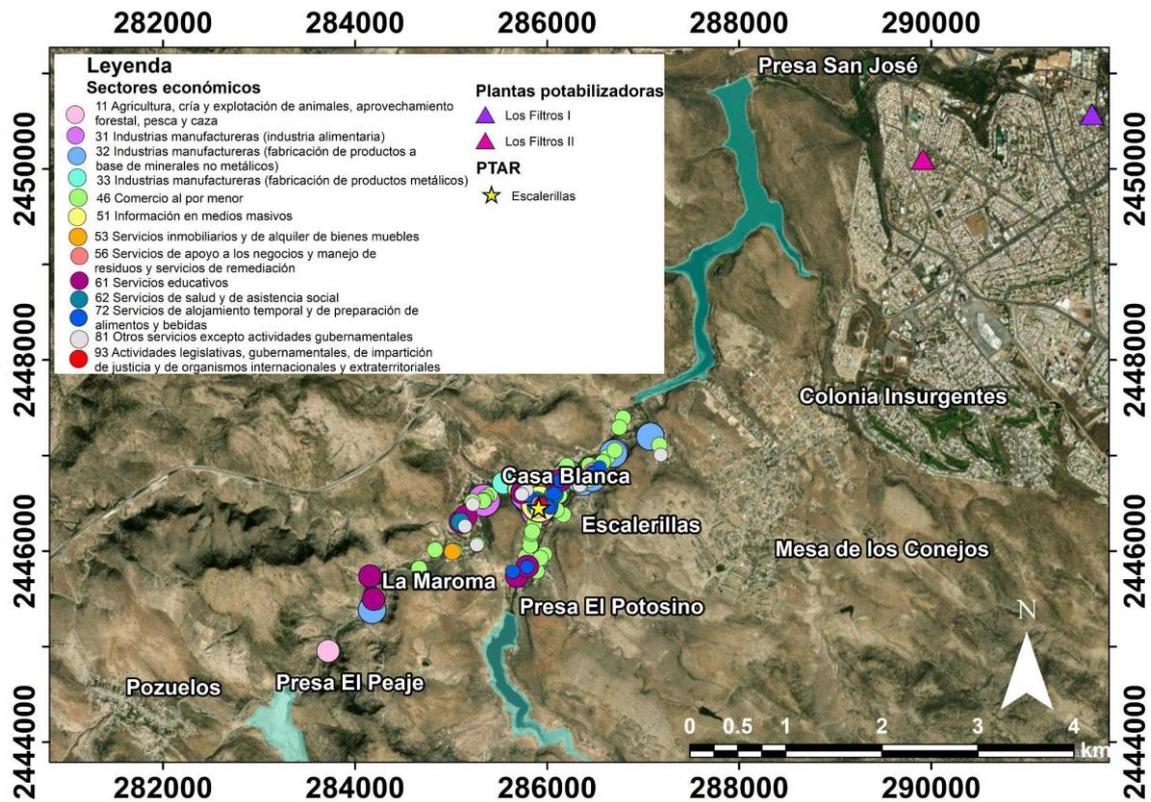


Figura 16. Sectores económicos, PTARs, plantas potabilizadoras, presas y localidades que se encuentran en la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por CONAGUA (2020 y 2021a); INEGI (2022a).

4.2.4. Red hidrográfica

La Tabla 10 muestra una lista detallada de los números y nombres asociados a los diferentes arroyos, ríos y presas que se encuentran en la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Esta subcuenca alberga un total de veintitrés arroyos, dos ríos y tres presas. El río Santiago es el principal transportador de agua en la subcuenca.

Tabla 10. Arroyos, ríos y presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por INEGI (2010).

Número de identificación	Nombre
1	Presas: San José
2	Presas: Gonzalo N. Santos (El Peaje)
3	Presas: El Potosino
4	Arroyos: Las Pilas
5	Arroyos: El Palmerito

6 y 29	Arroyo: Juachin
7	Arroyo: Sotolar
8	Arroyo: Las Escobas
9 y 30	Arroyo: El Mastranto
10	Arroyo: El Durazno
11	Arroyo: El Lechuguillal
12	Arroyo: El Muerto
13	Arroyo: San Cristóbal
14	Arroyo: San Miguel
15	Arroyo: La Tinaja Prieta
16	Arroyo: Xoconostle
17	Arroyo: El Zacate
18 y 27	Río: Potosino
19	Arroyo: Romerillo
20	Arroyo: Azul
21	Arroyo: Las Cabras
22	Arroyo: Aldana
23	Arroyo: Grande
24	Arroyo: El Quelital
25	Arroyo: La Ordeya
26	Arroyo: El Ocote
28	Arroyo: Rincón Delgado
31	Río: Santiago

La Figura 17 muestra las estaciones de monitoreo de calidad del agua, la red hidrográfica de la subcuenca (arroyos, ríos, presas, cauce principal y flujos superficiales) y la delimitación de subcuenca hidrográfica de la presa San José (el área de escurrimiento). Todas las estaciones de monitoreo se encuentran dentro de las presas. No obstante, las presas El Peaje y El Potosino han presentado niveles bajos de agua por lo que las estaciones parecen estar fuera de estas presas.

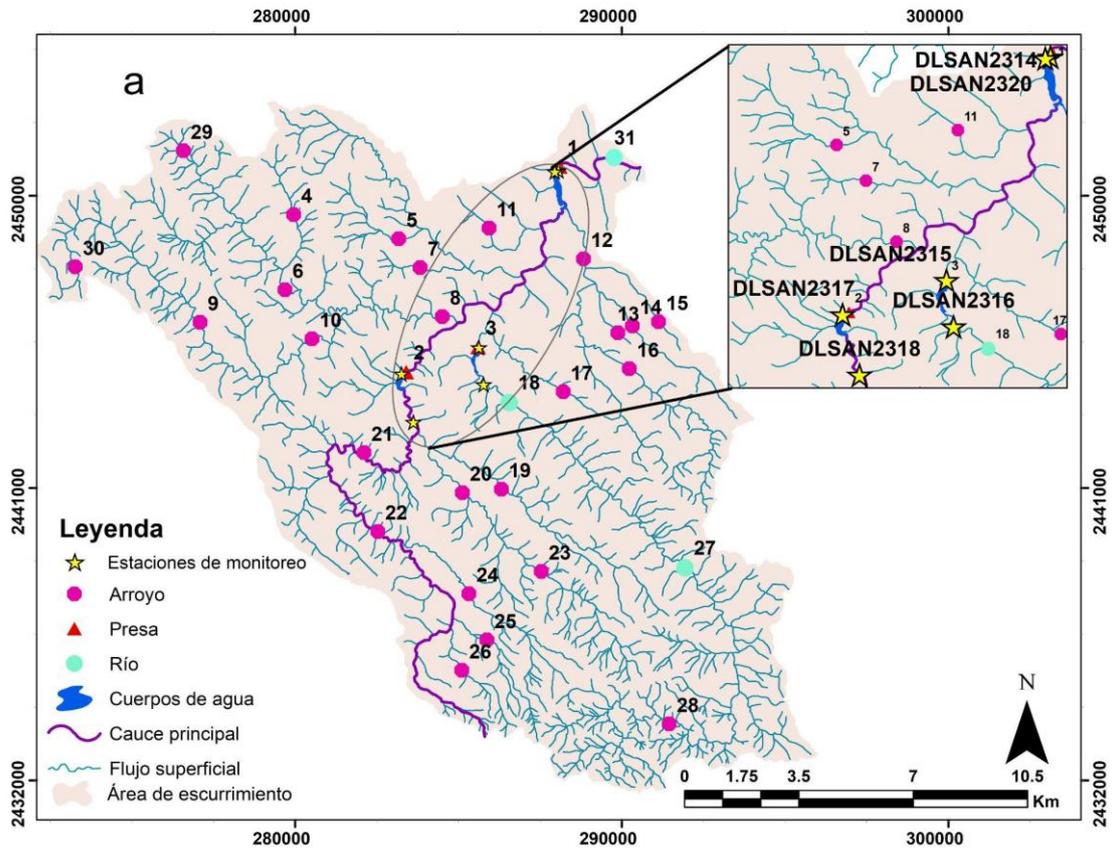


Figura 17. Red hidrográfica de la subcuenca de la presa San José y estaciones de monitoreo de calidad del agua de la subcuenca. Construida a partir de datos reportados por CONAGUA (2021a); INEGI (2017b).

4.3. Estados tróficos de las presas de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

4.3.1. Estados tróficos

La Figura 18 muestra los valores de los parámetros de PT, Chl, NT y DS de las presas El Peaje, El Potosino y San José para el periodo 2013-2021 con sus respectivas estaciones de monitoreo. Además, se incluyen los valores límite de la OECD y CEPIS para estados tróficos.

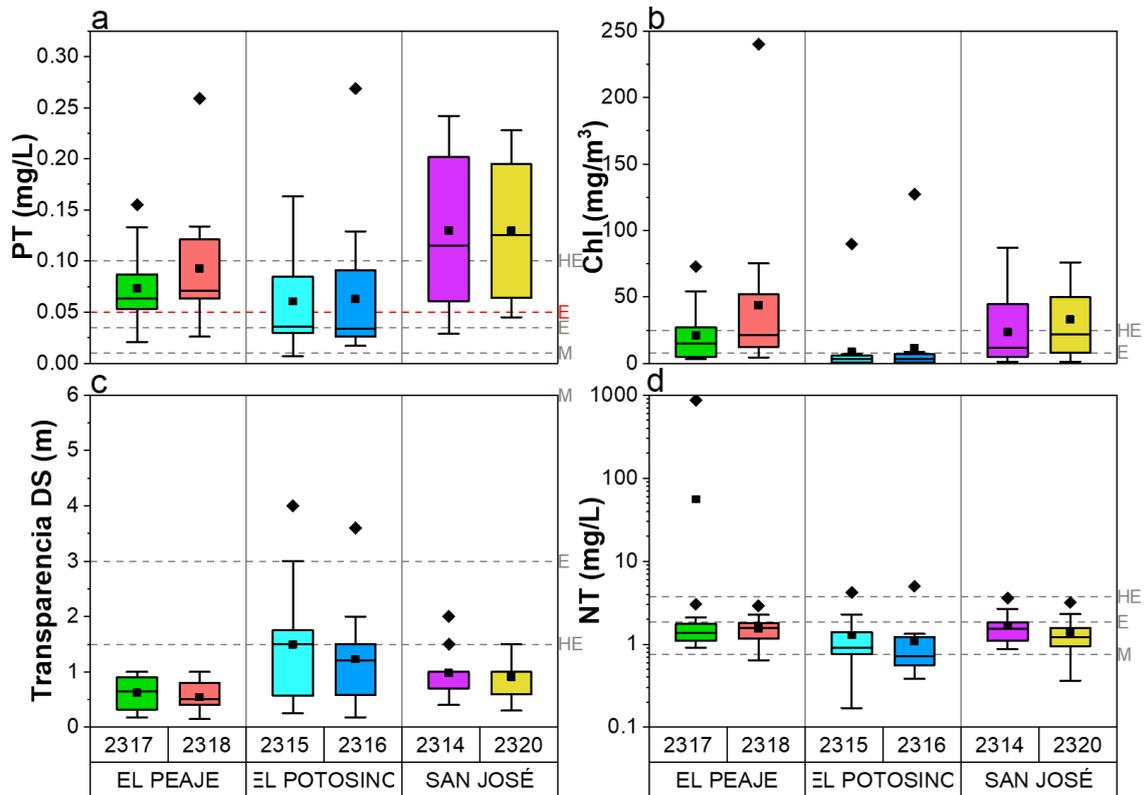


Figura 18. Diagramas de cajas para a) PT, b) Chl, c) transparencia con DS y d) NT en la presa El Peaje, El Potosino y San José (Construida a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a). HE = Hipereutrófico, E = Eutrófico, M = Mesotrófico, O = Oligotrófico y UO = Ultraoligotrófico, - - límites de estados tróficos de la OECD, - - límite de estado trófico de la CEPIS.

Las concentraciones de PT en la presa San José variaron entre 0.03-0.24 mg/L, como se ilustra en la Figura 18a. Las concentraciones anteriores, de acuerdo con Salas y Martino (2001), sugieren una producción excesiva de biomasa. Las concentraciones promedio de PT en la presa San José sobrepasan los estados eutróficos de acuerdo con la OECD (0.04-0.10 mg/L) y con la CEPIS (> 0.05 mg/L). De hecho, el promedio de las concentraciones indican estados hipereutróficos (> 0.1 mg/L de PT de la OECD). Además, en el caso de las presas El Peaje y El Potosino, las concentraciones promedio de PT también sobrepasan los límites de estados eutróficos de la OECD y CEPIS.

Las concentraciones de Chl registradas en la presa San José variaron en un rango de 1.2 mg/m³ a 86.9 mg/m³ (Figura 18b). Las concentraciones promedio de Chl de la presa San José superan el límite de estado eutrófico (8-25 mg/m³) de la OECD, indicando estados hipereutróficos (≥ 25.0 mg/m³ de Chl de la OECD). La concentraciones promedio de Chl en la presa El Peaje y El Potosino también rebasan el límite de estado eutrófico de la OECD.

Los valores de DS registrados en la presa San José variaron en un rango de 0.3 m y 2.0 m (Figura 18c). Se dice que a menor observación de la profundidad DS (< 2.0 m) los valores de clorofila son elevados por altas concentraciones de fitoplancton o algas (Fernández et al., 2022). Los valores promedio de DS en la presa San José sobrepasan el límite de estado hipereutrífico de acuerdo con la OECD (≤ 1.5 m). Los valores promedio de DS de las presas El Peaje y El Potosino también indicaron estados hipereutríficos.

Las concentraciones de NT registradas en la presa San José variaron en un rango de 0.4 mg/L y 3.6 mg/L (Figura 18d). Las concentraciones promedio de NT en la presa San José rebasaron el límite de estado mesotrófico establecido por la OECD (0.75 mg/L). Las concentraciones promedio de El Peaje y El Potosino, también indicaron estados mesotróficos.

Los resultados anteriores, revelan un problema de eutrofización en la presa San José, atribuida principalmente al PT dado que la concentración promedio de NT no supera el límite eutrófico. La eutrofización en dicha presa es la causante de que tenga una alta productividad biológica clasificándose como eutrófica-hipereutrófica. Además, tanto la presa El Peaje como El Potosino, que abastecen a la presa San José, presentan condiciones muy similares, evidenciando también un problema de eutrofización.

4.3.2. Índice de estado trófico

La Figura 19, muestra los índices de estado trófico del PT, DS y Chl obtenidos a través de los modelos de Carlson y Aizaki para el periodo 2013-2021 en las presas El Peaje, El Potosino y San José, junto con sus respectivas estaciones de monitoreo. Además, se incluyen las clases tróficas de acuerdo con el IET.

Los IET de la presa San José, utilizando el modelo de Carlson (Figura 20a, c y e), variaron entre 42 a 84%, indicando mayormente un estado eutrófico. Los IET de la presa El Peaje variaron entre 48 a 93% indicando un estado eutrófico y los IET de la presa El Potosino variaron entre 32 a 87% indicando un estado mesotrófico-eutrófico.

Los IET de la presa San José, utilizando el modelo de Aizaki (Figura 19b, d y f), variaron entre 27 a 83%, por lo que coincide con el estado eutrófico que se obtuvo

con el modelo de Carlson. Adicionalmente, los IET de la presa El Peaje variaron entre 38 a 95% y de El Potosino variaron entre 17 a 92% indicando estados eutróficos y mesotróficos-eutróficos respectivamente, como en el modelo de Carlson.

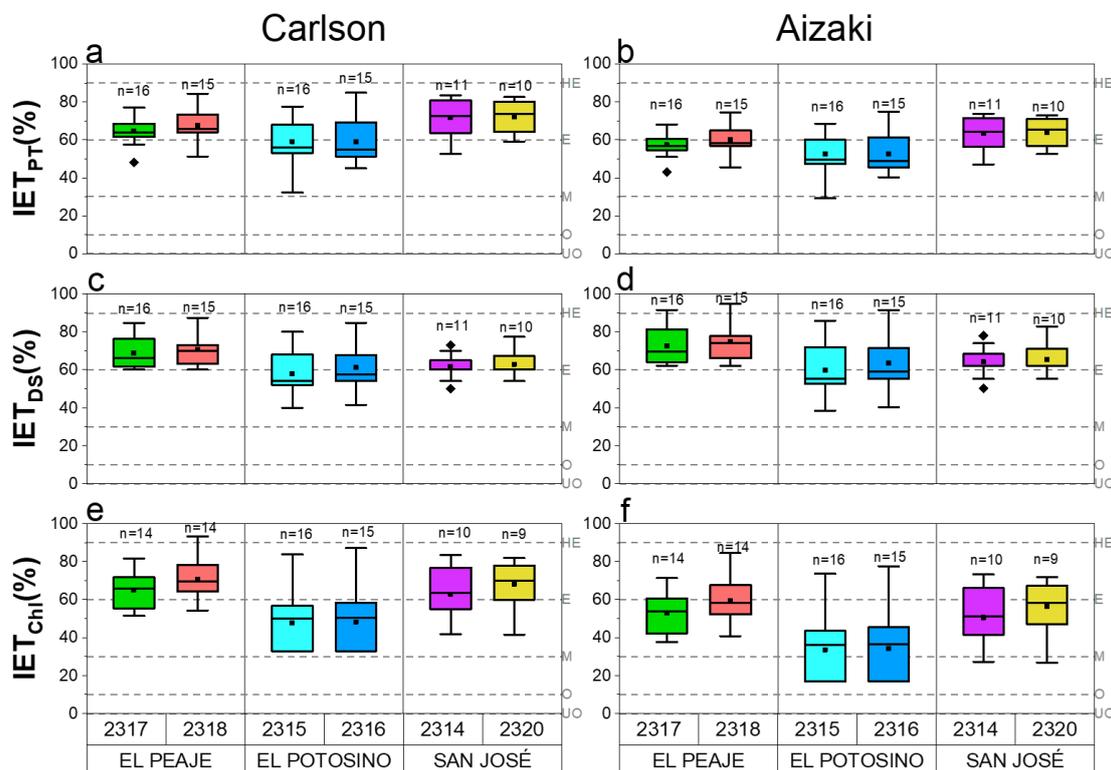


Figura 19. IET en función del a) Py b) el PT, c) y d) transparencia con DS y e) y f) la Chl de acuerdo con el modelo de Carlson y Aizaki de las presas El Peaje, El Potosino y San José, junto con sus respectivas estaciones de monitoreo y los estados tróficos. HE = Hipereutrófico, E = Eutrófico, M = Mesotrófico, O = Oligotrófico y UO = Ultraoligotrófico.

4.4. Inventario de emisiones de la subcuenca hidrográfica de la presa San José

Durante la visita previa realizada en la zona de estudio, se llevaron a cabo verificaciones en relación con los dos puntos de descarga de agua residual industrial que habían sido reportados por el Registro Público del Agua (REPDA) (CONAGUA, 2019b). Sin embargo, se constató que dichos puntos de descarga no se encontraban operativos. Debido a esta situación, se decidió no considerarlos en la estimación de emisiones contaminantes provenientes de fuentes puntuales.

La Tabla 11 presenta las 4 localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José y el caudal de agua residual colectada y no colectada que descargan.

El caudal de agua residual colectada (249,924 m³/año) equivale al 75% del caudal total generado en las localidades (331,876 m³/año), el cual es recolectado por un sistema de drenaje conectado a la planta tratadora de aguas residuales "Escalerillas". Cabe destacar que esta planta no se encuentra en funcionamiento y de estarlo su capacidad es limitada ya que tiene una capacidad instalada es de 5 L/s (García, 2022) y el agua residual generada es equivalente a 10.5 L/s. Además, el agua residual colectada llega directamente a la presa San José sin previo tratamiento.

El agua residual no colectada equivale al 25% (81,952 m³/año) del caudal total generado en las localidades, el cual se libera directamente al medio ambiente, como por ejemplo el suelo, los ríos y los arroyos.

Tabla 11. Caudal de agua residual descargado por las localidades pertenecientes a la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por INEGI (2020); INTERAPAS (2022).

Localidades	Q AR colectada (m ³ /año)	Q AR no colectada (m ³ /año)
Colonia Insurgentes	61,338	16,011
Mesa de los Conejos	69,282	32,753
Escalerillas	109,620	21,819
Pozuelos	9,684	11,368
Total	249,924	81,952

AR - Agua Residual.

4.4.1. Fuentes puntuales

La Figura 20 muestra las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José y las emisiones de DBO, SST, NT y PT por agua residual colectada. Los resultados muestran que el agua residual colectada produce un total de emisiones para DBO y SST de 54.9 t/año para cada parámetro, para NT de 10.0 t/año y para PT de 2.5 t/año.

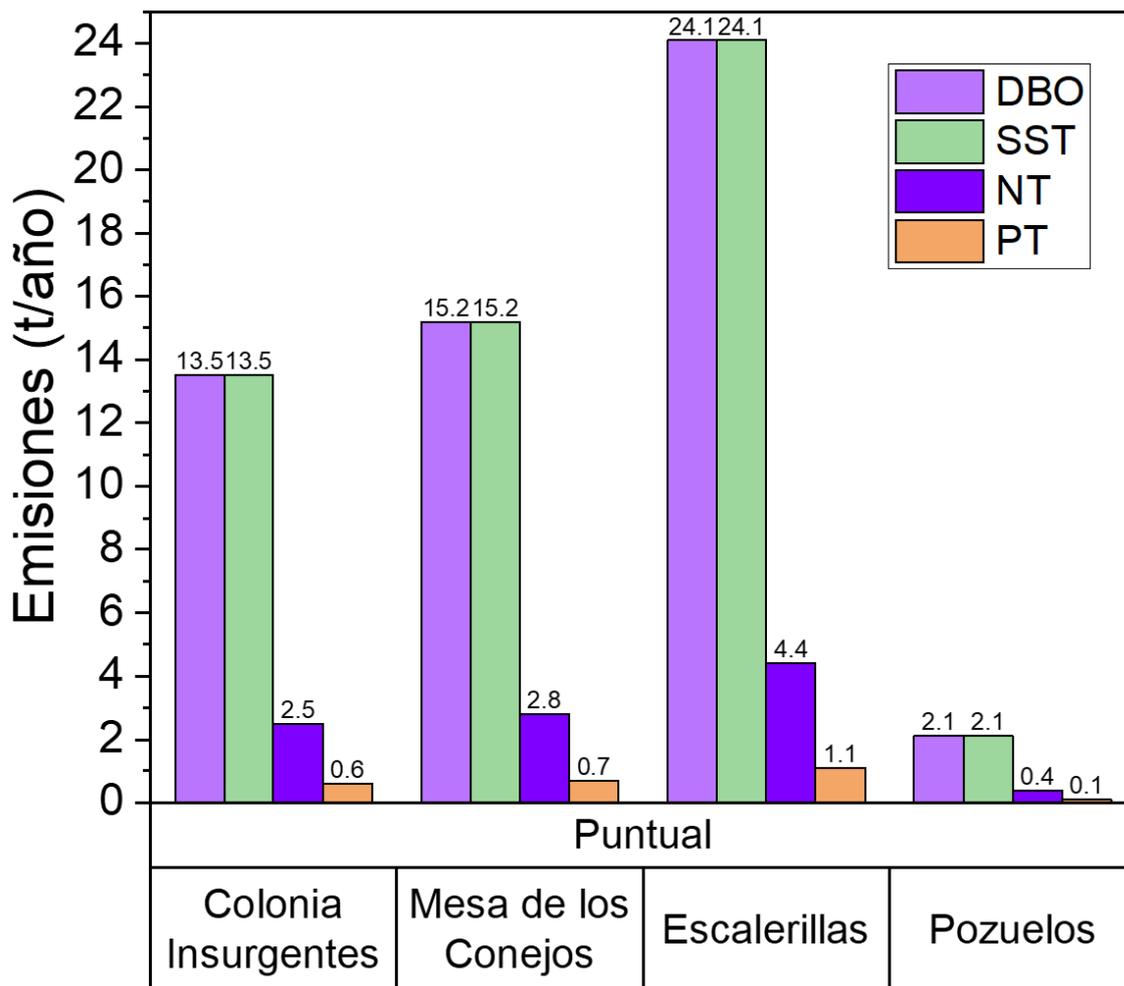


Figura 20. Emisiones de DBO, SST, NT y PT generadas por el agua residual que se colecta en las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

4.4.2. Fuentes difusas

La Figura 21 muestra las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José y las emisiones de DBO, SST, NT y PT por agua residual no colectada. Los resultados muestran que el agua residual no colectada produce un total de emisiones para DBO y SST de 18.0 t/año para cada parámetro, para NT de 3.3 t/año y para PT de 0.8 t/año. Siendo la localidad de Mesa de los Conejos la mayor fuente de emisiones contaminantes por agua residual no colectada.

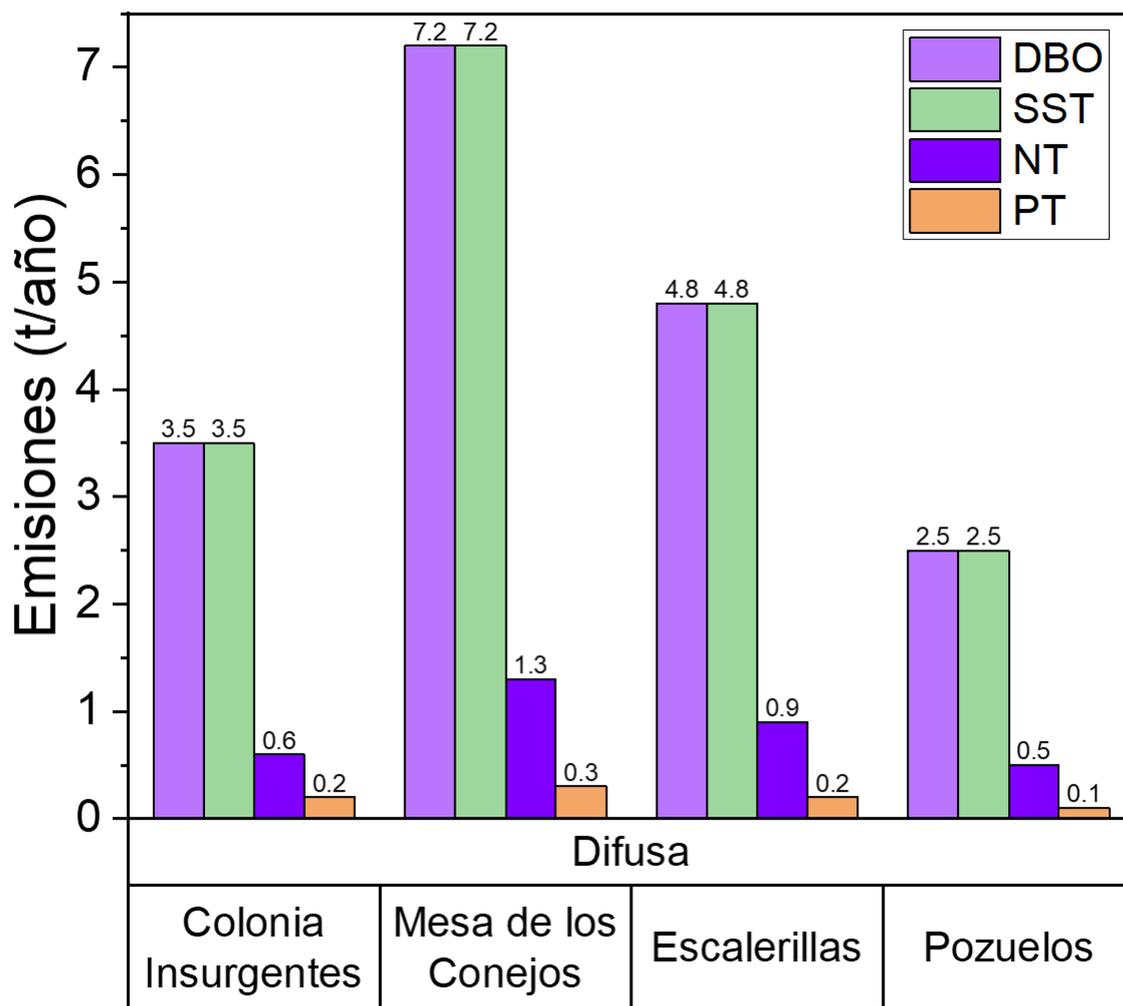


Figura 21. Emisiones de DBO, SST, NT y PT generadas por el agua residual no colecta en las localidades de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

La Tabla 12 muestra el caudal medio anual de escurrimiento por los diferentes usos de suelo y las emisiones contaminantes que generan. El caudal medio anual de escurrimiento natural por usos de suelo y vegetación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José es de 11 Mm³/año. El pastizal natural es el uso de suelo que mayor aporta contaminantes a la subcuenca hidrográfica de la presa San José debido a que ocupa mayor extensión de terreno y por lo tanto mayor volumen de escurrimiento y emisiones.

Tabla 12. Usos de suelo y vegetación, área de cobertura de uso de suelo, valor de K, Ce, CP y emisiones contaminantes por escurrimiento usos de suelo y vegetación en la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

Usos de suelo ¹	Área ¹		Valor de K ²	Ce ³	Q ⁴ (Mm ³ /año)	Emisiones (t/año)			
	km ²	%				DBO	SST	NT	PT
Pastizal inducido	5	2	0.28	0.1	0.2	1.3	14.6	0.3	0.02
Pastizal natural	91	34	0.28	0.1	3.8	22.8	266.1	5.7	0.38
Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	13	5	0.28	0.1	0.5	3.3	38.0	0.8	0.05
Bosque de pino	64	24	0.28	0.1	2.7	16.0	104.2	2.1	0.27
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	25	10	0.28	0.1	1.0	6.3	40.7	0.8	0.10
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	19	7	0.28	0.1	0.8	4.8	30.9	0.6	0.08
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	4	2	0.28	0.1	0.2	1.0	6.5	0.1	0.02
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	22	8	0.28	0.1	0.9	5.5	35.8	0.7	0.09
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	11	4	0.28	0.1	0.5	2.8	17.9	0.4	0.05
Asentamientos humanos	8	3	0.29	0.1	0.4	3.2	59.3	0.8	0.14
Total	262	99	-	0.1	11.0	66.9	614.2	12.4	1.20

¹ INEGI (2018).

² Tabla 6.

³ Ecuación 9.

⁴ Ecuación 8.

4.4.3. Inventario de emisiones contaminantes

La Tabla 13 muestra las fuentes puntuales y difusas de contaminantes, así como las emisiones de DBO, SST, NT y PT que se generan en la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Existen dos fuentes puntuales que es el agua residual colectado por un sistema de alcantarillado, y dos fuentes difusas que son el agua residual no colectado y los usos de suelo y vegetación. Anualmente en la subcuenca se emiten 139.8 toneladas de DBO, 687.1 toneladas de SST, 25.7 toneladas de NT y 4.5 toneladas de PT que incluyen tanto a las fuentes puntuales como difusas.

Las fuentes difusas contribuyen con el 61% para DBO, 92% para SST, 61% para NT y 44% para PT en relación con el total de emisiones en la subcuenca. Las fuentes difusas son las que generan mayores emisiones de contaminantes en la subcuenca a excepción del PT, ya que la fuente puntual aporta el 55% del total de emisión.

Tabla 13. Inventario de emisiones contaminantes en la subcuenca hidrográfica de la presa San José en San Luis Potosí.

Tipo de fuente	Emisión (t/año)			
	DBO	SST	NT	PT
Puntuales				
AR colectada	54.9	54.9	10.0	2.50
Subtotal	54.9	54.9	10.0	2.50
Difusas				
AR no colectada	18.0	18.0	3.3	0.80
Pastizal inducido	1.3	14.6	0.3	0.02
Pastizal natural	22.8	266.1	5.7	0.38
Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	3.3	38.0	0.8	0.05
Bosque de pino	16.0	104.2	2.1	0.27
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	6.3	40.7	0.8	0.10
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	4.8	30.9	0.6	0.08

Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	1.0	6.5	0.1	0.02
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	5.5	35.8	0.7	0.09
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	2.8	17.9	0.4	0.05
Asentamientos humanos	3.2	59.3	0.8	0.14
Subtotal	84.9	632.2	15.7	2.00
TOTAL	139.8	687.1	25.7	4.50

4.4.4. Nivel de contaminación del agua de la presa San José por PT

El estudio reveló que la emisión de PT en la subcuenca hidrográfica de la presa San José fue de 4.50 t/año, mientras que la carga crítica de la presa San José para el PT se estimó en 0.55 t/año. Esto indica que el WPL es de 8, lo que significa que el volumen de la presa San José se contamina aproximadamente 8 veces. Estos hallazgos subrayan un nivel considerable de contaminación en la presa San José, ya que no puede asimilar el PT emitido en la subcuenca acelerando el proceso de eutrofización. Cabe aclarar que no toda la emisión contaminante llega a la presa por lo que solo es una aproximación.

5. Conclusiones

La comparación de los valores de PT, NT, Chl y DS con los valores límites de los indicadores de estados tróficos (OECD y CEPIS) y el IET proporcionó evidencia sólida de que la presa San José se encontraba en un estado eutrófico-hipereutrófico en el periodo 2013-2021, debido a la eutrofización de la presa.

El estudio realizado para determinar las fuentes y cuantificar las emisiones contaminantes en la subcuenca hidrográfica de la presa San José, proporciona evidencia para aceptar la hipótesis. Esto se debe a que el enriquecimiento de nutrientes en la presa San José por descargas de agua residual colectadas y no colectadas aportan con un 73% para PT y con un 52% para NT. Es importante destacar que el agua residual recolectada no recibe ningún tipo de tratamiento y fluye directamente hacia la presa San José.

Esta tesis proporciona información crucial sobre las fuentes de contaminación puntual y difusa en la subcuenca de la presa San José y su efecto en la eutrofización. Se encontró que las emisiones de DBO, SST, NT y PT provienen de los usos de suelo y vegetación (48%, 89%, 48%, 27% respectivamente), de las descargas de aguas residuales colectadas (39%, 8%, 39% y 55% respectivamente) y de las aguas residuales no colectadas (13%, 3%, 13% y 18% respectivamente).

6. Recomendaciones

Las cargas externas originadas por descargas de AR colectadas (fuentes puntuales) y no colectadas (fuentes difusas), pueden ser controladas y reducidas. Esto se lograría a través de la ampliación de los servicios de alcantarillado en conjunto con la puesta en marcha de la PTAR Escalerillas. Es necesario que la PTAR tenga una capacidad mínima de 10.2 L/s, equivalente al volumen total de AR generadas en la subcuenca (colectadas y no colectadas), y que cuente con un sistema de tratamiento eficiente para la remoción de nutrientes, especialmente del P.

Se sugiere que para futuras investigaciones de eutrofización en la presa San José se considere la determinación de su carga interna para evaluar estrategias

de control de la eutroficación y la viabilidad de implementar medidas de saneamiento dentro de la presa. Esto se debe a que, la carga interna es el principal mecanismo de suministro de fósforo a las algas y a pesar de que se reduzca la carga externa, pueden persistir las floraciones de algas y las condiciones de anoxia.

7. Referencias

- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, M. y Muraoka, K. (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *SIL Proceedings*, 1922-2010, 21(1), 675–681. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03680770.1980.11897067>
- Arreguín-Cortés, F. I., Murillo-Fernández, R., y Marengo-Mogollón, H. (2013). Inventario nacional de presas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(4), 179–185. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n4/v4n4a13.pdf>
- Ávalos, D. (2009). *Interacción de fósforo y hierro en la interfase sedimento-agua respecto a la eutrofización de la presa La Llave* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/698/1/RI003807.pdf>
- Barreto Wagner, P. (2008). *Efectos iniciales de la aforestación sobre la calidad del agua de escurrimiento en una cuenca del río Tacuarémbo* [Tesis de maestría, Universidad de la República, Facultad de Agronomía]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1847/1/0021bar1.pdf>
- Benaman, J., Armstrong, N. E., y Maidment, D. R. (1996). *Modeling of dissolved oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and Geographic Information Systems*. Center for Research in Water Resources. Austin, Texas, USA. [crrw_onlinereport96-2.pdf \(utexas.edu\)](http://www.crrw.utexas.edu/crrw_onlinereport96-2.pdf)
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Fabela, P., Izurieta-Dávila, J., y Mijangos-Carro, M. (2013, 01 de febrero). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. El portal del agua desde México. Recuperado: 02 de mayo de 2023, en: http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5955:la-importancia-de-la-contaminacion-difusa-en-mexico-y-en-el-mundo&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deiningen, R. A., y Tozer, R. G. (1970). A *Water Quality Index—Do We Dare?* *Water Sewage Works*, 117(10), 339–343. <https://es.scribd.com/document/389699238/A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M-1970>
- Camacho, H. (2020). *Empresarios e ingenieros en la ciudad de San Luis Potosí: La construcción de la Presa de San José 1869-1903*, (1ª ed.). *El Colegio de San Luis*, San Luis Potosí, 442. <https://ventalibros.colsan.edu.mx/detalles.php?str=90>
- Caparrós-Cubeña, Y., González-Barrios, B. E., y Godínez-Caraballo, D.

- (2021). Evaluación de efluentes en cinco fuentes contaminantes de la bahía de Nuevitas. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 324–344. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000300326
- Carlson, R. E. (1977). A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2019a, 03 de octubre). *Atlas del agua en México*. (Ed. 2015). <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-del-agua-en-mexico-2015-2/>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2019b). *Localizador REPGA de aguas nacionales, zonas federales y descargas residuales*. Recuperado: 17 de junio de 2022, en <https://sigagis.conagua.gob.mx/locprepda20/>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2020). *Plantas potabilizadoras (nacional)*. Recuperado: 03 de octubre de 2022, en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasPotabilizadoras>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2021a, 26 de junio). *Calidad del agua en México*. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2021b). *Plantas de tratamiento de agua residual (nacional)*. Recuperado: 27 de septiembre de 2022, en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=mapa>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2021c). *Red Nacional de monitoreo de calidad del agua*. Recuperado: 25 de mayo de 2022, en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2022a). *Monitoreo de las principales presas de México*. Recuperado: 11 de mayo de 2022, en <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Presas/>
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2022b). *Numeragua*. (Ed. 2022). https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/Numeragua_2022.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2022c, 17 de junio). *Sistema de Seguridad de Presas*. Recuperado: 17 de julio de 2022, en https://presas.conagua.gob.mx/inventario/archivos_presa.aspx?3103

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO). (2022). *Edafología* [Map]. Recuperado: 29 de septiembre de 2023, en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Cotler, H., Garrido, A., Mondragón, R. y Díaz, A. (2007). *Delimitación de cuencas hidrográficas de México a escala 1:250000*, INEGI-INE-CONAGUA. Documento técnico. México. 35. <https://core.ac.uk/download/pdf/48030589.pdf>
- De Miguel-Fernández, C., y Vázquez-Taset, Y. M. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22(3), 1-9. ISSN 0258-8959. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517652002>
- Domínguez, J. (2019). La construcción de presas en México. Evolución, situación actual y nuevos enfoques para dar viabilidad a la infraestructura hídrica. *Gestión y Política Pública*, 28(1), 3–37. <https://doi.org/10.29265/gypp.v28i1.551>
- El Sol de San Luis. (2018, 16 de junio). Presa San José de SLP al tope. *El Sol de San Luis*. <https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/presa-san-jose-de-slp-al-tope-1767957.html>
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL-SERIE Recursos naturales e infraestructura, (50), 63. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6411/S0210820_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Esri. (2019). *ArcGIS Desktop* (Release 10.8) [Software]. Esri. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/installation-guide/installing-on-your-computer.htm>
- Estrada Pérez, F. (2013). *El Agua de San Luis Potosí, Contaminación y Saneamiento* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria]. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3456/IAZ1AGU01301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estruch Benito, F. (2010). *Análisis de la clorofila a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandía* [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandía]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9176/Proyecto%20Final%20de%20Carrera%20-%20Clorofila%20a%20Quickbird.pdf>
- Fernández, D., Muñoz, L., y Coronel, E. F. (2022). Profundidad de disco de secchi y su relación con la turbidez y clorofila “a” en el embalse San Jacinto, Tarija, Bolivia. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, 15(2), 957–965.

<https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/80136>

- Fraile, H., Orive, E., y Pozo, J. (1995). Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora). *Limnetica*, 11(2), 29–37. <http://dx.doi.org/10.23818/limn.11.11>
- García, M. (2016, 26 de septiembre). Eutrofización: una visión general. *CienciAcierta* 47. Recuperado: 03 de octubre de 2023, en <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
- García, P. (2022, 12 de noviembre). Escalerillas pronto tendrá agua potable y drenaje. *El Sol de San Luis*. <https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/escalerillas-pronto-tendra-agua-potable-y-drenaje-9180396.html>
- González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Mente y Materia*, 4(1), 12–13. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/334/pdf>
- Google LLC. (s/f). *Google Earth Pro* (9.189.0.0) [Software]. Google Earth. <https://www.google.com/earth/versions/>
- Gutiérrez, L. R., Quintana, R., Rubio, H., Ortega, J., y Pinedo, C. (2008). Índice de calidad del agua en la cuenca baja del Río San Pedro, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 108-115. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/112/45>
- H. Congreso de la Unión. (2022, 08 de mayo). Ley de Aguas Nacionales (2022). *Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México*. Recuperado: 22 de mayo de 2023, en <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Hansen, A. M., León Zavala, A., y Bravo Inclán, L. (1995). Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. *Ingeniería Hidráulica en México*, 10(3), 55–69. <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/733/721>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., y Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual. Setting the global standard*, (1ª ed.). Earthscan, Londres, 203. https://www.researchgate.net/publication/265103631_The_Water_Footprint_Assessment_Manual_Setting_the_Global_Standard
- Hoyer, M. V., y Canfield, D. E. (2022, 01 de junio). A Beginner's Guide to Water Management – Lake Trophic State and Eutrophication (4-13-22). *Florida LAKEWATCH*. <https://lakewatch.ifas.ufl.edu/media/lakewatchifasufledu/extension/pamphlets/Lake-Trophic-State-Circular-4-13-22-Schwartz.pdf>

- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (IDEAM). (2005). *Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante*.
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga_Organica.pdf
- Instituto Municipal de Planeación. (IMPLAN). (2021). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de San Luis Potosí*, 625. <https://sanluisimplan.gob.mx/planes-y-programas/pducpr-2021/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (1989). *Conjunto de datos geológicos serie I. San Luis Potosí escala 1:250000*. (Ed. 1982). [Shapefile]. Recuperado: 16 de enero de 2023, en <https://www.inegi.org.mx/temas/geologia/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2002a). *Estudio hidrológico del estado de San Luis Potosí*. (1ª ed.). [http://www.cegaiplp.org.mx/HV2020Dos.nsf/nombre_de_la_vista/9CA8C72C5265E15E86258618006AAE6B/\\$File/HIDROLOGIA_SLP_formato_M5.pdf](http://www.cegaiplp.org.mx/HV2020Dos.nsf/nombre_de_la_vista/9CA8C72C5265E15E86258618006AAE6B/$File/HIDROLOGIA_SLP_formato_M5.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2002b). Hidrología. *Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí*. 49-52. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_9.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2002c). Suelos. *Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí*. 61-66. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_11.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2017a). *Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092122.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2017b). *Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas*. Recuperado: 01 de junio de 2022, en https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250000* [Map]. Recuperado: 24 de mayo de 2023, en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2020). *Panorama sociodemográfico de México 2020*. 141. Recuperado: 04 de octubre de 2022, en https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197971.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2022a). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. DENUÉ. Recuperado: 28 de junio de 2022, en <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denué/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2022b). *Espacio y datos de México*. Recuperado: 24 de septiembre de 2022, en <https://inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?aq=240280469>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2023). *Estaciones hidrométricas. Catálogo de metadatos geográficos*. Recuperado: 24 de septiembre de 2023, en <http://hidrosuperf.imta.mx/bandas/>
- Londoño Arango, C. H. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales- Caracterización- Planificación- Administración* [Informe de año sabático, Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal]. https://www.academia.edu/39023672/CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_BASES_CONCEPTUALES_CARACTERIZACI%C3%93N_PLANIFICACI%C3%93N_ADMINISTRACI%C3%93N
- López-Mares, L. M., Lozano de Poo, J. M., Torre-Silva, F., Rodríguez-Santiago, J., y López-Fraga, J. A. (2019). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones al paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 45–69. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/11371/14638>
- López Martínez, M. L., y Madroñero Palacios, S. M. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42, DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>.
- Maidment D.R. (1992). *Handbook of hydrology*. McGrawHill, USA, Capítulo 14. <https://archive.org/details/handbookofhydrol0000unse/page/n9/mode/2up>
- Mekonnen, M. M., Pahlou, M., Aldaya, M.M., Zarate, E., y Hoekstra A.Y. (2015). Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in latin america and the caribbean. *Sustainability*, 7(1), 2086-2112. <https://www.waterfootprint.org/resources/Mekonnen-et-al-2015->

[WFA-LAC.pdf](#)

- McClelland, N. I. (1974). Water quality index. Application in the Kansas River Basin. *U.S. Environmental Protection Agency-Region VII, Kansas City, Missouri*, 74(1), 236. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20008TH7.PDF?Dockkey=20008TH7.PDF>
- Metcalf y Eddy. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. USA, McGraw-Hill. (4^a ed.). 111(7), 1086. https://www.academia.edu/40928611/Metcalf_and_Eddy_Wastewater_Engineering_Treatment_and_Reuse_4th_edition_2004
- Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, J., y López Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78(1), 25-33. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
- Organization for Economic Cooperation and Development. (OECD). (1982). *Eutrophication of waters: monitoring assessment and control*. París, Francia, 154. <http://lakes.chebucto.org/TPMODELS/OECD/OECD1982.pdf>
- OriginLab Corporation. (2018). *OriginPro* (Versión 95E) [Software]. OriginLab Corporation. www.originlab.com
- Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (INTERAPAS). (2011). *Estudio de diagnóstico y planeación integral de INTERAPAS, del sistema de agua y saneamiento en los municipios de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.* [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/varios/Taller%20Mig/DIP%20INTERAPAS%20\(abril-2011\)_Parte2.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/varios/Taller%20Mig/DIP%20INTERAPAS%20(abril-2011)_Parte2.pdf)
- Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (INTERAPAS). (2022). *Agua potable*. Nuevo INTERAPAS. Recuperado: 03 de octubre de 2022, en <https://interapas.mx/nosotros-2/121-2-3/>
- Orquera, E., y Cabrera, M. (2019). Caracterización del estado trófico de la laguna de yambo mediante análisis de fósforo. *InfoANALÍTICA*, 8(1), 99-111. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/157/1571051001/html/index.html>
- Pacheco, R. (2021, 09 de mayo). Temen reviente nuevo drenaje de Escalerillas. *Pulso: Diario de San Luis*. <https://pulsoslp.com.mx/slp/temen-reviente-nuevo-drenaje-de-escalerillas/1301770>
- Palau Ibars, A. (2003). Medidas de gestión y adecuación ambiental de

- embalses frente a la eutrofia. *Limnetica* 22, 22(1), 1–13.
<https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-22-1-p-1.pdf>
- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (4.1.2) [Software]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Ortiz, F. A., Hincapié-Gómez, E. H., y Sadeghian-Khalajabadi, S. (2009). Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas. *Cenicafé*, 60(1), 58-71.
[https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060\(01\)58-71.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060(01)58-71.pdf)
- Ramos Pujay, Y. (2022). *Determinación de los parámetros físico - químicos biológicos y su relación con el nivel de eutrofización en la laguna de los Milagros – Provincia de Leoncio Prado – Huánuco 2021*. [Tesis de grado, Universidad de Huanuco, Facultad de Ingeniería].
<http://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4093?show=full>
- Ruiz Castro, A. A. (2018). *Evaluación de cargas de fósforo y nitrógeno en el sitio de la presa El Arcediano y propuesta para su control* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería].
<http://132.248.9.195/ptd2018/enero/0768857/0768857.pdf>
- Salas, H., y Martino, P. (2001). *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales* (Reporte técnico OPS/CEPIS/PUB/01). Organización Panamericana de la Salud-División de Salud y Ambiente Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55330/OPSCEPISPUB01_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salas Avilés, E. (2011). *Morfología y grado de degradación de los suelos del término de Cuevas del Becerro (Málaga)* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Almería, Escuela Superior de Ingeniería].
<http://repositorio.ual.es/handle/10835/557>
- Sande, P., Mirás, J. M., Vidal, E., y Paz, A. (2005). Formas de fósforo y su relación con la erosión en aguas superficiales bajo clima atlántico. *Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada de Suelo*, A Coruña, VII, 125-130.
<https://ruc.udc.es/DSpace/bitstream/handle/2183/555/21-Sande.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sardiñas Peña, O., y Pérez Cabrera, A. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2), 0–0.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-

[30032004000200002&nrm=iso](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989#gsc.tab=0)

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (SEDUE). (1989, 13 de diciembre). Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89). *Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989#gsc.tab=0

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2013a). *Indicadores de calidad del agua* (Compendio de estadísticas ambientales). (Ed. 2013). https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html#:~:text=El%20ICA%20se%20define%20como,el%20agua%20en%20excelentes%20condiciones

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2013b). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental*. (Ed. 2012). https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2014). *Agua. Disponibilidad*. El medio ambiente en México, (14). Recuperado: 09 de junio de 2023, en https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_3.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2015a). *Agua. Atlas digital geográfico*. Recuperado: 20 de abril de 2023, en <http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2015b, 27 de marzo). Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (NOM-011-CONAGUA-2015). *Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México*. Recuperado: 23 de marzo de 2023, en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015#gsc.tab=0

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (SNET). (2007). *Índice de calidad del agua general "ICA"* (Criterios de calidad del agua). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Nacional de Estudios Territoriales; 00119, El Salvador, 14. <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00119/doc00119-contenido.pdf>

- Secretaría de Salud y Asistencia. (SSA). (2000, 20 de junio). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (NOM-127-SSA1-1994). Diario Oficial de la Federación. Recuperado: 20 de abril de 2023, en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0
- Shrivastava, N. G. (2021). Assessment of lake water quality by using trophic state index indicators parameters for ecological lake restoration-a case study of Naukuchiatal, Kumoun Region, Utrakhand, India. *International Journal of Multidisciplinary and Current*, 3(2), 101-122. https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2023/07/IJM CER_N0320101122.pdf
- Suárez-López, J., Zafra Mejía, C. y Jiménez Fernández, V. (2021). *Experiencias iberoamericanas en la gestión de escorrentías contaminadas de vales*. Editorial Grupo de enxeñaría da agua e do medio ambiente, A Coruña, 1-274. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498104>
- Téllez Quintanar, C. (2012). *Nociones de estabilidad de cortinas* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería]. https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000658769/3/0658769_A1.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (US EPA). (2001). *National recommended water quality criteria* (Office of Water and Office of Science and Technology). Office of Water Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division Washington, DC. <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/documents/lakes4.pdf>
- US Energy Solutions. (2023, 26 de septiembre). La influencia de represas y embalses en el ciclo de nutrientes en los sistemas fluviales. *Energy5 your way*. <https://energy5.com/es/la-influencia-de-represas-y-embalses-en-el-ciclo-de-nutrientes-en-los-sistemas-fluviales>
- Vásquez Zapata, G. L., Herrera Orozco, L., Cantera Kintz, J. R., Galvis Castaño, A., Cardona Zea, D. A., y Hurtado Sánchez, I. C. (2012). Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24(1), 112-128. <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/81/81>
- Vicente, I., y Cruz-Pizarro, L. (2003). Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra. *Limnetica*, 22(1-2), 165-181. <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-22-1-p->

[165.pdf](#)

- Vidal Álvarez, M., Marín-Muñiz, J. L., y Hernández y Hernández, D. (2022). Indicador de la calidad del agua, caso de estudio: Laguna Olmeca, Veracruz, México. *Journal of Basic Sciences*, 8(23), 122–132. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/5351>
- Vörösmarty C., Meybeck M., Fekete B., Sharma K., Green P., Syvitski J.P.M. (2003). Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change*, 39(1), 169-190. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818103000237>

Anexos

Anexo 1

Convocatoria LEMUR 2022-21



Laboratorio extramuros LEMUR

*Colaboración interdisciplinaria
en proyectos de impacto social*



BIOLOGÍA
MOLECULAR
IPICYT



CIENCIAS
AMBIENTALES
IPICYT



GEOCIENCIAS
APLICADAS
IPICYT



MATEMÁTICAS
APLICADAS
IPICYT



MATERIALES
AVANZADOS
IPICYT



CNS
CENTRO NACIONAL
DE SUPERCOMPUTO
IPICYT

SEMESTRE
enero-mayo
2022

Laboratorio Extramuros (LEMUR)

Curso extracurricular del Posgrado IPICYT

Coordinador: Dr. Braulio Gutiérrez Medina

Presentación

El IPICYT es un Centro Público de Investigación organizado en cinco Divisiones, cada una con un programa de posgrado asociado (Biología Molecular, Ciencias Ambientales, Geociencias, Matemáticas Aplicadas y Nanociencias y Materiales). A nivel institucional, la Visión del IPICYT establece cuatro objetivos que definen el carácter del instituto: "Ser una institución con prestigio y liderazgo internacional, con impacto regional", "Impulsar proyectos interdisciplinarios", "Formar recursos humanos de excelencia" y "Transferir a la sociedad el conocimiento generado."

En este contexto, el Consejo Académico del Posgrado decidió en 2019 establecer el Laboratorio Extramuros (LEMUR). El LEMUR es un curso institucional que busca integrar de manera eficaz los objetivos del IPICYT a nivel posgrado. En particular, el curso pretende impulsar la colaboración interdisciplinaria entre los estudiantes para abordar problemas de beneficio social en el contexto local.

A partir de enero del 2020 hemos realizado con éxito cuatro ediciones semestrales del curso LEMUR, con la participación entusiasta y comprometida de los siguientes estudiantes:

Felipe de Jesús Barraza García, Benjamín Portillo Rodríguez, Roque Sánchez Salas Doctorado en Nanociencias y Materiales

Eyra Judith Hernández Hernández, María del Carmen González López, Ana Teresa Rodríguez Luévano Doctorado en Biología Molecular

David Ricardo Martínez Vargas, Joel de Jesús Gutiérrez Martínez, Sandra Daniela Hernández Valdez, Ricardo Ismael Mata Páez, Andrea Susana González Vera Doctorado en Ciencias Ambientales

Rodrigo Dávila Ortiz
Doctorado en Geociencias Aplicadas

Isaac Leonel López García
Doctorado en Control y Sistemas Dinámicos

Los estudiantes de las primeras generaciones del LEMUR decidieron enfrentar el problema de la presencia de lirio acuático en la Presa San José. La Presa San José, con sus características físicas, biológicas y

sociales, constituye un sistema socio-ecológico complejo. Por tanto, nuestro acercamiento multidisciplinario resulta ideal para conocer el problema y elaborar sobre posibles soluciones a los problemas ahí presentes y que son de gran interés para la comunidad. Durante los primeros semestres del LEMUR hemos avanzado en la comprensión de un sistema de esta magnitud y hemos establecido alianzas con los sectores académico (COLSAN, UASLP, IPICYT) y gubernamental (CONAGUA, SEMARNAT, Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos, Comisión Estatal del Agua, Secretaría de Gestión Ambiental, Comisión Estatal de Áreas Naturales Protegidas), así como asociaciones civiles (Grupo Sierra de San Miguelito), con el fin de trabajar juntos alrededor de La Presa San José. Los resultados obtenidos hasta ahora por el grupo LEMUR han sido exitosos, gracias a los estudiantes que han formado parte del grupo.

Información del curso, segundo semestre de 2021

Por este medio se invita a los estudiantes de Doctorado del IPICYT a participar en el proyecto LEMUR. La expectativa para el semestre 2022-1 (enero-mayo de 2022) es continuar con el trabajo desarrollado en los cuatro semestres anteriores. El único requisito es tener compromiso, disposición y mucha motivación e interés para llevar a cabo actividades adicionales al trabajo académico regular. Es importante notar que se cuida no afectar de modo alguno el desarrollo de los trabajos de tesis de los estudiantes.

Nombre: Laboratorio Extramuros (LEMUR)

Profesores participantes:

Dr. Leonardo Chapa Vargas (DCA)

Dra. Elisabeth Huber Sannwald (DCA)

Dra. Nguyen Esmeralda López Lozano (DCA)

Dra. Natalia Martínez Tagüeña (DCA)

Dra. Claudia Lorena Lauterio Martínez (DCA)

Dr. Braulio Gutiérrez Medina (DMAv, Coordinador)

Duración: Un semestre (enero – mayo)

Créditos: Ninguno (curso extracurricular)

Objetivos: 1. Promover la colaboración interdisciplinaria entre los estudiantes de los cinco posgrados del IPICYT.
2. Aplicar los conocimientos y las metodologías académicas para

abordar problemas fuera del aula.

3. Establecer alianzas multisectoriales para co-generar nuevo conocimiento útil.

4. Llevar a cabo acciones de impacto en el bienestar social.

Descripción: Se integrará un equipo de trabajo conformado por los estudiantes interesados y los profesores participantes. Estos últimos proveerán asesoría, serán enlace con la comunidad y, en caso de ser necesario, facilitarán acceso a laboratorios y equipo. Los estudiantes abordarán un problema de interés público en San Luis Potosí, constituyendo de manera efectiva una acción de servicio social. Es importante señalar que este no es un proyecto de vinculación industrial.

Durante el curso se hará énfasis en el trabajo en equipo para identificar el problema de interés, definir las metas a alcanzar y establecer un cronograma de actividades. Se llevarán a cabo reuniones periódicas (inicialmente por videoconferencia) con los profesores asesores en las que habrá seguimiento de los avances realizados por los estudiantes. Al término del semestre todos los involucrados revisarán el trabajo completado y se redactará un informe que sirva como referencia para futuros participantes. La metodología de trabajo cumplirá con las medidas de seguridad sanitarias establecidas en el IPICYT.

Proceso de incorporación de estudiantes

Convocatoria: lunes 17 de enero

Recepción de solicitudes: 17 al 21 de enero

Inicio de actividades: 21 de enero

Mayores informes

Dr. Braulio Gutiérrez Medina bgutierrez@ipicyt.edu.mx

Anexo 2

Base de datos CONAGUA 2013-2021 con información de los parámetros de calidad del agua de las estaciones de monitoreo de la subcuenca hidrográfica de la presa San José.

Tablas A2.1. Clave, nombre, ventana de tiempo de muestreos de agua, número de muestreos y localización de las estaciones de monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca hidrográfica de la presa San José en el municipio de San Luis Potosí. Construida a partir de datos proporcionados por CONAGUA (2021a). Todas las estaciones de muestreo se encuentran dentro de las presas, cuerpos de agua de tipo léntico.

Clave sitio	Nombre del sitio	Ventana de tiempo	CLORO F_A	COLI_F EC	E_COLI	COT	COT_S OL	DBO_S OL	DBO_T OT	DOO_S OL	DOO_T OT	N_NH3	N_NO2	N_NO3	N_ORG	N_TOT	N_TOT_K	TOX_D_48_SUP_UT	TOX_D_48_FON_UT	TOX_FI_S_SUP_15_UT	TOX_FI_S_SUP_30_UT	TOX_FI_S_FON_15_UT	TOX_FI_S_FON_30_UT
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	27/3/2013	68.1508	1	1	15	14	2	3	33	45	1.401	0.021	0.069	1.399	2.890	2.800	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	28/8/2013	46.2620	1314	97	13	10	3	14	49	88	0.924	0.021	0.062	0.797	1.804	1.721	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/4/2014	12.3800	743	10	9	8	4	7	32	61	0.155	0.021	0.116	0.675	0.967	0.830	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	20/8/2014	13.7900	24196	1	9	7	5	7	25	25	0.087	0.021	0.039	0.494	0.641	0.581	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	27/2/2015	239.9840	487	1	13	10	2	5	25	5158	0.487	0.021	0.043	1.148	1.699	1.635	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	23/9/2015	19.8448	880	1	8	8	2	4	12	35	0.100	0.021	0.020	0.600	0.740	0.699	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	20/4/2016	51.6930	134	1	11	10	5	6	10	43	0.054	0.021	0.020	1.461	1.556	1.515	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	6/9/2016	25.6244	563	41	8	8	2	2	10	31	0.074	0.021	0.021	1.044	1.160	1.118	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	15/2/2017	23.1356	20	1	10	10	2	6	13	39	0.536	0.021	0.030	1.442	2.030	1.978	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/8/2017	-	2755	327	12	10	2	5	10	41	0.415	0.021	0.073	0.936	1.445	1.351	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	2/5/2018	4.4256	432	10	21	19	2	5	10	52	0.385	0.021	0.050	1.803	2.258	2.187	1	-	1	1	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	24/7/2018	14.1204	262	10	16	16	2	4	11	46	0.030	0.021	0.020	1.244	1.316	1.275	1	1	1	1	1	1
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	19/12/2018	5.6880	313	10	10	9	2	5	10	18	0.257	0.021	0.163	0.843	1.285	1.101	1	-	1	1	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/3/2019	75.2200	3740	100	12	12	2	21	10	56	0.283	0.021	0.101	1.334	1.739	1.617	1	-	1	1	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	7/10/2020	8.4324	1720	10	15	10	2	2	10	18	0.359	0.021	0.067	1.189	1.637	1.548	1	-	1	1	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	27/3/2013	72.7168	41	1	18	14	2	3	28	43	1.709	0.021	0.043	1.262	3.036	2.972	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	28/8/2013	28.9060	2909	110	13	11	4	6	53	92	0.711	0.021	0.088	0.722	1.543	1.434	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/4/2014	18.3000	295	10	10	7	6	7	32	64	0.151	0.021	0.066	0.663	0.901	0.814	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	21/8/2014	11.6500	24196	1	8	6	2	2	22	43	0.045	0.021	0.020	0.844	0.930	0.889	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	27/2/2015		74	1	11	10	2	4	25	46	0.205	0.021	0.062	1.388	1.675	1.593	<1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	23/9/2015	25.6244	644	1	8	6	2	2	10	25	0.372	0.021	0.020	0.618	1.030	0.989	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	20/4/2016	53.9170	97	1	11	10	5	6	10	28	0.058	0.021	0.020	1.230	1.328	1.287	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	6/9/2016	24.9424	637	52	8	5	2	2	10	30	0.347	0.021	0.021	0.761	1.151	1.109	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	15/2/2017	27.0796	41	1	10	10	2	6	11	25	0.467	0.021	0.025	1.239	1.752	1.706	1	1	1	1	1	1

DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/8/2017	-	2613	256	12	11	2	6	10	33	0.441	0.021	0.057	1.584	2.103	2.025	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	2/5/2018	3.8804	617	10	15	12	2	2	10	47	0.255	0.021	0.035	1.445	1.756	1.699	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	24/7/2018	3.3180	410	10	16	15	2	5	10	50	0.023	0.021	0.020	1.202	1.266	1.225	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	19/12/2018	8.2824	31	10	11	9	2	4	10	23	0.240	0.021	0.186	0.808	1.255	1.048	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/3/2019	6.3864	31	10	13	11	4	6	10	33	0.112	0.021	0.238	0.662	1.033	0.774	1	1	1	1	1	1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	07/10/2020	4.3512	504	10	11	8	2	2	10	32	0.364	0.021	0.084	0.921	1.389	1.284	1	-	1	1	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	04/10/2021	5.061	43	-	8	6	2	3	26	52	0.133	0.021	868.854	0.033	869.041	0.166	-	-	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/03/2013	127.2876	86	10	26	21	6	12	88	105	1.246	0.021	0.024	3.708	5.000	4.955	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	18/10/2013	5.2408	20	1	13	13	2	2	17	29	0.284	0.021	0.119	0.799	1.222	1.083	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	11/04/2014	7.96	2282	97	15	9	6	9	39	62	0.118	0.021	0.041	0.359	0.539	0.477	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/08/2014	2.99	201	1	10	9	2	2	11	21	0.292	0.021	0.020	0.368	0.701	0.660	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/03/2015	0.5	1	1	10	10	2	2	18	26	0.167	0.021	0.161	0.977	1.326	1.144	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/09/2015	0.5	767	10	10	10	2	2	10	26	0.057	0.021	0.020	0.461	0.559	0.518	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/04/2016	6.7448	20	1	9	9	2	2	10	31	0.044	0.021	0.020	0.627	0.712	0.671	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	06/09/2016	8.5112	1401	20	7	5	2	2	10	21	0.104	0.021	0.020	0.524	0.669	0.628	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/03/2017	0.6784	41	1	10	10	2	2	22	58	0.038	0.021	0.020	0.565	0.644	0.603	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/08/2017	0.5	650	41	11	10	2	2	10	20	0.105	0.021	0.025	0.232	0.383	0.337	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	02/05/2018	3.604	233	10	10	9	2	2	10	24	0.199	0.021	0.300	0.020	0.540	0.219	1	-	1	1		-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	24/07/2018	0.5	84	10	15	15	2	2	10	36	0.050	0.021	0.100	1.108	1.280	1.159	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	19/12/2018	2.3084	10	10	14	12	2	2	10	20	0.119	0.021	0.088	0.633	0.861	0.752	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/03/2019	0.5	134	10	13	13	2	2	376	405	0.093	0.021	0.110	0.647	0.871	0.740	1	1	1	1	1	1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	08/10/2020	2.994	15531	14136	28	11	2	2	17	32	0.177	0.021	0.025	0.788	1.010	0.964	1	-	1	1	-	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/03/2013	89.6876	1	1	24	21	5	7	46	59	1.609	0.021	0.045	2.499	4.173	4.108	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	18/10/2013	5.7148	41	1	14	14	2	2	30	33	0.323	0.021	0.117	0.996	1.457	1.319	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	11/04/2014	7.07	2987	98	16	10	7	10	60	87	0.301	0.021	0.042	0.571	0.935	0.872	1	1	1	1	2	2
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/08/2014	4.63	878	1	11	9	2	2	34	67	0.288	0.021	0.033	0.435	0.777	0.723	1	1	1	1	1	1

DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/02/2015	0.5	10	1	11	11	2	2	16	23	0.164	0.021	0.161	0.905	1.251	1.069	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/09/2015	2.37	309	1	10	10	2	2	10	19	0.114	0.021	0.020	0.735	0.890	0.849	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/04/2016	5.4524	161	1	9	9	2	2	10	24	0.063	0.021	0.020	0.597	0.701	0.660	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	06/09/2016	5.9912	631	1	9	9	2	2	10	28	0.082	0.021	0.020	0.632	0.755	0.714	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/03/2017	0.5	10	1	10	10	2	2	10	11	0.049	0.021	0.059	0.552	0.682	0.602	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/08/2017	0.5	426	63	11	11	2	2	10	20	0.119	0.021	0.030	0.000	0.170	0.119	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	02/05/2018	1.2244	52	10	12	11	2	5	10	41	0.270	0.021	0.276	1.711	2.277	1.981	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	24/07/2018	0.5	31	10	14	13	2	2	13	70	0.056	0.021	0.404	0.325	0.806	0.381	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	19/12/2018	0.5	20	10	13	12	2	4	10	10	0.204	0.021	0.116	0.545	0.887	0.750	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/03/2019	0.5	52	10	13	13	2	4	10	39	0.085	0.021	0.368	0.647	1.121	0.732	1	1	1	1	1	1
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	07/10/2020	3.5328	203	10	20	11	2	4	10	23	0.349	0.021	0.030	0.951	1.351	1.300	1	-	1	1	-	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	04/10/2021	5.6367	3	-	7	6	2	2	10	13	0.099	0.021	0.865	1.236	2.221	1.335	-	-	-	-	-	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	04/01/2013	-	122	30	16	16	2	3	35	48	0.219	0.021	0.379	2.057	2.676	2.276	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	25/04/2013	86.8964	7270	20	20	20	4	6	71	85	1.539	0.021	0.020	1.984	3.564	3.523	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	01/08/2013	52.2548	211	1	10	10	4	5	65	122	0.715	0.021	0.044	1.039	1.819	1.754	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	11/04/2014	10.54	717	110	13	8	8	12	40	66	0.578	0.021	0.048	0.467	1.114	1.045	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	19/08/2014	5.99	108	1	11	7	2	2	18	26	0.332	0.021	0.091	1.132	1.576	1.464	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	17/03/2015	14.22	52	41	9	9	2	2	16	24	0.096	0.021	0.033	0.897	1.047	0.994	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/09/2015	4.74	160	10	9	6	2	8	10	22	0.191	0.021	0.023	0.644	0.879	0.835	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/04/2016	44.4144	31	1	9	9	2	2	10	20	0.060	0.021	0.020	0.993	1.094	1.053	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	07/09/2016	12.2892	231	10	8	7	4	18	10	33	0.504	0.021	0.088	0.715	1.328	1.220	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	22/03/2017	1.2681	20	1	9	8	2	2	10	25	0.248	0.028	0.184	1.181	1.641	1.428	1	1	1	1	1	1
DLSAN2314	Presa San Jose 1	05/10/2021	1.5983	3	-	8	5	2	2	36	36	0.020	0.021	0.441	1.061	1.543	1.081	-	-	-	-	-	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	04/01/2013	-	292	31	17	4	2	2	19	19	1.111	0.021	0.225	0.943	2.300	2.054	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San Jose 2	25/04/2013	67.5344	7270	10	15	15	3	3	65	78	1.346	0.021	0.021	1.779	3.167	3.125	1	1	1	1	1	1

DLSAN2320	Presa San José 2	01/08/2013	49.5412	175	31	11	10	3	4	44	49	0.314	0.021	0.031	0.000	0.365	0.314	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	07/04/2014	21.61	31	1	9	8	6	13	21	64	0.134	0.021	0.100	0.589	0.844	0.723	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	19/08/2014	5.45	41	1	10	7	2	2	11	23	0.077	0.021	0.032	1.132	1.262	1.209	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	17/03/2015	75.84	41	30	10	9	2	2	21	33	0.069	0.021	0.020	0.850	0.959	0.918	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	21/09/2015	7.9348	98	1	10	8	2	6	10	23	0.108	0.021	0.020	0.800	0.948	0.907	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	21/04/2016	49.88	110	1	9	8	2	2	27	40	0.070	0.021	0.020	1.061	1.172	1.131	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	07/09/2016	17.4448	624	10	8	7	2	4	10	46	0.370	0.021	0.068	1.007	1.465	1.376	1	1	1	1	1	1
DLSAN2320	Presa San José 2	22/03/2017	1.2219	97	1	10	10	2	2	10	24	0.237	0.026	0.179	1.146	1.587	1.382	1	1	1	1	1	1

Clave sitio	Nombre del sitio	Fecha	P_TOT	ORTO_P O4	COLOR_VER	TRANSP ARENCIA	ABS_UV	SDT	CONDUC CAMPO SUP	CONDUC CAMPO MED	CONDUC CAMPO FON	pH_CAM PO_SUP	pH_CAM PO_MED	pH_CAM PO_FON	OD_%S UP	OD_mg/L SUP	OD_mg/L MED	OD_mg/L FON	OD_%M ED	OD_%F ON
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	27/3/2013	0.082	0.019	20	0.50	0.03	118	184	202	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	28/8/2013	0.067	0.012	50	0.80	0.15	83	130	127	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/4/2014	0.062	0.012	15	1.00	0.17	89	139	-	-	8.4	-	-	101.5	7.5	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	20/8/2014	0.026	0.012	20	0.80	0.12	88	137	-	-	8.3	-	-	121.2	8.1	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	27/2/2015	0.057	0.008	5	0.50	0.16	81	127	-	-	8.6	-	-	108.4	8.3	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	23/9/2015	0.134	0.011	25	0.80	0.21	60	93	92	91	7.8	7.6	6.6	117.8	8.4	8.0	6.6	111.1	90.5
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	20/4/2016	0.121	0.007	30	0.50	0.13	65	102	-	-	7.0	-	-	102.9	7.1	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	6/9/2016	0.071	0.008	50	0.80	0.22	68	106	105	-	7.3	7.2	-	90.1	6.6	6.3	-	88.0	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	15/2/2017	0.076	0.007	60	0.40	0.15	60	94	-	-	7.4	-	-	61.7	5.0	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/8/2017	0.069	0.007	40	0.50	0.23	71	111	-	-	6.9	-	-	46.8	3.2	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	2/5/2018	0.130	0.007	75	0.15	0.13	80	125	-	-	8.4	-	-	131.3	8.9	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	24/7/2018	0.068	0.012	70	0.48	0.40	64	99	98	-	7.4	7.3	-	86.7	6.0	5.3	-	75.6	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	19/12/2018	0.063	0.010	60	0.28	0.30	53	84	-	-	8.0	-	-	68.1	5.6	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	9/3/2019	0.105	0.025	100	0.18	0.28	61	95	-	-	7.8	-	-	104.1	7.3	-	-	-	-
DLSAN2318	Presa El Peaje 2	7/10/2020	0.259	0.019	60	0.43		53	83	-	-	7.4	-	-	57.3	4.0	-	-	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	27/3/2013	0.078	0.018	25	0.30	0.03	121	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	28/8/2013	0.060	0.009	50	0.80	0.15	81	127	128	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/4/2014	0.062	0.013	13	1.00	0.19	89	139	139	143	8.8	8.6	6.8	97.2	7.3	6.7	2.2	89.5	29.5
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	21/8/2014	0.040	0.007	15	1.00	0.13	88	137	137	136	7.6	7.4	7.0	94.2	6.5	6.4	-	91.6	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	27/2/2015	0.061	0.009	25	0.50	0.13	76	118	118	119	7.5	7.5	7.4	98.1	7.7	7.6	6.5	96.8	82.5
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	23/9/2015	0.155	0.010	30	0.80	0.21	58	91	86	67	7.6	6.0	-	113.1	7.9	2.4	1.6	33.4	22.1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	20/4/2016	0.110	0.007	30	1.00	0.12	63	98	95	-	7.5	7.3	-	104.8	7.5	7.1	-	102.8	-

DLSAN2317	Presa El Peaje 1	6/9/2016	0.055	0.007	50	1.00	0.22	70	110	97	92	7.2	7.2	7.0	94.2	6.8	6.6	6.0	92.5	84.4
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	15/2/2017	0.070	0.007	50	0.60	0.15	61	95	95	95	7.7	7.6	7.5	85.4	6.8	6.4	6.3	81.2	79.2
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/8/2017	0.064	0.007	40	0.70	0.22	70	109	108	98	6.8	6.6	6.6	42.9	2.9	1.0	1.0	10.0	10.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	2/5/2018	0.096	0.007	60	0.28	0.16	69	108	107	-	7.9	7.8	-	105.7	7.3	2.1	-	36.8	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	24/7/2018	0.066	0.015	75	0.35	0.38	63	99	85	77	9.0	8.3	7.6	121.0	8.3	5.1	2.2	70.8	30.2
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	19/12/2018	0.048	0.011	50	0.28	0.30	53	83	83	83	7.7	7.5	7.5	80.8	6.5	5.2	4.9	75.7	65.4
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/3/2019	0.052	0.015	60	0.18	0.31	58	90	84	81	7.9	7.8	7.8	108.1	7.1	-	2.3	-	27.5
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	07/10/2020	0.133	0.019	80	0.44	-	50	78	-	-	7.2000	-	-	44.1000	3.2000	-	-	-	-
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	04/10/2021	0.021	0.007	15	0.70	-	60	93	96	98	7	7	6.9	-	-	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/03/2013	0.269	0.017	75	0.20	-	333	521	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	18/10/2013	0.042	0.051	40	1.40	0.32	68	106	105	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	11/04/2014	0.017	0.010	8	1.20	0.24	65	102	-	-	7	-	-	97.1	6.8	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/08/2014	0.020	0.013	25	2.00	0.20	66	103	103	97	7	7	7.0	95.6	6.6	7.0	2.0	101.4	29.1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/02/2015	0.028	0.007	15	3.60	0.21	62	97	97	96	8	8	7.9	115.1	8.2	8.0	7.6	107.7	97.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/09/2015	0.129	0.007	30	1.50	0.24	51	80	70	63	7	7	-	101.7	7.4	6.8	5.7	99.7	49.4
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/04/2016	0.091	0.007	15	1.50	0.19	52	82	79	75	7	7	7.2	92.8	6.6	6.2	5.4	85.3	65.5
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	06/09/2016	0.031	0.007	13	2.00	0.18	64	100	95	-	7	7	-	92.8	6.4	6.4	-	92.4	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/03/2017	0.026	0.010	25	1.50	0.19	77	121	-	-	8	-	-	101.4	6.8	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/08/2017	0.024	0.007	18	1.00	0.24	68	106	100	-	7	7	-	84.9	5.5	5.1	-	77.0	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	02/05/2018	0.043	0.007	25	0.18	0.22	67	105	-	-	8	-	-	105.7	6.9	-	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	24/07/2018	0.057	0.013	60	0.66	0.36	54	84	81	80	7	7	7.0	108.0	7.4	2.8	2.1	36.4	28.9
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	19/12/2018	0.030	0.018	40	0.58	0.38	42	66	66	66	7	7	7.1	77.2	6.1	6.0	5.6	75.6	72.9
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/03/2019	0.034	0.020	50	0.38	0.34	45	70	64	60	8	8	7.6	90.7	6.8	4.3	2.4	57.4	23.6
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	08/10/2020	0.099	0.014	100	0.78	-	64	99	-	-	7	-	-	54.2	4.3	-	-	-	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/03/2013	0.159	0.021	100	0.30	-	335	523	524	524	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	18/10/2013	0.067	0.007	40	1.40	0.33	67	105	95	93	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	11/04/2014	0.036	0.020	8	1.70	0.25	65	101	100	97	7	7	6.5	99.2	7.3	5.2	1.0	72.7	10.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/08/2014	0.033	0.024	25	1.80	0.19	65	102	104	100	8	7	7.0	102.7	7.0	4.3	-	62.5	-

DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/02/2015	0.021	0.014	13	4.00	0.21	62	97	96	92	7	7	7.3	115.1	7.6	7.1	6.6	107.7	97.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/09/2015	0.131	0.007	25	1.50	0.24	51	80	70	63	7	-	-	96.5	6.6	1.2	1.3	16.9	18.6
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/04/2016	0.102	0.007	20	1.50	0.19	52	81	76	71	7	7	7.0	93.4	6.6	6.5	5.2	88.6	63.6
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	06/09/2016	0.033	0.007	13	2.50	0.19	63	98	97	92	8	7	7.1	96.1	6.7	6.6	5.2	95.2	64.4
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/03/2017	0.028	0.007	15	3.00	0.18	75	117	98	90	8	8	7.5	94.0	6.7	6.4	5.2	87.1	63.5
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/08/2017	0.028	0.007	30	1.50	0.24	65	101	92	87	7	7	6.3	79.1	5.4	4.0	1.2	54.1	11.3
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	02/05/2018	0.045	0.007	15	0.25	0.22	60	94	93	-	9	8	-	126.7	8.4	5.3	-	70.8	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	24/07/2018	0.049	0.010	50	0.55	0.36	54	84	78	-	8	7	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	19/12/2018	0.031	0.026	50	0.58	0.41	44	68	68	67	7	7	7.4	83.0	6.3	5.3	4.3	72.7	65.2
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/03/2019	0.036	0.020	50	0.48	0.34	51	80	79	74	8	8	7.9	91.4	6.5	5.4	4.4	80.3	69.8
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	07/10/2020	0.163	0.038	70	1.20	-	82	127	121	117	7	7	7.1	67.3	4.6	4.2	3.9	63.8	58.5
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	04/10/2021	0.007	0.007	25	1.69	-	40	62	65	69	7	7	6.7	66.0	5.2	5.4	5.6	67.0	68.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	04/01/2013	0.188	0.133	50	1.00	0.03	324	507	506	-	8	8	-	46.9	3.6	3.6	-	46.8	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	25/04/2013	0.202	0.015	625	0.40	0.03	454	710	709	711	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	01/08/2013	0.242	0.051	100	0.70	0.30	172	268	239	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	11/04/2014	0.110	0.036	10	1.00	0.23	136	213	211	241	8	7	6.7	113.3	8.4	1.1	1.3	14.5	17.8
DLSAN2314	Presa San Jose 1	19/08/2014	0.061	0.011	30	1.00	0.16	122	191	186	162	7	7	7.0	106.3	6.9	-	-	-	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	17/03/2015	0.055	0.008	5	1.00	0.15	123	192	179	180	7	8	7.5	95.5	7.2	7.5	6.1	94.8	76.3
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/09/2015	0.065	0.024	40	2.00	0.25	107	167	161	153	8	7	6.7	129.9	8.7	7.2	6.4	103.9	91.4
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/04/2016	0.145	0.007	50	1.50	0.21	123	192	188	174	8	7	7.1	103.6	7.4	7.2	4.9	99.9	54.9
DLSAN2314	Presa San Jose 1	07/09/2016	0.115	0.013	75	0.80	0.32	122	191	180	155	7	7	7.0	100.8	7.0	5.4	4.8	77.3	53.7
DLSAN2314	Presa San Jose 1	22/03/2017	0.216	0.017	150	0.50	0.27	119	186	172	169	8	8	7.2	94.0	6.7	5.1	5.1	65.3	64.2
DLSAN2314	Presa San Jose 1	05/10/2021	0.029	0.007	25	0.85	-	104	162	164	166	7	7	6.7	-	-	-	-	-	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	04/01/2013	0.172	0.070	60	1.00	0.03	332	519	512	-	8	8	-	42.0	3.4	3.3	-	41.4	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	25/04/2013	0.216	0.016	625	0.30	0.03	454	710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DLSAN2320	Pres San Jose 2	01/08/2013	0.195	0.040	125	0.70	0.30	170	265	242	194	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DLSAN2320	Pres San Jose 2	07/04/2014	0.064	0.046	15	1.50	0.22	136	213	212	216	8	7	7.0	117.0	8.4	6.3	1.1	87.6	14.4
DLSAN2320	Pres San Jose 2	19/08/2014	0.052	0.011	30	1.00	0.16	122	191	187	163	8	7	7.0	106.6	6.9	-	-	-	-
DLSAN2320	Pres San Jose 2	17/03/2015	0.045	0.009	5	1.00	0.15	116	181	180	179	8	8	7.2	95.8	7.3	6.6	5.9	83.5	74.2
DLSAN2320	Pres San Jose 2	21/09/2015	0.071	0.007	40	1.50	0.23	109	171	159	-	8	7	-	127.3	8.3	6.7	-	96.5	-
DLSAN2320	Pres San Jose 2	21/04/2016	0.144	0.007	50	1.00	0.21	120	188	190	175	8	7	7.2	98.1	7.2	6.9	5.1	94.0	62.1
DLSAN2320	Pres San Jose 2	07/09/2016	0.107	0.013	75	0.60	0.32	133	208	205	180	8	7	7.1	99.9	6.9	6.6	5.1	95.1	61.3
DLSAN2320	Pres San Jose 2	22/03/2017	0.228	0.019	250	0.50	0.25	141	221	195	-	8	8	-	93.9	6.7	6.3	-	86.0	-

Clave sitio	Nombre del sitio	Fecha	SST	TURBIEDA D	AS_TOT	CD_TOT	CR_TOT	HG_TOT	NI_TOT	PB_TOT	POT_RED OX_CAMP O_SUP	POT_RED OX_CAMP O_MED	POT_RED OX_CAMP O_FON	DUR_TOT	TEMP_AM B	TEMP_AG UA_SUP	TEMP_AG UA_MED	TEMP_AG UA_FON	PROFUND IDAD
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	27/3/2013	31.0	9.0	0.010	0.003	0.010	0.001	0.005	0.005	0.2	0.2	0.2	63.2	23.8	16.8	15.9	15.6	-
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	28/8/2013	16.0	8.0	0.013	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	280.1	266.4	220.7	47.8	23.7	20.9	20.3	20.1	-
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	9/4/2014	28.0	3.4	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	181.7	-	-	39.4	17.0	19.0	-	-	1.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	20/8/2014	10.0	4.6	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	145.2	-	-	33.8	18.8	23.5	-	-	1.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	27/2/2015	40.0	16.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	227.3	-	-	43.5	18.0	16.1	-	-	0.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	23/9/2015	12.0	8.0	0.010	0.003	0.017	0.002	0.007	0.005	167.8	181.9	118.6	24.9	19.0	22.2	21.9	21.6	5.0
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	20/4/2016	30.0	11.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	245.3	-	-	28.8	27.0	20.5	-	-	1.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	6/9/2016	16.9	19.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	282.5	276.9	-	27.2	16.0	19.6	19.5	-	2.0
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	15/2/2017	22.0	22.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.008	0.005	151.5	-	-	37.4	20.0	14.0	-	-	1.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	9/8/2017	23.9	17.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	235.0	-	-	34.7	25.0	22.9	-	-	1.5
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	2/5/2018	59.5	35.0	0.018	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	128.4	-	-	40.2	28.1	22.2	-	-	0.8
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	24/7/2018	16.0	19.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	160.2	134.2	-	26.3	16.4	21.8	21.4	-	4.2
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	19/12/2018	13.3	13.0	0.010	0.003	0.008	0.001	0.008	0.005	67.9	-	-	29.2	18.7	13.5	-	-	1.3
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	9/3/2019	42.9	20.0	0.010	0.003	0.009	0.001	0.001	0.019	126.2	-	-	32.0	26.5	21.0	-	-	0.9
DLSAN2318	Pres El Peaje 2	7/10/2020	22.5	21.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	163.6	-	-	31.8	25.6	20.7	-	-	0.5
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	27/3/2013	31.3	60.0	0.010	0.003	0.006	0.001	0.001	0.005	0.2	-	-	53.3	23.0	19.4	-	-	-
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	28/8/2013	12.1	11.0	0.014	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	229.4	214.1	200.6	50.0	23.3	21.4	21.3	21.0	-
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	9/4/2014	12.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	99.3	96.2	-80.0	35.4	23.0	17.7	17.2	15.0	12.0
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	21/8/2014	10.0	3.6	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	58.3	36.2	-89.2	37.8	15.2	21.6	21.5	20.8	6.0
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	27/2/2015	26.0	12.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	207.0	202.1	202.7	39.2	17.0	15.5	15.3	15.2	9.0
DLSAN2317	Pres El Peaje 1	23/9/2015	10.0	6.8	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	98.2	-44.9	-63.9	24.9	20.0	21.4	20.5	19.1	14.0

DLSAN2317	Presa El Peaje 1	20/4/2016	22.0	10.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	328.4	297.5	-	30.8	23.0	19.1	18.0	-	5.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	6/9/2016	16.0	19.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	274.5	269.5	183.8	27.2	19.0	20.0	19.5	18.6	6.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	15/2/2017	18.3	19.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.004	0.005	174.8	179.4	178.6	31.1	20.0	15.2	15.0	14.8	7.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/8/2017	29.0	17.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	44.3	-111.8	-26.8	34.7	27.0	22.3	21.1	20.3	7.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	2/5/2018	31.3	19.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	124.3	110.1	-	34.5	26.3	21.4	21.0	-	3.6
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	24/7/2018	31.0	23.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	98.9	-80.1	-124.7	24.3	26.1	22.5	21.4	19.9	14.1
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	19/12/2018	10.0	12.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	166.5	152.7	143.1	31.2	19.9	14.0	13.2	12.3	15.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	9/3/2019	12.0	12.0	0.010	0.003	0.011	0.001	0.006	0.018	202.5	191.5	164.1	34.0	27.5	20.2	19.1	18.6	7.0
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	07/10/2020	10.0	19.0	0.010	0.003	0.0050	0.0005	0.0010	0.0050	177.0			27.8600	15.2000	19.0000			0.7200
DLSAN2317	Presa El Peaje 1	04/10/2021	15.0	20.0	-	-	0.005	0.001		0.005	123.0	124.0	125.0	-	21.0	21.0	20.0	20.0	10.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/03/2013	57.5	50.0	0.018	0.003	0.010	0.001	0.008	0.013	0.1	-	-	268.6	23.2	23.2	-	-	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	18/10/2013	10.0	4.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	234.0	230.0	216.0	102.0	25.1	23.0	20.9	20.2	-
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	11/04/2014	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	287.7	-	-	58.0	27.0	21.0	-	-	1.2
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/08/2014	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	282.4	287.0	119.0	23.8	19.2	22.4	22.2	20.3	8.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	27/02/2015	10.0	3.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	256.4	253.6	239.5	26.1	20.0	21.2	21.0	20.8	6.5
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/09/2015	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	296.3	310.8	309.9	28.8	27.0	23.6	22.5	20.2	7.5
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	20/04/2016	10.0	10.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	234.0	222.3	196.5	20.0	24.0	21.4	20.5	18.0	8.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	06/09/2016	10.0	2.7	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	283.4	265.5	-	20.9	21.0	22.2	21.9	-	2.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	22/03/2017	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	311.1	-	-	25.0	24.0	24.2	-	-	1.5
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/08/2017	10.0	2.6	0.011	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	177.5	180.5	-	26.6	28.0	25.2	23.4	-	3.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	02/05/2018	124.4	7.7	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	121.4	-	-	32.5	30.1	24.5	-	-	1.4
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	24/07/2018	10.0	4.4	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	256.2	17.8	-33.8	20.0	27.7	23.6	22.7	21.8	9.1
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	19/12/2018	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	167.7	160.2	155.3	20.0	20.2	14.8	14.2	13.7	8.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	09/03/2019	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.013	163.5	159.1	157.1	20.0	29.0	18.1	17.7	17.2	7.0
DLSAN2316	Presa El Potosino 2	08/10/2020	10.0	5.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	87.3	-	-	51.7	16.0	16.1	-	-	1.2
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/03/2013	73.3	40.0	0.018	0.003	0.007	0.001	0.008	0.021	0.1	0.2	0.2	207.4	23.4	19.1	18.4	17.8	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	18/10/2013	10.0	4.2	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	258.0	193.0	160.0	59.2	26.2	23.6	18.1	17.7	-
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	11/04/2014	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	154.4	123.7	184.3	26.6	30.0	20.0	18.9	15.7	18.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/08/2014	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	106.5	84.7	-179.3	21.9	23.7	23.1	21.9	17.2	10.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	27/02/2015	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	263.9	252.7	239.4	26.1	18.0	16.2	15.8	15.6	16.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/09/2015	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	241.4	138.4	45.2	-	26.0	22.6	20.7	19.7	9.5
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	20/04/2016	10.0	2.7	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	284.1	282.5	197.9	20.0	24.0	19.6	18.4	17.8	11.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	06/09/2016	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	300.8	302.8	290.2	23.0	22.0	22.0	21.1	18.8	7.0

DLSAN2315	Presa El Potosino 1	22/03/2017	10.0	2.5	0.010	0.003	0.010	0.001	0.001	0.005	268.0	258.0	222.3	25.0	25.0	19.4	18.5	18.0	8.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/08/2017	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	162.4	101.6	-31.3	26.6	25.0	23.4	21.7	20.5	11.5
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	02/05/2018	10.5	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	107.5	99.6	-	30.6	28.4	24.0	23.8	-	3.4
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	24/07/2018	10.0	3.9	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	146.4	-20.8	-	20.0	28.2	23.6	22.5	-	4.8
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	19/12/2018	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.004	0.005	163.4	141.7	136.8	33.1	21.3	16.0	14.7	13.7	20.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	09/03/2019	10.0	2.5	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.012	210.5	200.3	192.0	26.0	30.0	21.0	20.1	18.9	20.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	07/10/2020	10.0	7.3	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	99.7	90.0	78.1	47.8	25.0	23.2	22.0	20.6	20.0
DLSAN2315	Presa El Potosino 1	04/10/2021	10.0	8.2	-	-	0.005	0.001	-	0.005	238.0	239.0	240.0	-	18.0	20.0	20.0	20.0	20.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	04/01/2013	50.0	26.0	0.051	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	234.0	234.0	-	134.3	-	-	-	-	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	25/04/2013	37.0	20.0	0.038	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	291.8	287.5	284.4	189.0	28.5	21.0	21.0	20.1	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	01/08/2013	21.5	15.0	0.029	0.003	0.019	0.001	0.013	0.010	71.6	-141.8	-121.7	70.4	29.7	23.1	20.6	19.8	-
DLSAN2314	Presa San Jose 1	11/04/2014	10.0	2.5	0.013	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	221.2	70.5	-2.6	27.5	19.0	18.3	18.0	16.6	13.5
DLSAN2314	Presa San Jose 1	19/08/2014	14.0	2.7	0.017	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	302.4	329.8	-151.7	55.6	27.4	24.8	21.6	20.4	5.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	17/03/2015	12.0	4.5	0.011	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	302.8	298.6	305.5	62.3	19.0	15.6	15.4	15.4	7.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/09/2015	11.0	7.9	0.015	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	165.2	66.1	-24.1	44.1	26.0	22.5	21.2	20.7	10.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	21/04/2016	10.0	12.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	232.6	234.5	166.9	59.6	26.0	19.9	18.4	17.0	15.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	07/09/2016	17.3	32.0	0.026	0.003	0.010	0.001	0.001	0.005	313.0	280.1	200.3	52.3	23.0	22.4	19.1	16.4	18.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	22/03/2017	27.5	74.0	0.039	0.003	0.005	0.001	0.001	0.032	327.6	303.0	284.4	68.7	24.0	15.7	15.5	15.2	7.0
DLSAN2314	Presa San Jose 1	05/10/2021	10.0	5.4	-	-	0.005	0.001	-	0.005	132.0	134.0	135.0	-	25.0	22.0	22.0	21.0	8.5
DLSAN2320	Presa San Jose 2	04/01/2013	52.0	25.0	0.053	0.003	0.005	0.001	0.008	0.015	235.0	237.0	-	146.7	-	-	-	-	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	25/04/2013	48.0	14.5	0.041	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	291.8	-	-	157.5	28.5	20.9	-	-	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	01/08/2013	21.0	15.0	0.022	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	107.1	-136.3	-104.7	80.8	30.6	24.3	21.6	19.7	-
DLSAN2320	Presa San Jose 2	07/04/2014	10.0	25.0	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	232.7	246.8	189.1	70.8	25.0	19.7	18.5	16.7	13.0
DLSAN2320	Presa San Jose 2	19/08/2014	12.0	2.7	0.017	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	301.1	330.1	-151.1	58.6	25.7	24.8	21.5	20.5	12.0
DLSAN2320	Presa San Jose 2	17/03/2015	12.0	4.9	0.010	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	211.6	203.0	203.4	61.4	19.0	15.6	15.4	15.2	9.6
DLSAN2320	Presa San Jose 2	21/09/2015	10.0	7.7	0.016	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	319.6	360.2	-	48.0	25.0	22.1	21.7	-	4.5
DLSAN2320	Presa San Jose 2	21/04/2016	21.0	15.0	0.012	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	251.2	280.5	174.1	57.6	25.0	19.8	19.0	17.9	10.0
DLSAN2320	Presa San Jose 2	07/09/2016	15.0	33.0	0.024	0.003	0.005	0.001	0.001	0.005	355.0	347.4	321.7	52.3	20.0	21.8	19.6	17.5	12.0
DLSAN2320	Presa San Jose 2	22/03/2017	23.0	56.0	0.037	0.003	0.005	0.001	0.001	0.031	318.5	290.1	-	68.7	25.0	20.8	19.8	-	4.5

Tablas A2.2. Valores promedio en el período 2013-2021 de los parámetros reportados para las estaciones de monitoreo DLSAN de la subcuenca hidrográfica de la presa San José. Construida a partir de datos reportados por CONAGUA (2021a).

Estación de monitoreo	2318 (n=15)	2317 (n=16)	2316 (n=15)	2315 (n=16)	2314 (n=11)	2020 (n=10)
Parámetro						
<i>De campo</i>						
Temp _{ambiente} (°C)	22 ± 4	22 ± 4	24 ± 4	25 ± 3	25 ± 3	25 ± 3
Temp agua superficial (°C)	20 ± 3	19 ± 3	22 ± 3	21 ± 2	20 ± 3	20 ± 3
Temp agua media (°C)	20 ± 2	19 ± 3	21 ± 3	20 ± 2	19 ± 2	20 ± 2
Temp agua de fondo (°C)	19 ± 2	18 ± 3	19 ± 2	18 ± 2	18 ± 2	18 ± 2
Turbiedad (UNT)	15 ± 8	17 ± 13	7 ± 12	6 ± 9	18 ± 20	20 ± 15
Transparencia DS (m)	0.5 ± 1	0.6 ± 4	1.2 ± 3	1.5 ± 6	1 ± 4	1 ± 3
CE superficial (µS/cm)	114 ± 26	110 ± 27	123 ± 107	120 ± 105	271 ± 167	287 ± 171
CE agua media (µS/cm)	125 ± 40	104 ± 19	86 ± 15	116 ± 106	263 ± 169	231 ± 102
CE de fondo (µS/cm)	141 ± 49	101 ± 24	80 ± 16	117 ± 114	231 ± 162	184 ± 17
pH superficie (UpH)	7.7 ± 0.5	7.6 ± 0.6	7.4 ± 0.4	7.4 ± 0.5	7.2 ± 0.4	7.4 ± 0.2
pH agua media (UpH)	7.4 ± 0.2	7.4 ± 1.0	7.2 ± 0.4	7.2 ± 0.5	7.3 ± 0.4	7.3 ± 0.3
pH de fondo (UpH)	6.6 ± 0.0	7.2 ± 0.4	7.3 ± 0.3	7.0 ± 0.4	7.0 ± 0.3	7.1 ± 0.1
OD superficial (mg/L)	7 ± 2	7 ± 2	7 ± 1	6 ± 1	7 ± 1	7 ± 1
OD agua media (mg/L)	6 ± 1	5 ± 2	6 ± 1	5 ± 1	5 ± 2	6 ± 1
OD fondo (mg/L)	7 ± 0	4 ± 2	4 ± 2	4 ± 2	5 ± 2	4 ± 2
OD agua media (% de saturación)	92 ± 36	71 ± 30	81 ± 27	72 ± 21	72 ± 30	83 ± 18
SST (mg/L)	26 ± 13	18 ± 8	21 ± 30	14 ± 15	20 ± 13	22 ± 14
SDT (mg/L)	73 ± 17	71 ± 17	79 ± 69	77 ± 67	173 ± 107	183 ± 109
ORP superficie (mV)	171 ± 74	150 ± 84	211 ± 86	188 ± 81	236 ± 79	262 ± 68
ORP agua media (mV)	172 ± 101	117 ± 122	209 ± 80	155 ± 94	191 ± 138	240 ± 142
ORP fondo (mV)	113 ± 90	68 ± 126	170 ± 95	127 ± 125	108 ± 162	105 ± 172

Profundidad (m)	0.5 ± 1.0	0.6 ± 4.0	1.2 ± 3.0	1.5 ± 6.0	1.0 ± 4.0	0.9 ± 3.0
Inorgánicos						
Color verdadero (U Pt/Co)	45 ± 25	42 ± 20	36 ± 25	34 ± 24	105 ± 169	126 ± 179
Pb total (mg/L)	0.006 ± 0.003	0.006 ± 0.003	0.006 ± 0.003	0.006 ± 0.004	0.008 ± 0.010	0.009 ± 0.010
Hg total (mg/L)	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000
Ni total (mg/L)	0.002 ± 0.003	0.001 ± 0.001	0.001 ± 0.002	0.001 ± 0.002	0.002 ± 0.004	0.001 ± 0.002
Cd total (mg/L)	0.003 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.003 ± 0.000
As total (mg/L)	0.010 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.010 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.020 ± 0.010	0.020 ± 0.010
Cr total (mg/L)	0.001 ± 0.003	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.004	0.005 ± 0.000
Absorción UV (U Abs/cm)	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
Biológicos						
E. Coli (NMP/100 mL)	41 ± 83	32 ± 66	957 ± 3,522	15 ± 27	23 ± 32	12 ± 13
CF (NMP/100 mL)	2,504 ± 5,887	2074 ± 5,775	14,311 ± 3,819	363 ± 722	811 ± 2,051	878 ± 2,137
Orgánicos						
DQO total (mg/L)	384 ± 1,276	42 ± 17	61 ± 94	35 ± 23	46 ± 31	40 ± 19
DQO soluble (mg/L)	18 ± 12	18 ± 12	44 ± 91	19 ± 15	29 ± 21	24 ± 17
DBO total (mg/L)	6 ± 5	4 ± 2	3 ± 3	3 ± 2	5 ± 5	4 ± 3
DBO soluble (mg/L)	3 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	3 ± 2	3 ± 1
COT (mg/L)	12 ± 3	11 ± 3	13 ± 6	13 ± 4	11 ± 4	11 ± 3
COT soluble (mg/L)	11 ± 3	9 ± 3	11 ± 3	11 ± 3	9 ± 4	9 ± 3
Dureza total (mg/L)	36 ± 10	34 ± 8	50 ± 62	42 ± 47	76 ± 46	80 ± 37
Nutrientes						
P reactivo total (mg/L)	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.004	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.03	0.02 ± 0.02
PT (mg/L)	0.09 ± 0.05	0.07 ± 0.03	0.06 ± 0.06	0.06 ± 0.05	0.13 ± 0.07	0.13 ± 0.07
Chl (mg/m ³)	43 ± 59	21 ± 20	11 ± 31	8 ± 21	23 ± 27	33 ± 27
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.1 ± 0.04	54.0 ± 210.0	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1

NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
NH ₃ (mg/L)	0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.4	0.2 ± 0.3	0.3 ± 0.4	0.4 ± 0.4	0.4 ± 0.4
N orgánico (mg/L)	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.4	0.8 ± 1	0.8 ± 1	1.1 ± 0.5	1.0 ± 0.4
N total Kjeldahl (mg/L)	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1
NT (mg/L)	1.5 ± 1.0	1.5 ± 0.5	1.1 ± 1.0	1.3 ± 1.0	1.7 ± 1.0	1.4 ± 1.0
Tóxicos						
Toxicidad Daphnia magna, 48 h (UT)	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0
Toxicidad Vibrio fischeri 15min (UT)	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0

Anexo 3

Códigos ingresados a Rstudio y diagramas de cajas y bigotes

```
#CLOROFILA
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
View(Datos)
summary(Datos)
boxplot(Datos$CLOROF_A ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Chl (mg/m3) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5, #cex tamaño símbolo, cex.axis tamaño eje,
cex.lab tamaño etiqueta
lty = 1)
```

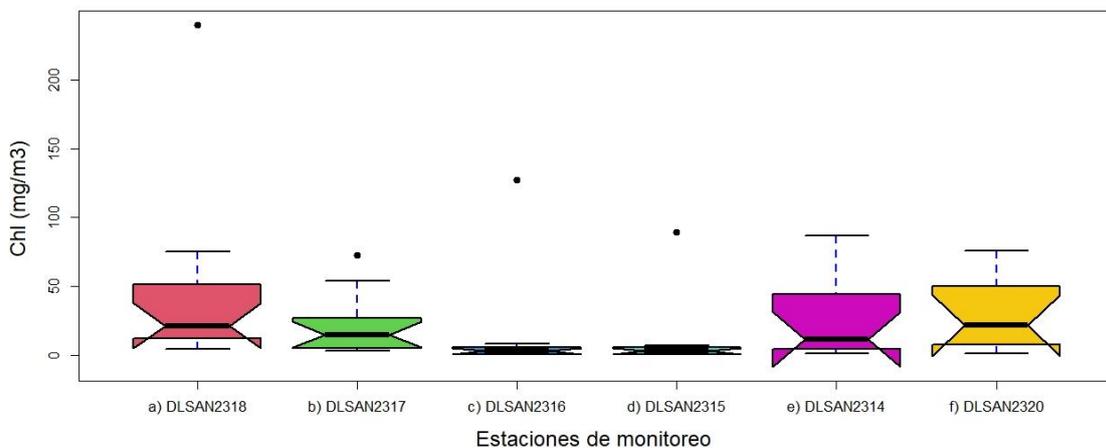


Figura A3.1. Diagramas de cajas para clorofila (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#COLIFORMES FECALES

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$COLI_FEC ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "CF (NMP/100 mL) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
```

```
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

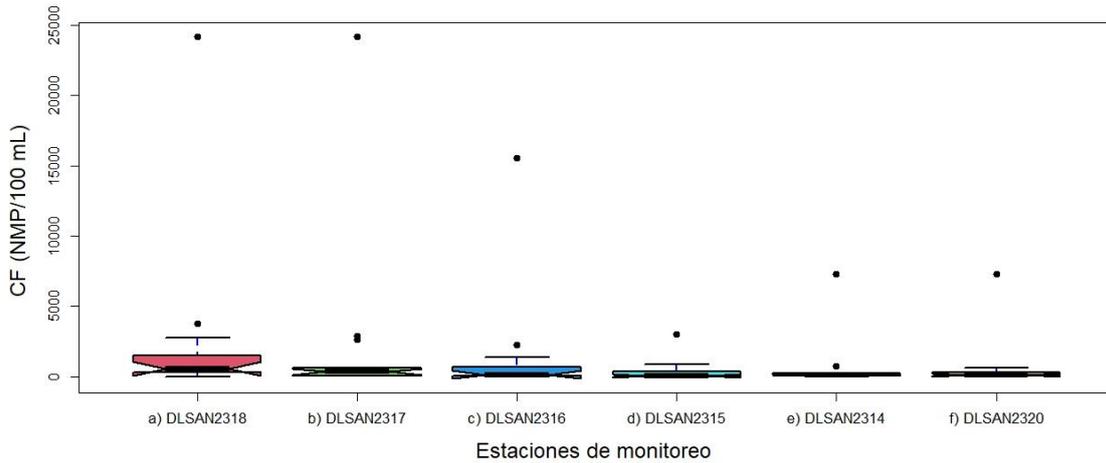


Figura A3.2. Diagramas de cajas para coliformes fecales (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a)..

```
#ESCHERICHIA COLI
```

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```
boxplot(Datos$E_COLI ~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```
lwd = 2,
```

```
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
```

```
ylab = "E. coli (NMP/100 mL) ",
```

```
col = 2:8,
```

```
notch = TRUE,
```

```
border = "black",
```

```
outpch = 20,
```

```
outbg = "blue",
```

```
whiskcol = "blue",
```

```
whisklty = 2,
```

```
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
```

```
lty = 1)
```

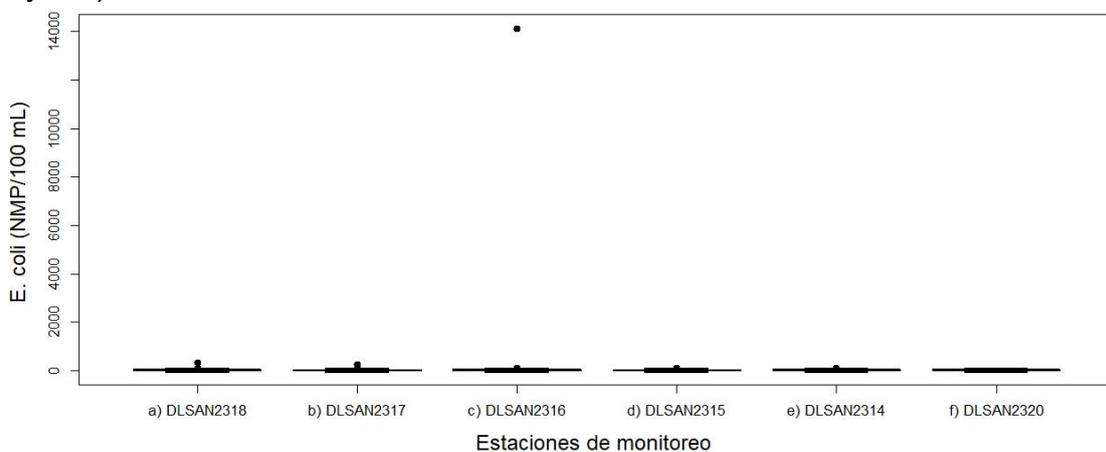


Figura A3.3. Diagramas de cajas para E. coli (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CARBONO ORGÁNICO TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$COT ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "COT (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

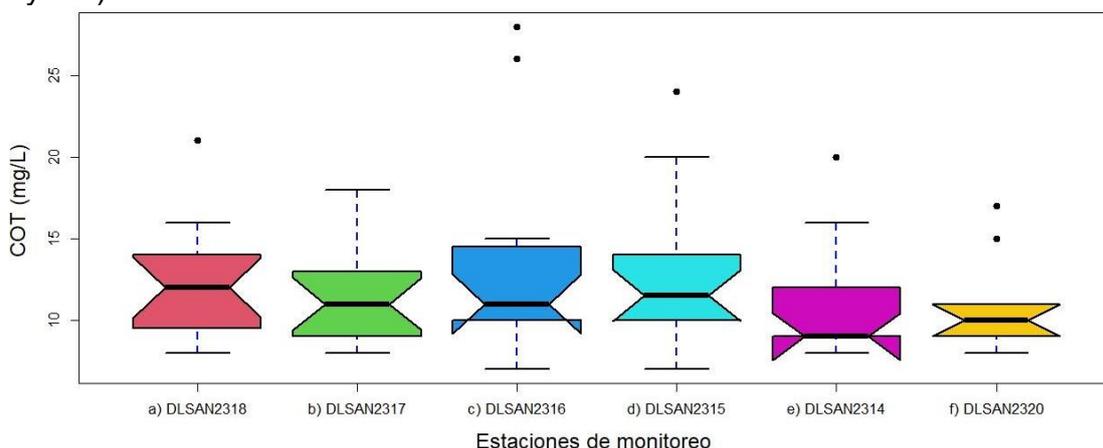


Figura A3.4. Diagramas de cajas para carbón orgánico total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CARBONO ORGÁNICO SOLUBLE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$COT_SOL ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Carbón orgánico soluble (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

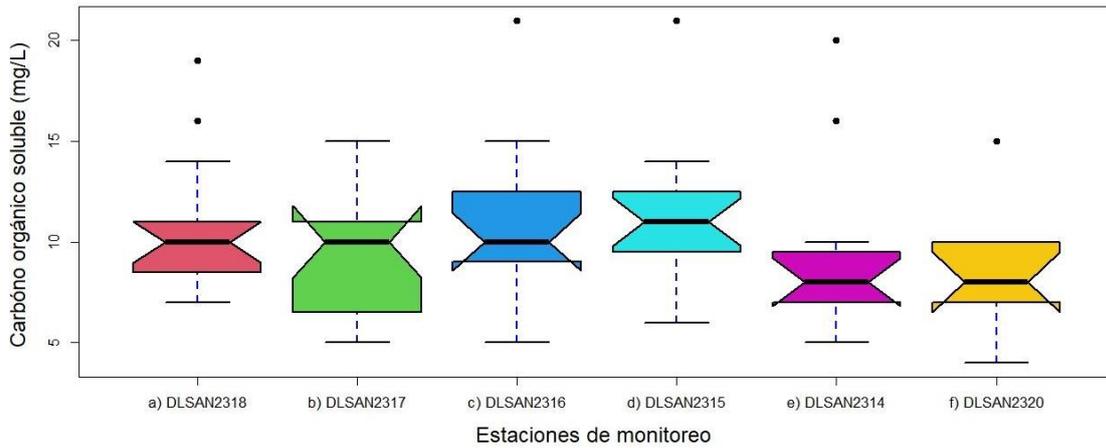


Figura A3.5. Diagramas de cajas para carbón orgánico soluble (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#DBO SOLUBLE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$DBO_SOL ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "DBO soluble (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",      outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

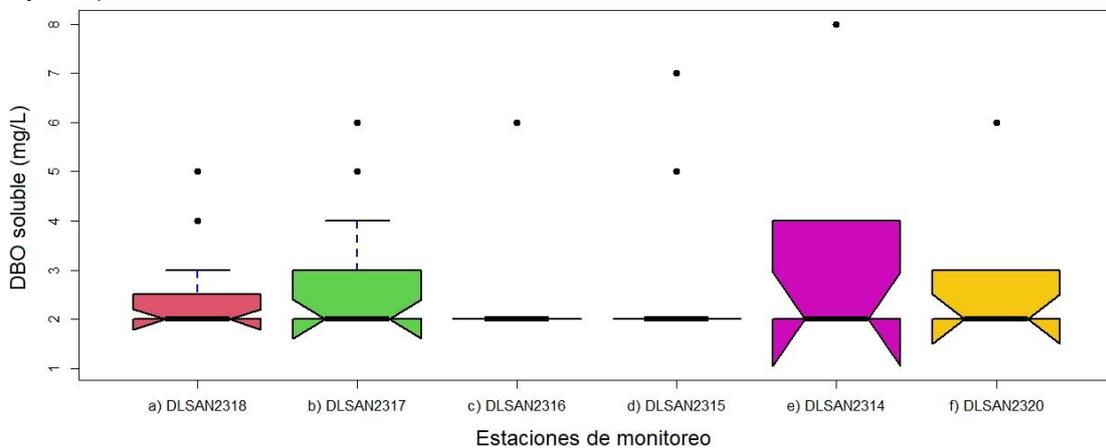


Figura A3.6. Diagramas de cajas para demanda bioquímica de oxígeno soluble (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$DBO_TOT ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
```

```

xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "DBO total (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE, # Añade intervalos de confianza al 95% para la mediana
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

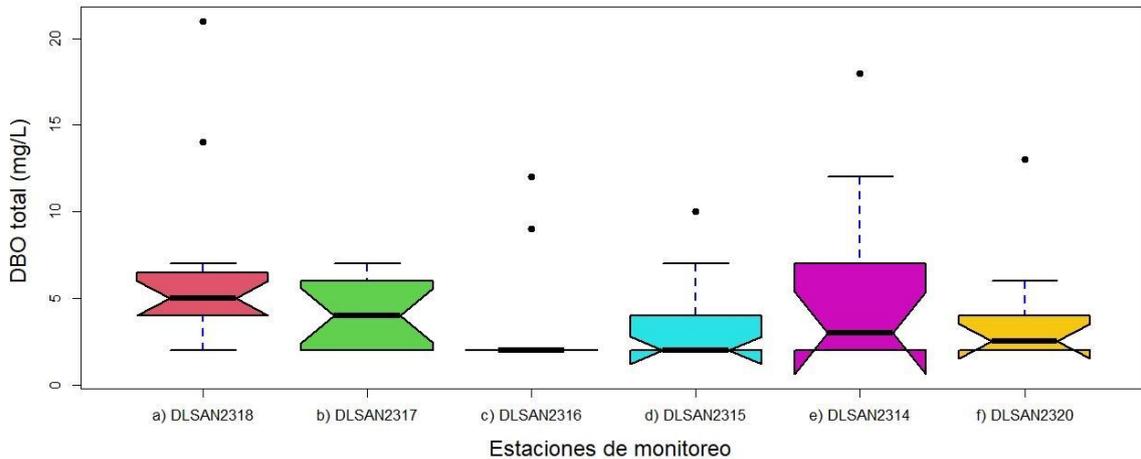


Figura A3.7. Diagramas de cajas para demanda bioquímica de oxígeno total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```

#DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$DQO_SOL ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "DQO soluble (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

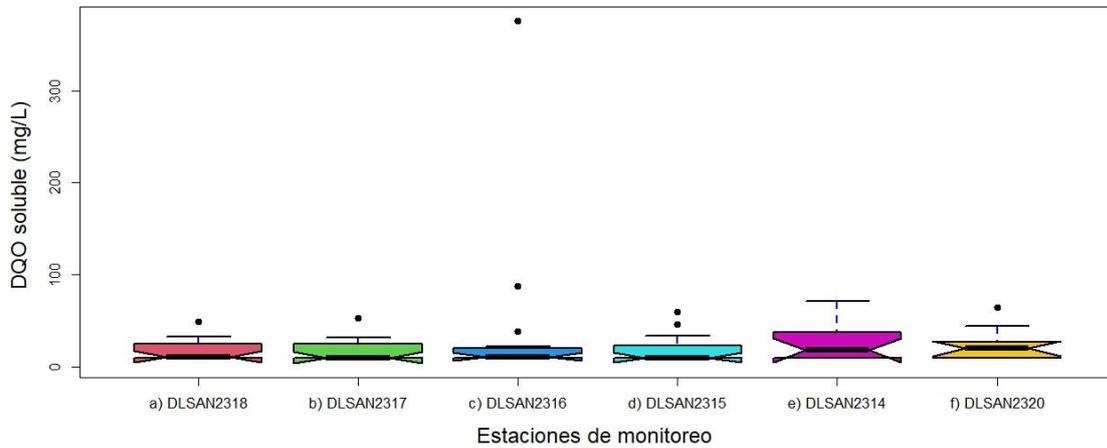


Figura A3.8. Diagramas de cajas para demanda química de oxígeno soluble (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$DQO_TOT ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "DQO total (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

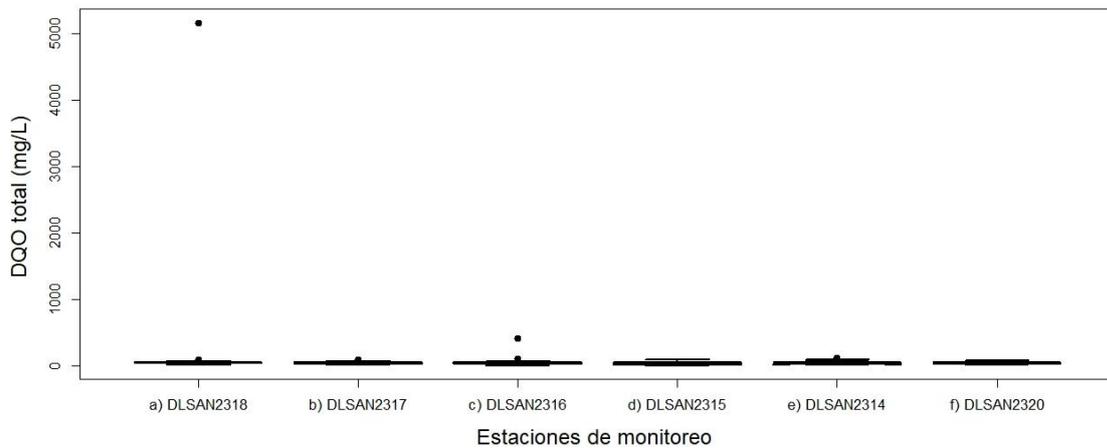


Figura A3.9. Diagramas de cajas para demanda química de oxígeno total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NITRÓGENO AMONIACAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$N_NH3 ~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "NH3 (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

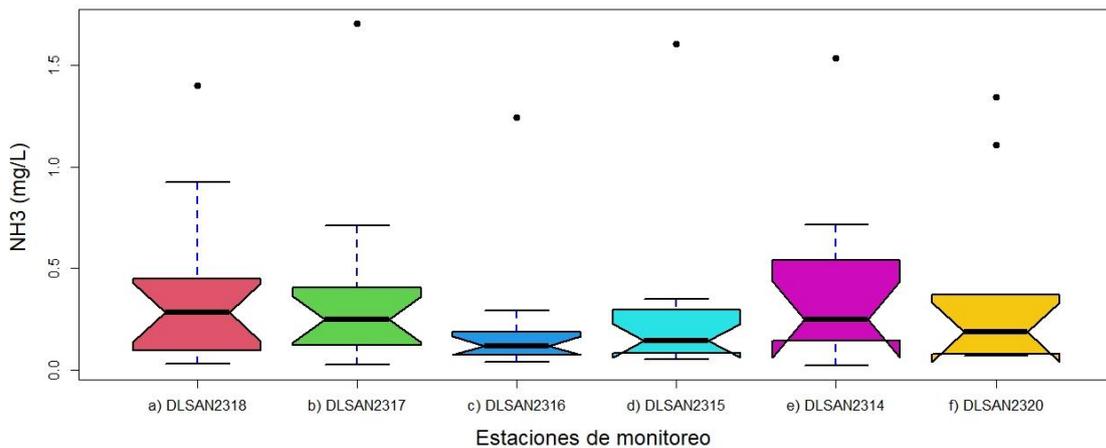


Figura A3.10. Diagramas de cajas para nitrógeno amoniacal (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NITRÓGENO DE NITRITOS

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$N_NO2 ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "NO2 (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

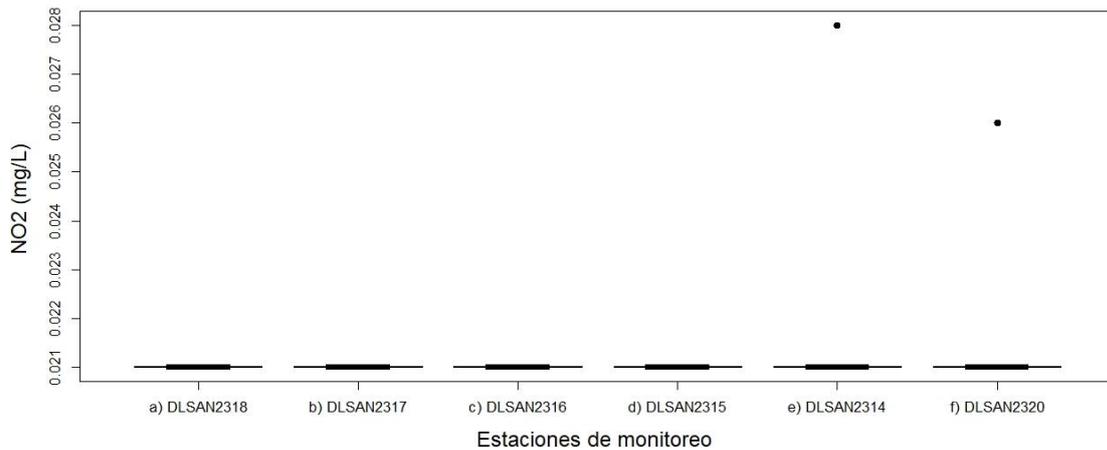


Figura A3.11. Diagramas de cajas para nitrógeno de nitritos (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NITRÓGENO DE NITRATOS

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$N_NO3 ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "NO3 (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

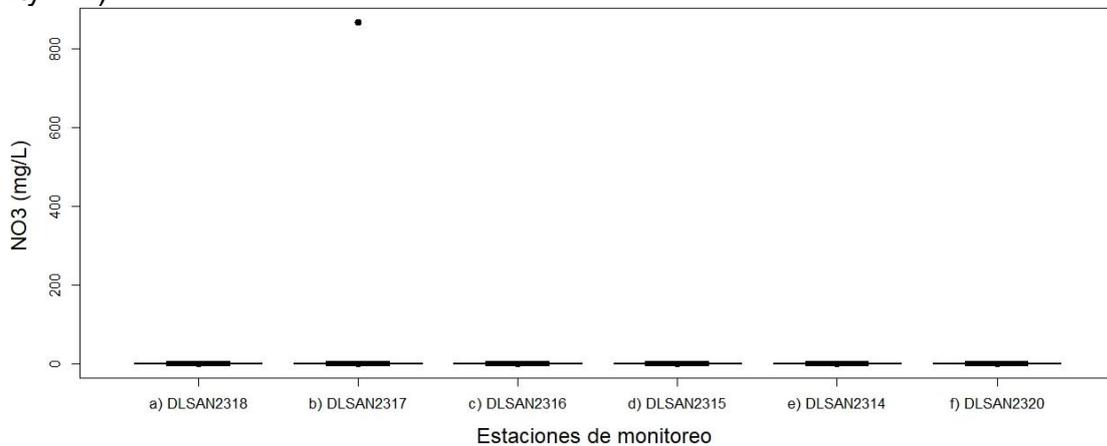


Figura A3.12. Diagramas de cajas para nitrógeno de nitratos (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NITRÓGENO ORGÁNICO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$N_ORG ~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "N orgánico (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

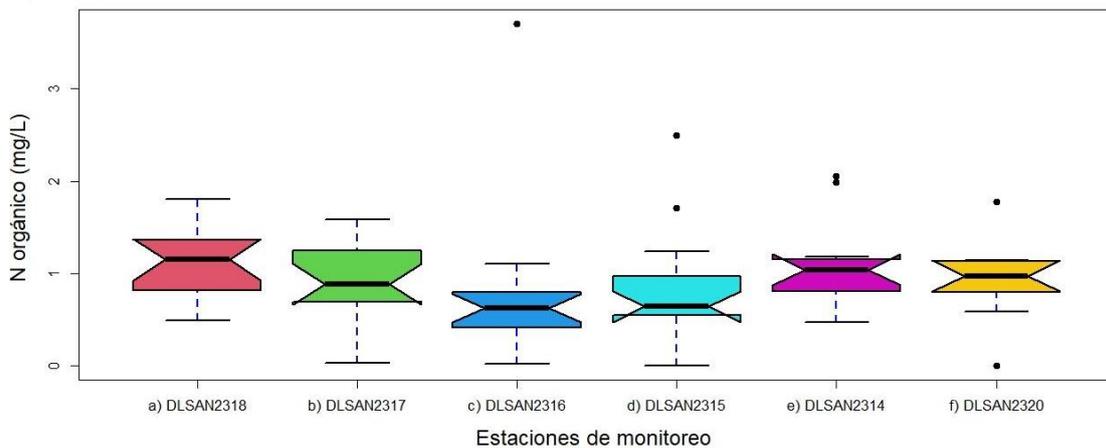


Figura A3.13. Diagramas de cajas para nitrógeno orgánico (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NITRÓGENO TOTAL

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$N_TOT ~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "NT (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

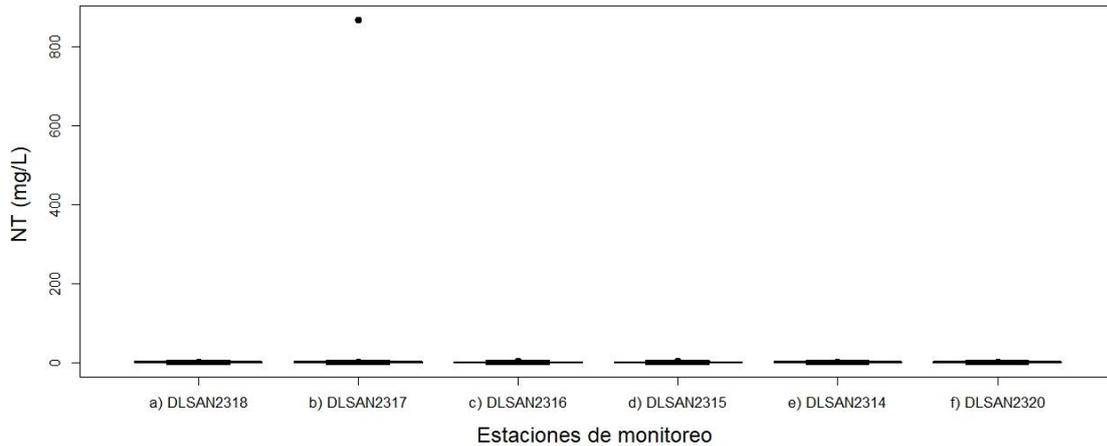


Figura A3.14. Diagramas de cajas para nitrógeno total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```
#NITRÓGENO KJELDAHL
```

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```
boxplot(Datos$N_TOTK ~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```
lwd = 2,
```

```
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
```

```
ylab = "N kjeldahi (mg/L) ",
```

```
col = 2:8,
```

```
notch = TRUE,
```

```
border = "black",
```

```
outpch = 20,
```

```
outbg = "blue",
```

```
whiskcol = "blue",
```

```
whisklty = 2,
```

```
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
```

```
lty = 1)
```

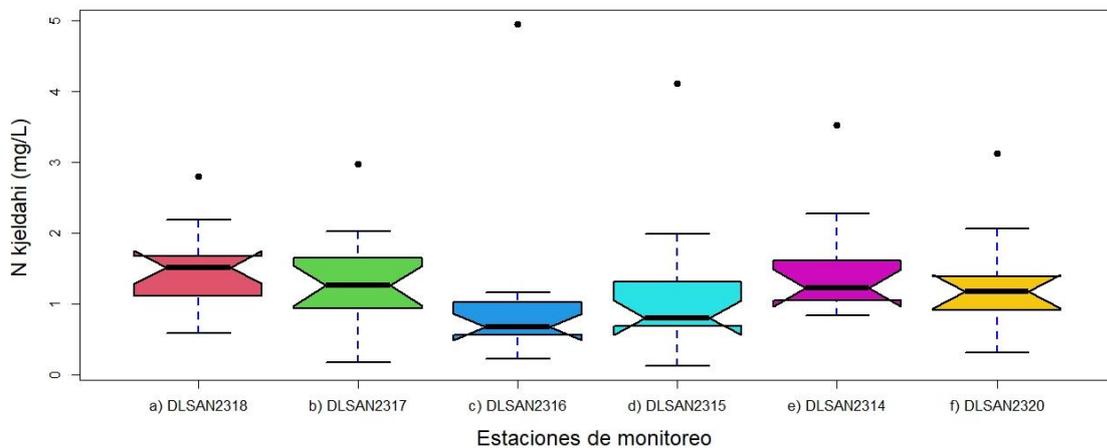


Figura A3.15. Diagramas de cajas para nitrógeno Kjeldahl (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```
#FÓSFORO TOTAL
```

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```
boxplot(Datos$P_TOT ~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "PT (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

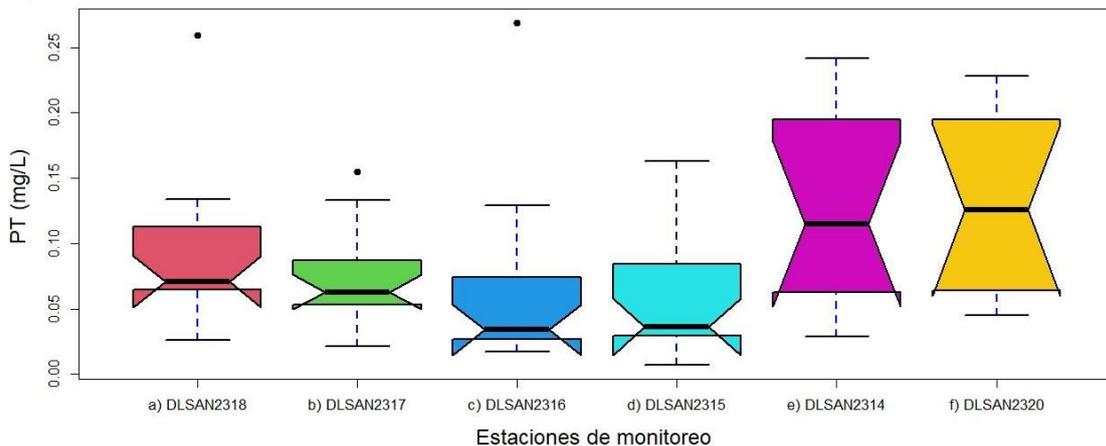


Figura A3.16. Diagramas de cajas para fósforo total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#FÓSFORO REACTIVO TOTAL

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$ORTO_PO4~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "P reactivo total (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,

```

lty = 1)

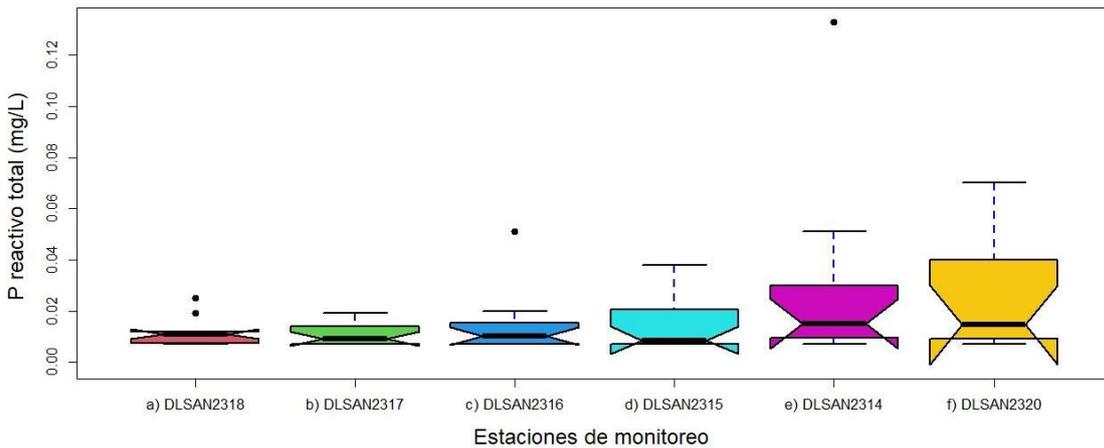


Figura A3.17. Diagramas de cajas para fósforo reactivo total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#COLOR VERDADERO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```
boxplot(Datos$COLOR_VER~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```
lwd = 2,
```

```
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
```

```
ylab = "Color verdadero (U Pt/Co) ",
```

```
col = 2:8,
```

```
notch = TRUE,
```

```
border = "black",
```

```
outpch = 20,
```

```
outbg = "blue", whiskcol = "blue",
```

```
whisklty = 2,
```

```
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
```

lty = 1)

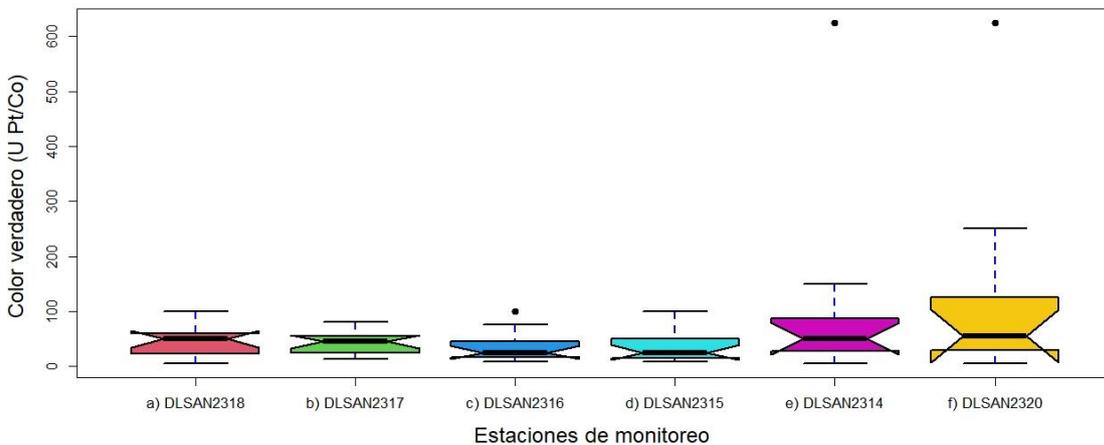


Figura A3.18. Diagramas de cajas para color verdadero (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#ABSORCIÓN UV

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```
boxplot(Datos$ABS_UV~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Absorción UV (U Abs/cm) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

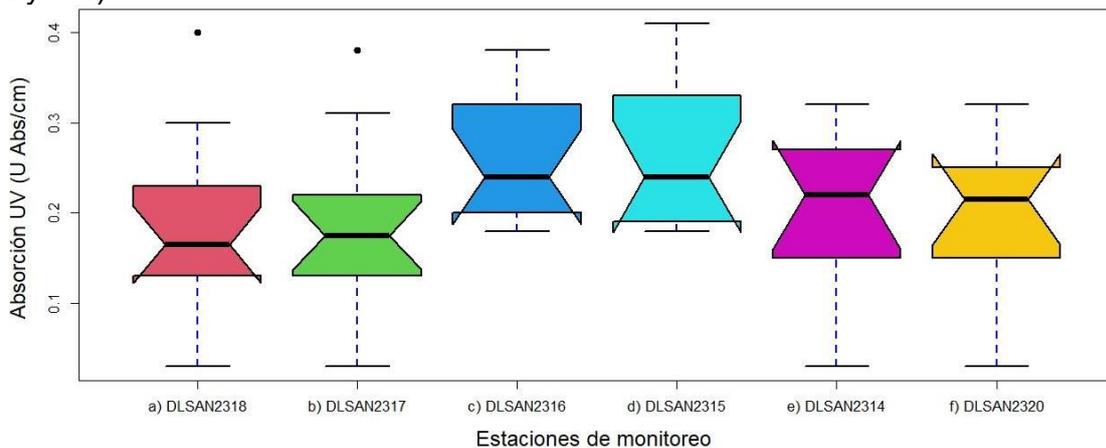


Figura A3.19. Diagramas de cajas para absorción UV (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$SDT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "SDT (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

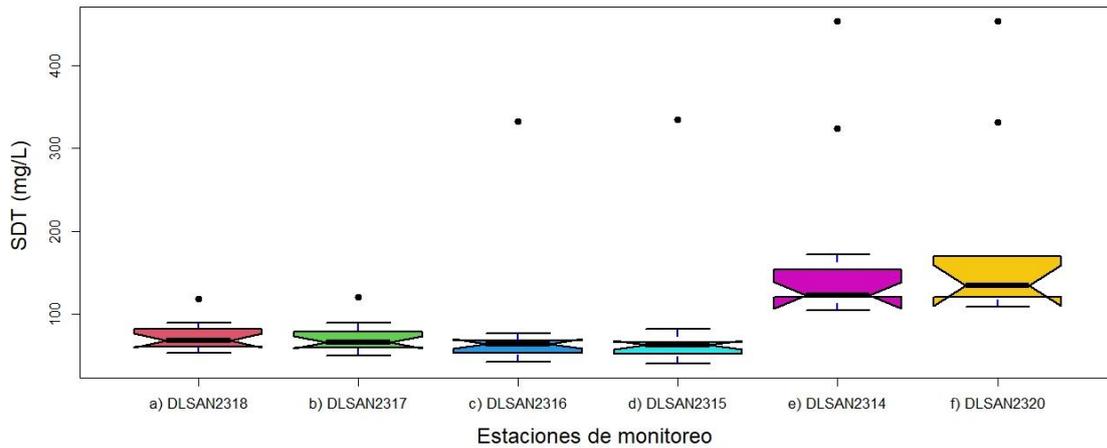


Figura A3.20. Diagramas de cajas para sólidos disueltos totales (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CONDUCTIVIDAD SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$CONDUCT_CAMPO_SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "CE de superficie (µS/cm) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

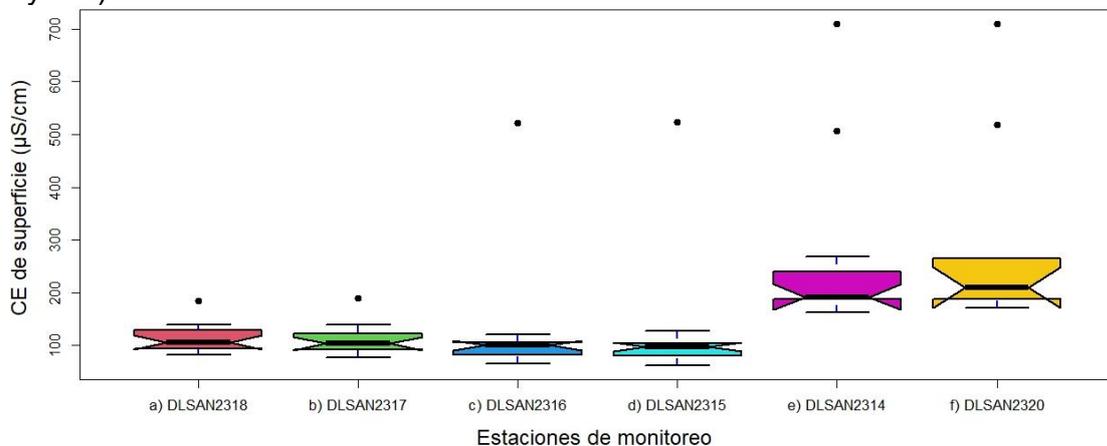


Figura A3.21. Diagramas de cajas para conductividad eléctrica de la superficie (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA MEDIA

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$CONDUCT_CAMPO_MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "CE media ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

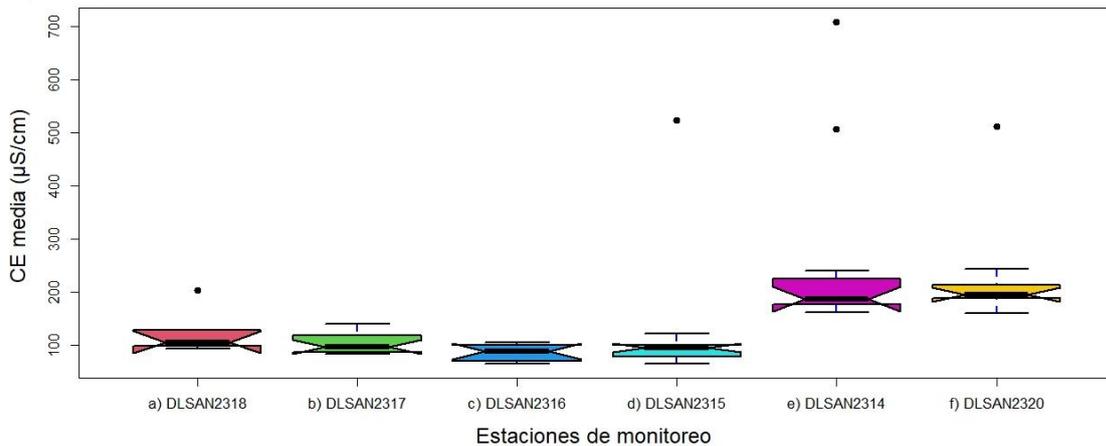


Figura A3.22. Diagramas de cajas para conductividad eléctrica media del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FONDO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$CONDUCT_CAMPO_FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "CE de fondo ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ",
col = 2:8,
  notch = TRUE, # Añade intervalos de confianza al 95% para la mediana
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

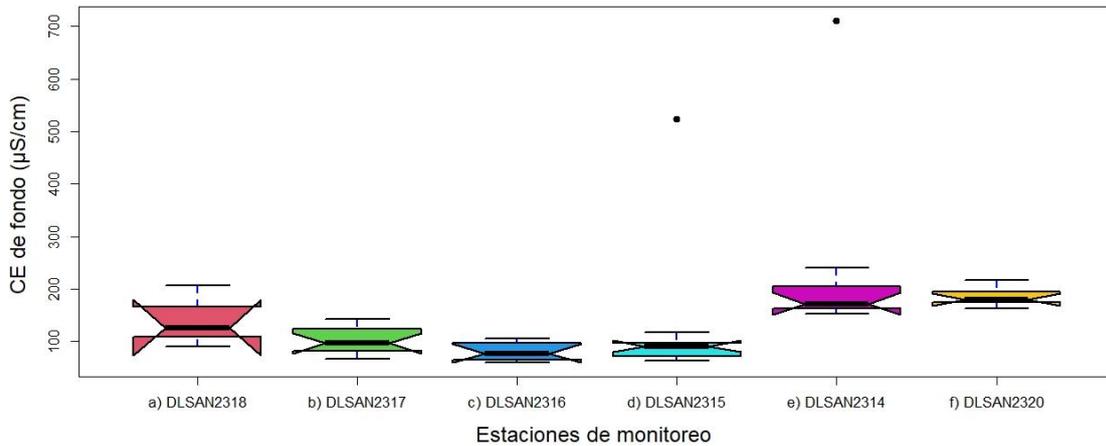


Figura A3.23. Diagramas de cajas para conductividad eléctrica de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#PH SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$pH_CAMPO_SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "pH de superficie (UpH) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

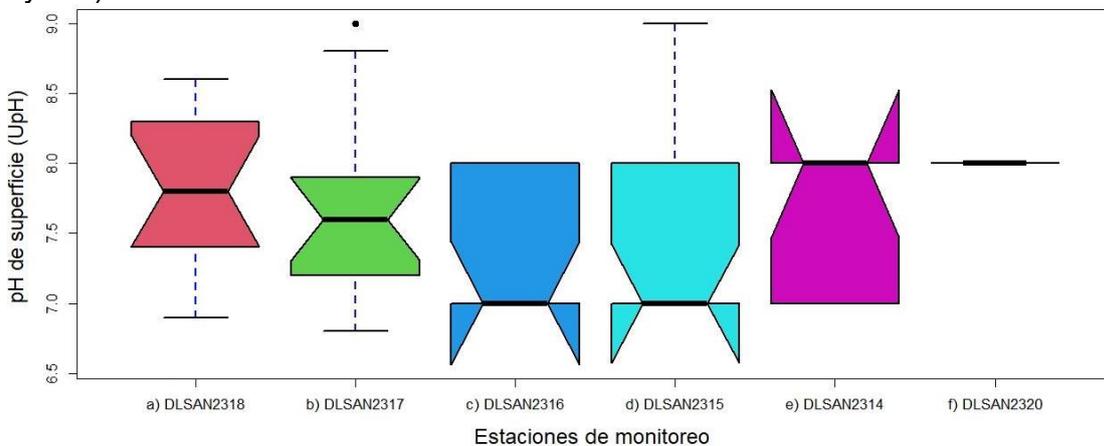


Figura A3.24. Diagramas de cajas para pH de la superficie (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#PH MEDIO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$pH_CAMPO_MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "pH medio (UpH) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

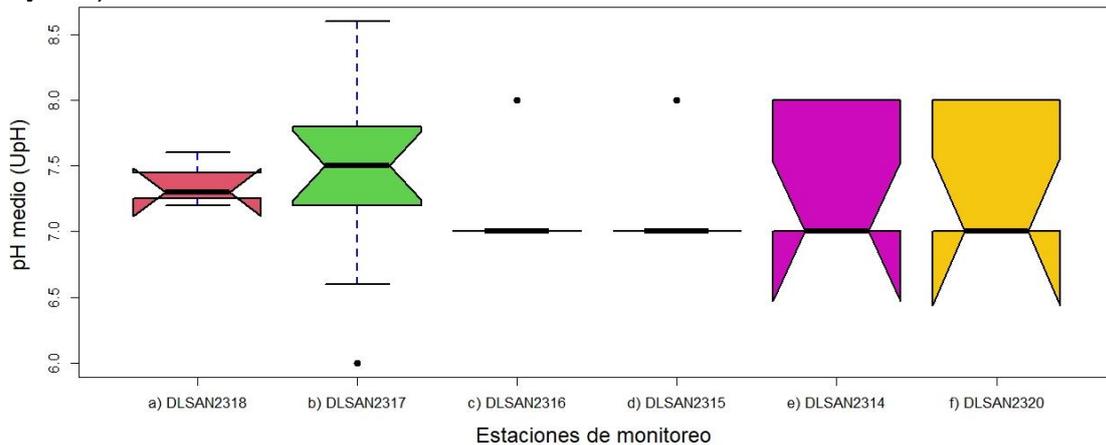


Figura A3.25. Diagramas de cajas para pH media del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#PH FONDO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$pH_CAMPO_FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "pH de fondo (UpH) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

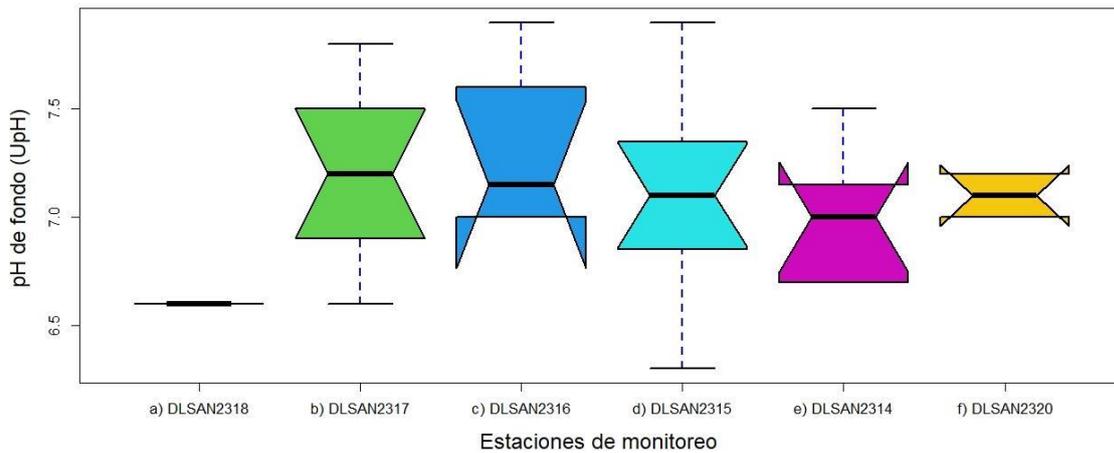


Figura A3.26. Diagramas de cajas para pH de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a)..

#OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD__SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD de superficie (% saturación) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

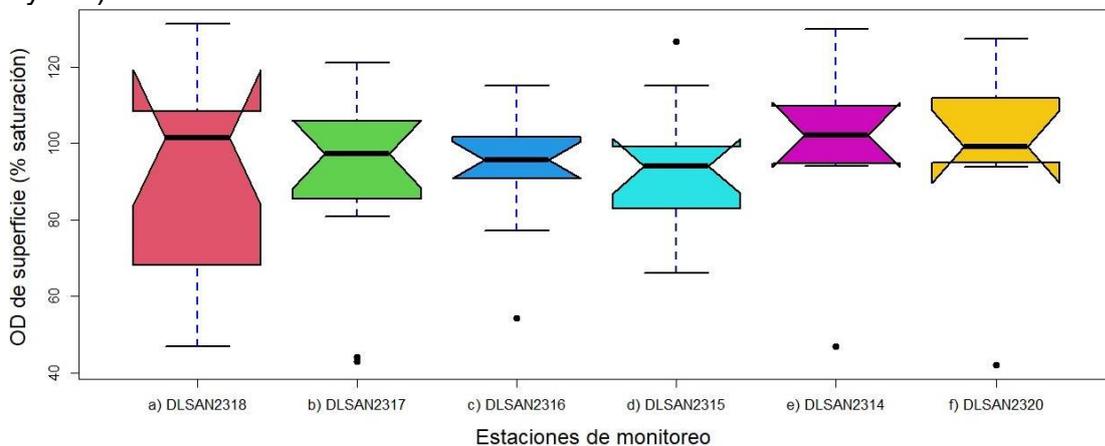


Figura A3.27. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto de la superficie (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#OXÍGENO DISUELTO MEDIA %

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD__MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD medio (% saturación) ",
col = 2:8,
notch = TRUE, #
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

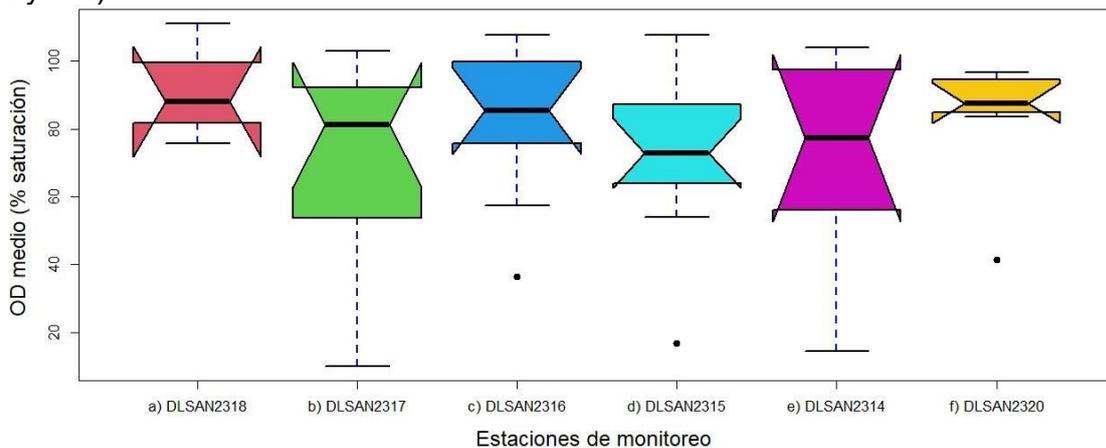


Figura A3.28. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto media del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#OXÍGENO DISUELTO FONDO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD_._FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD de fondo (% saturación) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

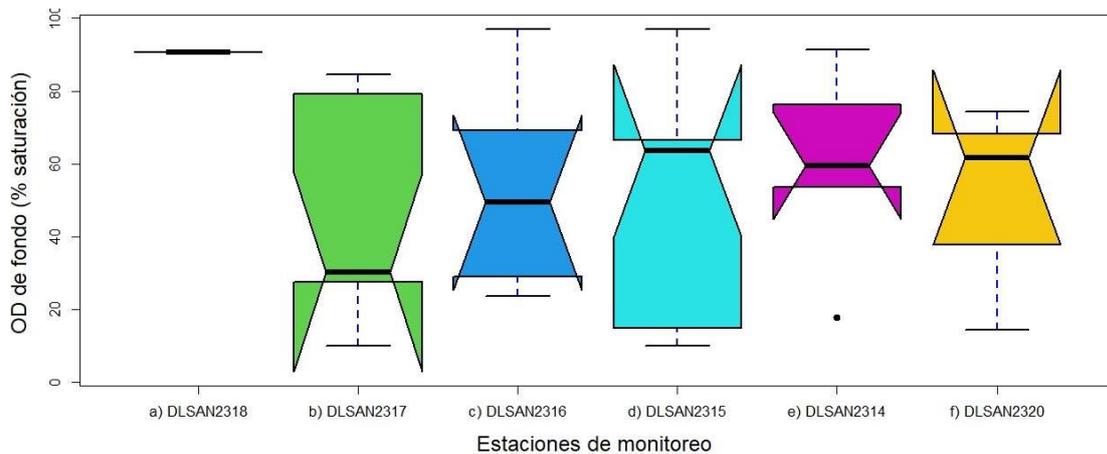


Figura A3.29. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD_mg.L_SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD de superficie (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

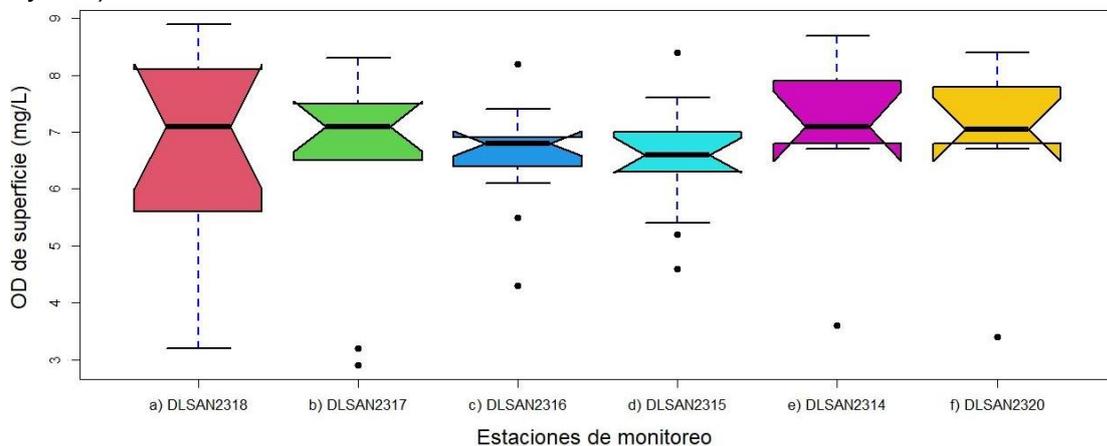


Figura A3.30. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto de la superficie (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#OXÍGENO DISUELTO MEDIO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD_mg.L_MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD medio (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

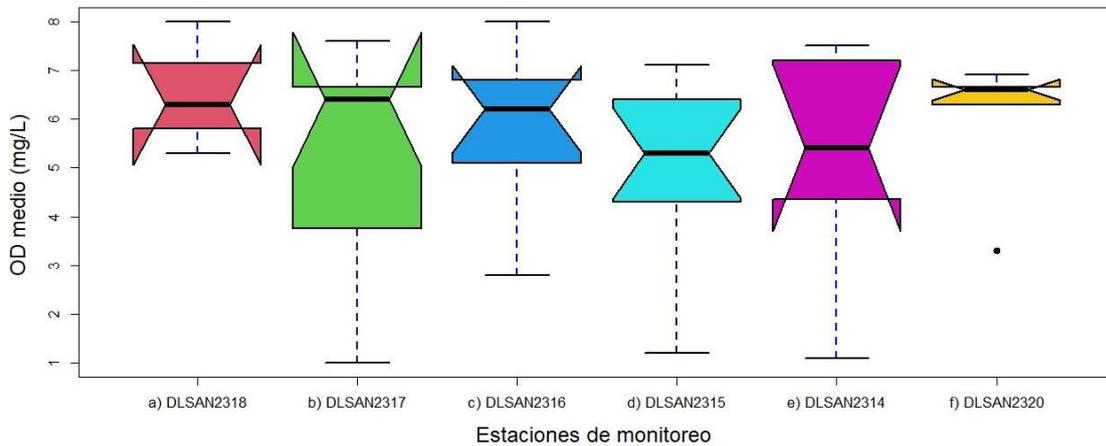


Figura A3.31. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto medio del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#OXÍGENO DISUELTO FONDO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$OD_mg.L_FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "OD de fondo (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

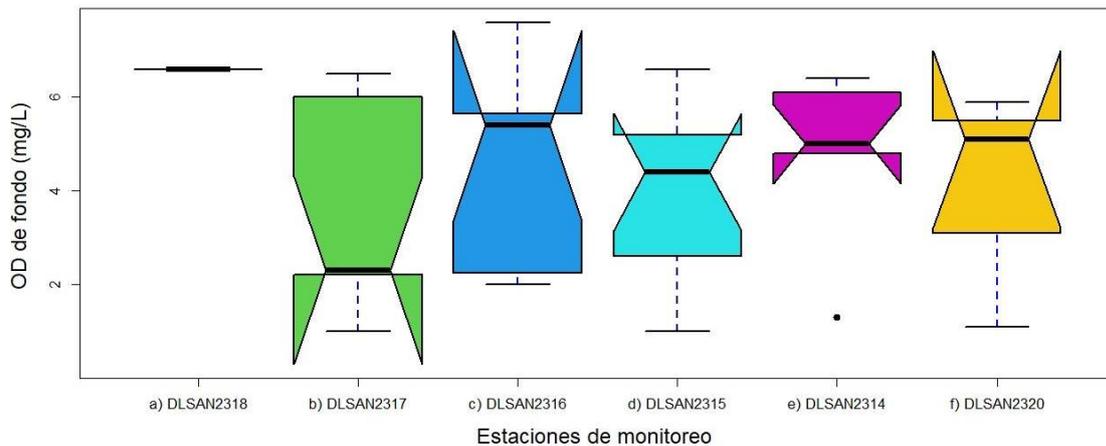


Figura A3.32. Diagramas de cajas para oxígeno disuelto de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$SST~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "SST (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

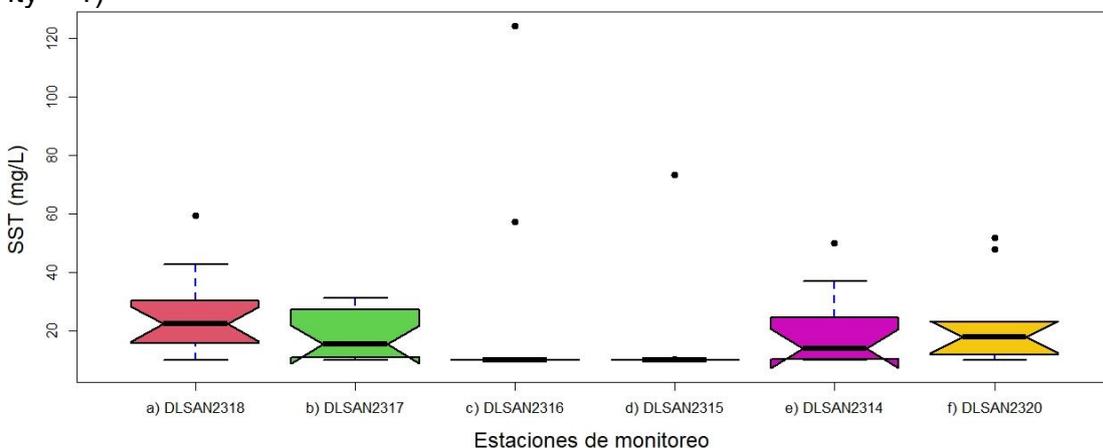


Figura A3.33. Diagramas de cajas para sólidos suspendidos totales (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#TURBIEDAD

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
```

```

boxplot(Datos$TURBIEDAD~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Turbiedad (UNT) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

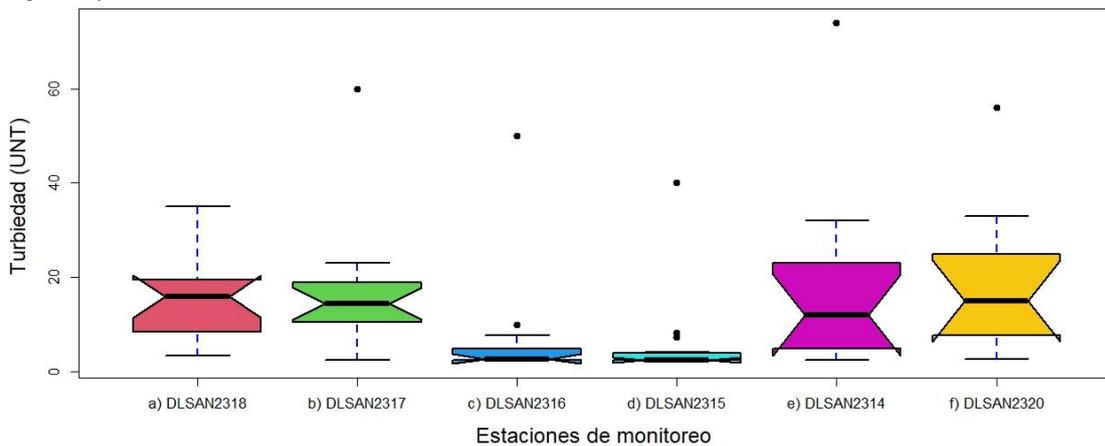


Figura A3.34. Diagramas de cajas para turbiedad (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```
#TRANSPARENCIA
```

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$TRANSPARENCIA~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Transparencia disco de Secchi (m) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

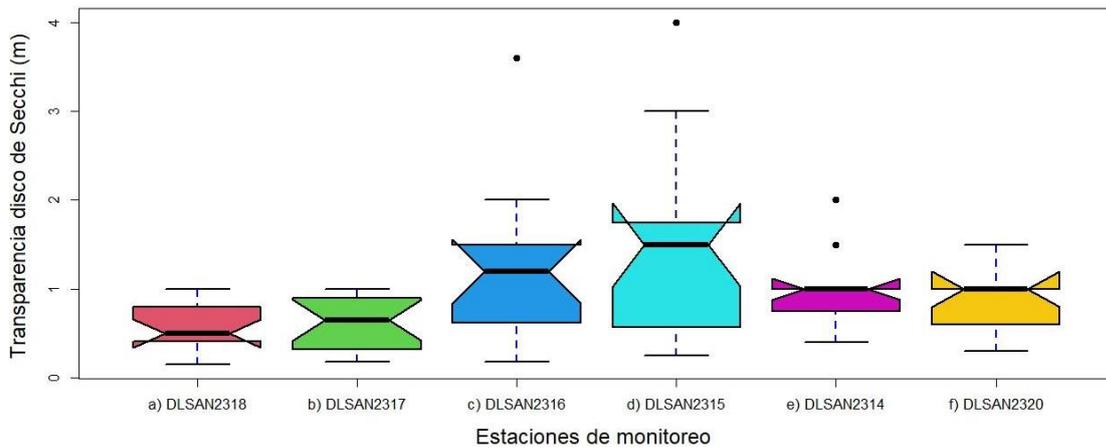


Figura A3.35. Diagramas de cajas para transparencia (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#ARSÉNICO TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$AS_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "As (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

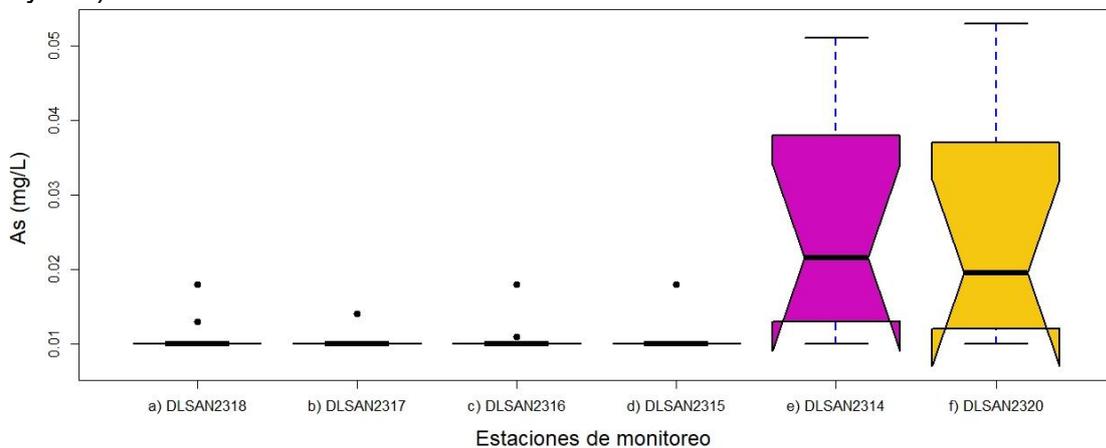


Figura A3.36. Diagramas de cajas para arsénico (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#MERCURIO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$HG_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Hg (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

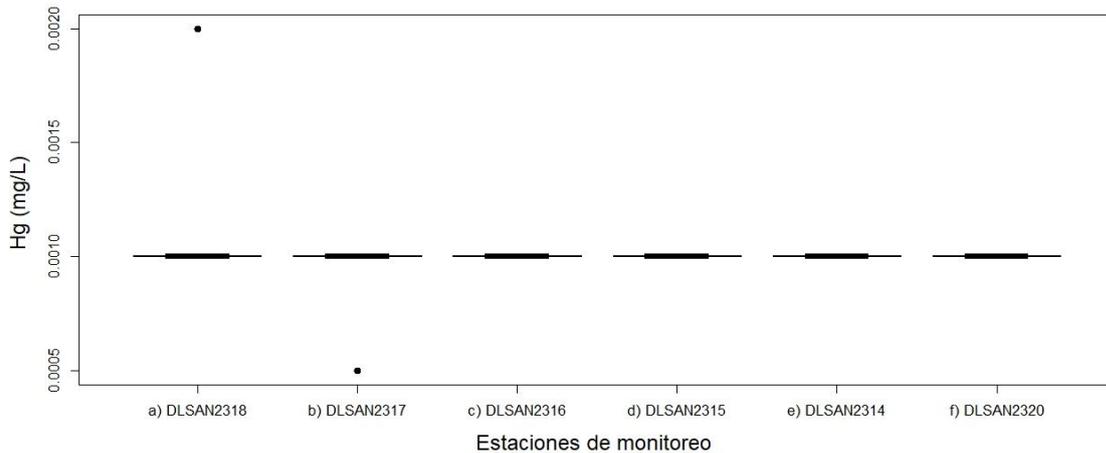


Figura A3.37. Diagramas de cajas para mercurio (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```

#CADMIO TOTAL
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$CD_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Cd (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

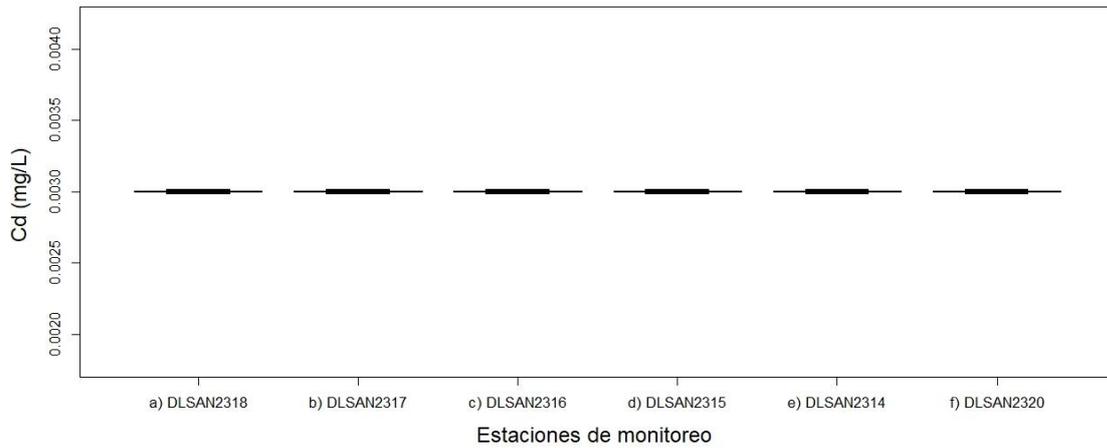


Figura A3.38. Diagramas de cajas para cadmio total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#CROMO TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$CR_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo",
ylab = "Cr (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

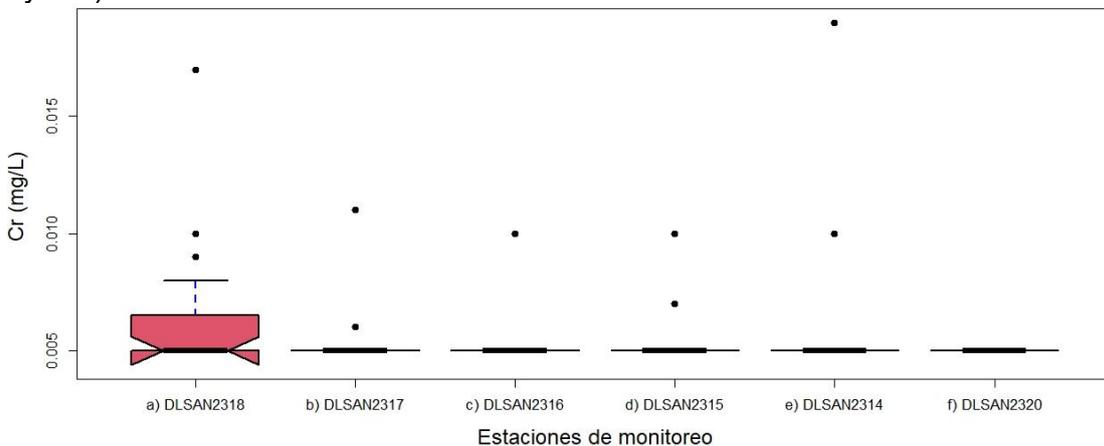


Figura A3.39. Diagramas de cajas para cromo total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#NÍQUEL TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$NI_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Ni (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

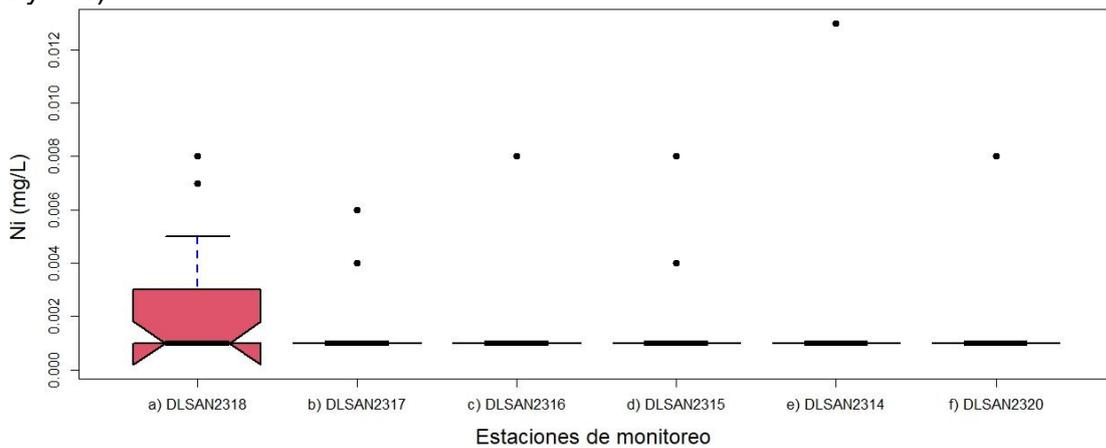


Figura A3.40. Diagramas de cajas para níquel total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

```

#PLOMO TOTAL
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$PB_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Pb (mg/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
  border = "black",
  outpch = 20,
  outbg = "blue",
  whiskcol = "blue",
  whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

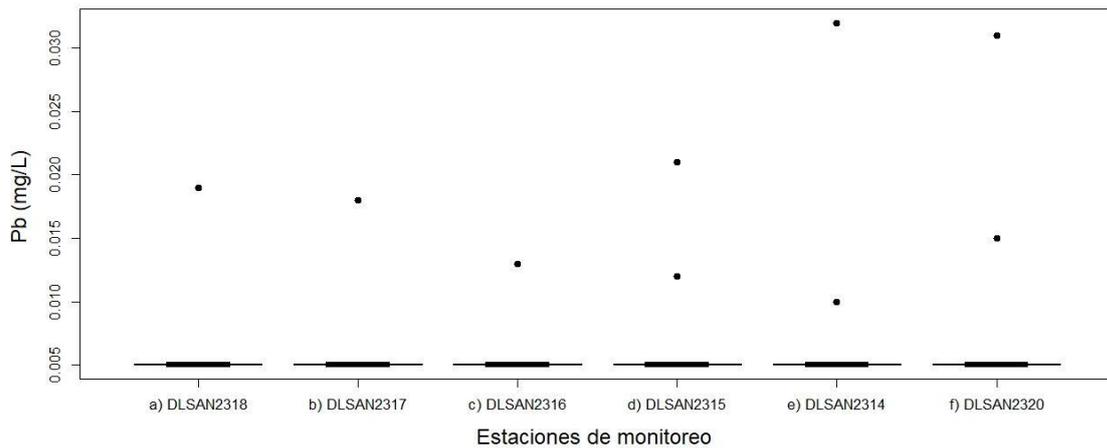


Figura A3.41. Diagramas de cajas para plomo total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#POTENCIAL REDOX SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$POT_REDOX_CAMPO_SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "ORP superficie (mV) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

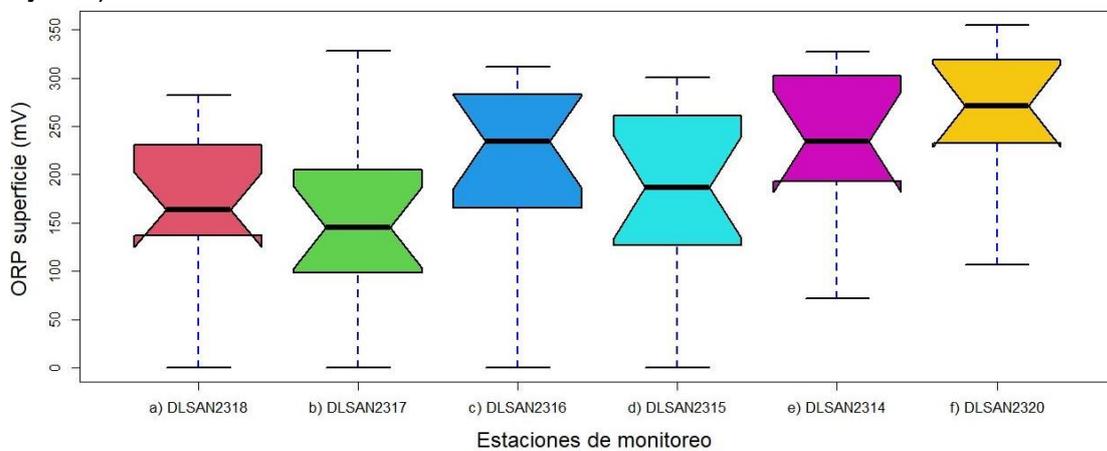


Figura A3.42. Diagramas de cajas para potencial óxido-reducción de la superficie (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#POTENCIAL REDOX MEDIO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$POT_REDOX_CAMPO_MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "ORP medio (mV) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

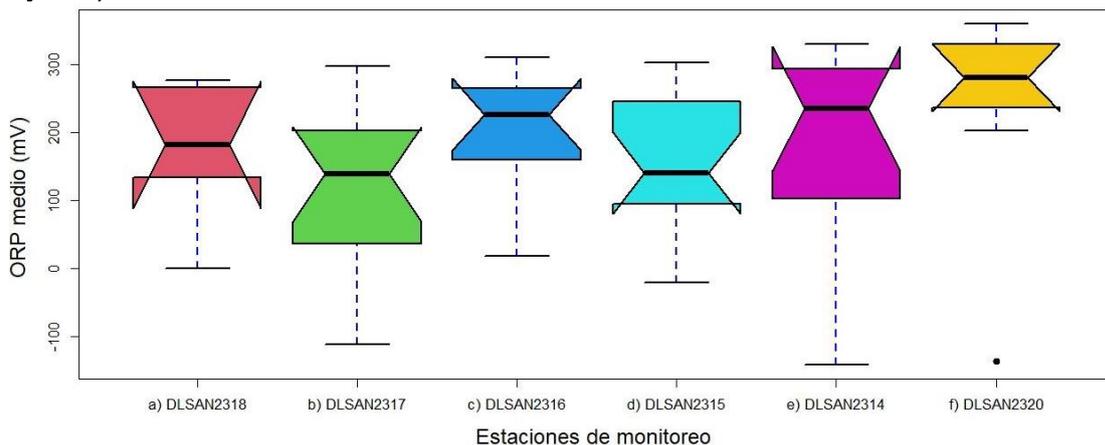


Figura A3.43. Diagramas de cajas para potencial óxido-reducción media del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#POTENCIAL REDOX FONDO

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$POT_REDOX_CAMPO_FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "ORP de fondo (mV) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

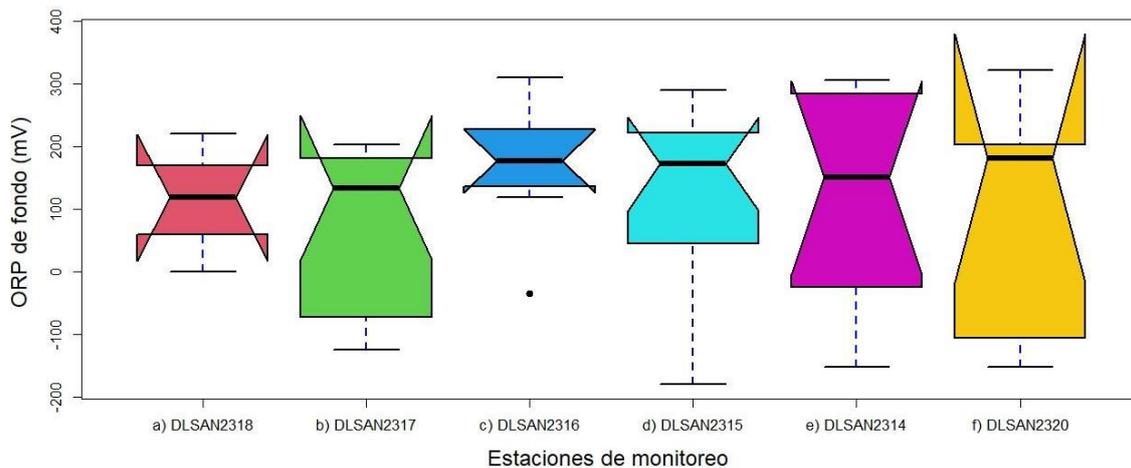


Figura A3.44. Diagramas de cajas para potencial óxido-reducción de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#DUREZA TOTAL

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$DUR_TOT~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Dureza total (mg CaCO3/L) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

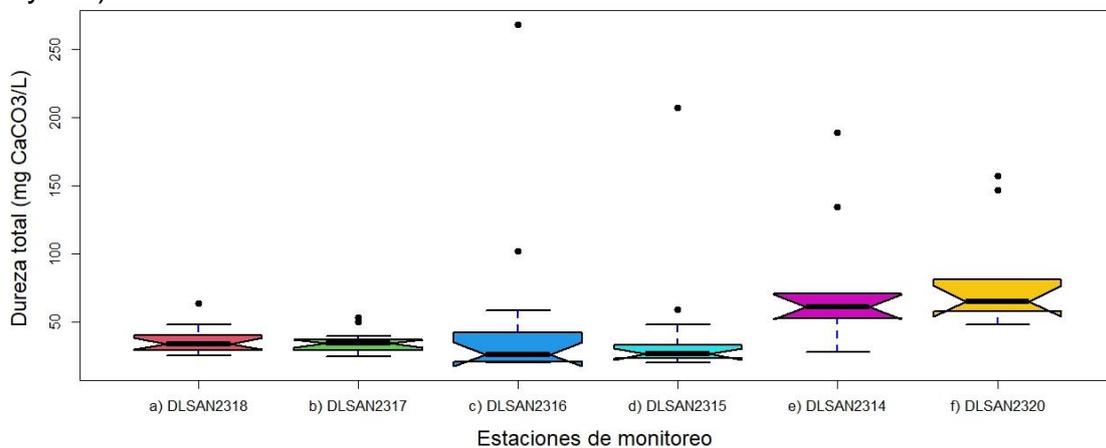


Figura A3.45. Diagramas de cajas para dureza total (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#TEMPERATURA AGUA SUPERFICIE

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$TEMP_AGUA_SUP~ Datos$CLAVE.SITIO,
```

```

lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Temp de superficie (°C) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

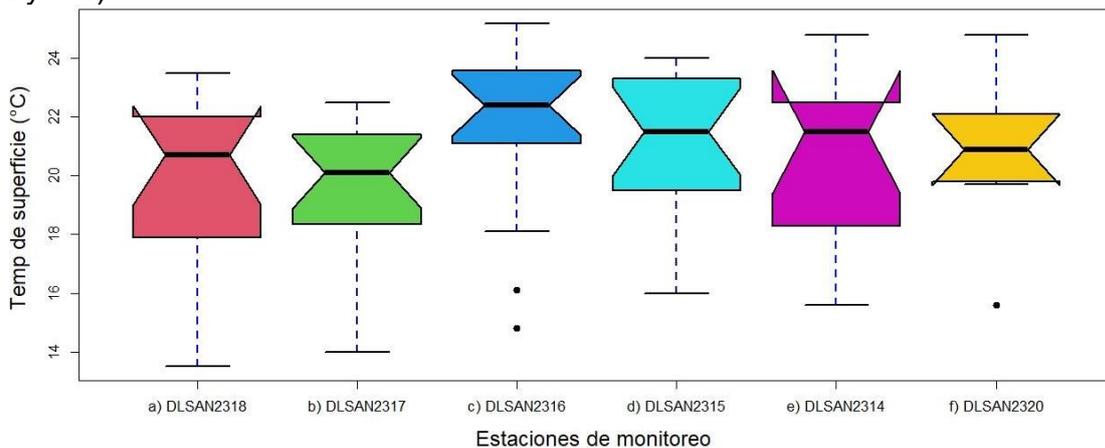


Figura A3.46. Diagramas de cajas para temperatura superficial (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#TEMPERATURA MEDIA

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$TEMP_AGUA_MED~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Temp media (°C) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

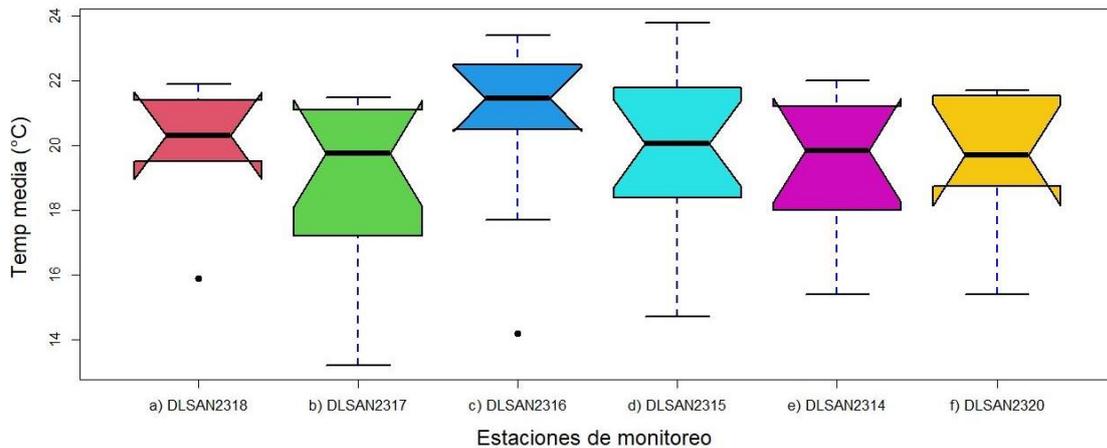


Figura A3.47. Diagramas de cajas para temperatura media del agua (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#TEMPERATURA DE AGUA FONDO

```
Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$TEMP_AGUA_FON~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Temp de fondo (°C) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)
```

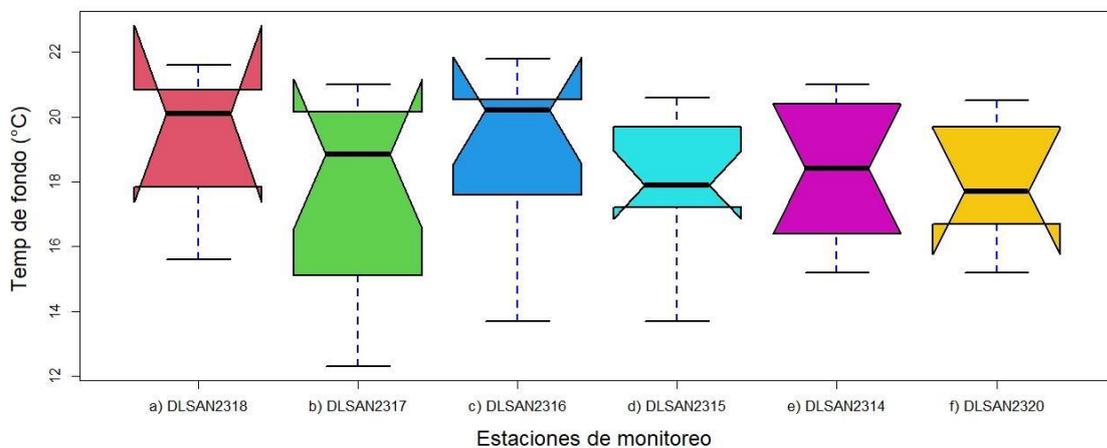


Figura A3.48. Diagramas de cajas para temperatura de fondo (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

#PROFUNDIDAD

```

Datos<-read.table(file='C:/conaguasanjose.csv',header=TRUE,sep=',')
boxplot(Datos$PROFUNDIDAD~ Datos$CLAVE.SITIO,
lwd = 2,
xlab = "Estaciones de monitoreo ",
ylab = "Profundidad (m) ",
col = 2:8,
notch = TRUE,
border = "black",
outpch = 20,
outbg = "blue",
whiskcol = "blue",
whisklty = 2,
cex=1.5, cex.axis=1.1, cex.lab=1.5,
lty = 1)

```

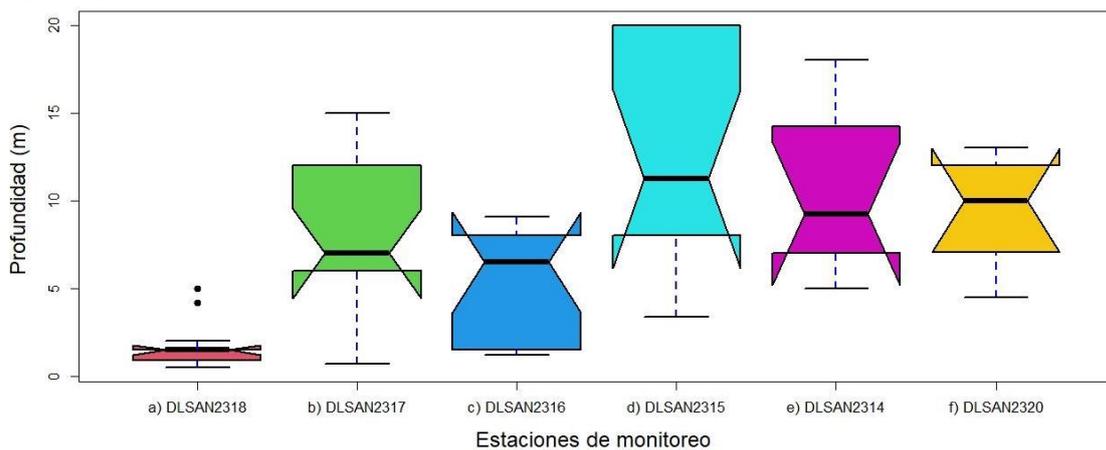


Figura A3.49. Diagramas de cajas para profundidad (25%~75%) en las presas El Peaje, El Potosino y San José (Construidas a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

Anexo 4

Calidad del agua

4.1. Usos, normatividad y calidad del agua

4.1.2. Usos

En México, la evaluación de la calidad del agua es esencial para garantizar su uso sostenible e informado. Para poder llevar a cabo esta evaluación es necesario considerar los diferentes usos que se le dará al agua, a fin de aplicar las normativas correspondientes según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014). De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales (H. Congreso de la Unión, 2022), los usos del agua se dividen en dos grupos:

- Usos consuntivos: el agua no se devuelve de forma inmediata al ciclo del agua, sino que se consume o se evapora en el proceso. Entre los principales usos consuntivos del agua se encuentran el abastecimiento público, la agricultura, la industria autoabastecida y la generación de energía termoeléctrica, y
- Usos no consuntivos: el agua utilizada es devuelta inmediatamente al medio del cual ha sido extraída, por ejemplo, las centrales hidroeléctricas.

4.1.3. Normatividad

En México, unas referencias comúnmente utilizadas para evaluar la calidad del agua son los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua “CE-CCA-001/89” (SEDUE, 1989). Los criterios CE-CCA-001/89 no tienen carácter normativo, pero son utilizados por sectores gubernamentales y académicos para evaluar los recursos hídricos. Según estos criterios, se pueden clasificar los cuerpos de agua como aptos o no aptos para diferentes usos, que incluyen:

1. Fuente de abastecimiento de agua potable: se refiere a la calidad del agua necesaria en cuerpos de agua que son o pueden ser utilizados para suministrar agua para consumo humano.
2. Actividades recreativas con contacto primario: se relaciona con la calidad del agua necesaria para llevar a cabo actividades recreativas que implican

un contacto directo con el agua, asegurando la protección de la salud humana.

3. Riego agrícola: se refiere a la calidad del agua necesaria para el riego de cultivos sin restricciones en cuanto a los tipos de cultivo, tipos de suelo y métodos de riego.
4. Uso pecuario: se refiere a la calidad del agua necesaria para el suministro de agua destinada al consumo de animales domésticos, garantizando su salud y la calidad de los productos destinados al consumo humano.
5. Acuicultura: se relaciona con la calidad del agua necesaria para llevar a cabo prácticas acuícolas, asegurando un crecimiento y desarrollo óptimos de las especies cultivadas, así como protegiendo la calidad del agua destinada al consumo humano.
6. Protección de la vida acuática dulce: se refiere a la calidad del agua necesaria para mantener las interacciones y relaciones de los organismos vivos de acuerdo con el equilibrio natural de los ecosistemas de agua dulce continentales.

Algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos que regulan los CE-CCA-001/89 para protección de la vida acuática en agua dulce, se muestran en la Tabla 3.

Tabla A4.1. Límites permisibles de calidad del agua para la protección de la vida acuática (SEDUE, 1989).

Parámetros	Límite
Medición en campo	
Temperatura (°C de Temp)	Condiciones naturales +1.5
pH	No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.
Sólidos suspendidos (mg/L de SS)	No deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.
Oxígeno disuelto (mg/L de OD)	+5
Turbiedad en unidades escala de sílice	No deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.
Inorgánicos	

Color (unidades de escala Pt/Co)	No deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.
Mercurio (mg/L de Hg)	0.00001
Arsénico (mg/L de As)	0.2
Biológicos	
Coliformes fecales (NMP/100 mL de CF)	200
Nutrientes	
Nitrógeno amoniacal (mg/L de NH ₃)	0.06
Fósforo total (mg/L de PT)	0.025

4.1.4. Calidad del agua

La SEMARNAT (2013a), establece el Índice de Calidad del Agua (ICA), para estimar la calidad del agua y diagnosticar si un cuerpo de agua es apto o no para distintos usos específicos. Un ICA se obtiene a partir de información de muestreos que se realizan en diferentes cuerpos de agua como lagos y lagunas y además se puede usar como criterio que diagnostique el desarrollo de la vida acuática (Gutiérrez et al., 2008). Se han desarrollado varias metodologías para determinar el ICA. Existe el índice aritmético ponderado propuesto por Brown et al. (1970), el cual implica la medición de 9 parámetros: coliformes fecales (CF) en NMP/100 mL, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en mg/L, nitratos (NO₃⁻) en mg/L, fosfatos (PO₄) en mg/L, variación de la Temp en °C, turbidez en unidades de atenuación de formacina (FAU), sólidos disueltos totales (SDT) en mg/L y oxígeno disuelto (OD) en % de saturación. Además, a cada parámetro se le asignan pesos relativos o pesos de importancia (W_i) (Tabla 4) en relación con el riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración en el agua (SNET, 2007).

El método para calcular el índice aritmético ponderado de Brown et al. (1970), consiste en una suma lineal (ICA_a) de los subíndices o en una función multiplicativa (ICA_m) de los subíndices. Estas agregaciones se expresan matemáticamente, de acuerdo con Brown et al. (1970), de la siguiente manera:

$$ICAa = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad \text{Ecuación A1.}$$

$$ICAm = \prod_{i=1}^9 (sub_i^{w_i}) \quad \text{Ecuación A2.}$$

Donde:

w_i: Pesos relativos de cada parámetro ponderado entre 0 y 1 (Tabla 4).

Sub_i: Subíndice del parámetro *i* otorgado mediante gráficas o interpolación para realizar la sumatoria (Figura 10).

Tabla A4.2. Parámetros que se utilizan para estimar el índice de calidad del agua. Tomada de SNET (2007).

<i>i</i>	Parámetros	Peso (W _i)
1	CF (NMP/100 mL)	0.15
2	pH	0.12
3	DBO (mg/L)	0.10
4	NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.10
5	PO ₄ (mg/L)	0.10
6	Cambio de Temp (°C)	0.10
7	Turbidez (UNT)	0.08
8	SDT (mg/L)	0.08
9	OD (%)	0.17

Para encontrar el valor de los subíndices de cada parámetro (*i*), se utilizan los gráficos de la Figura 10.

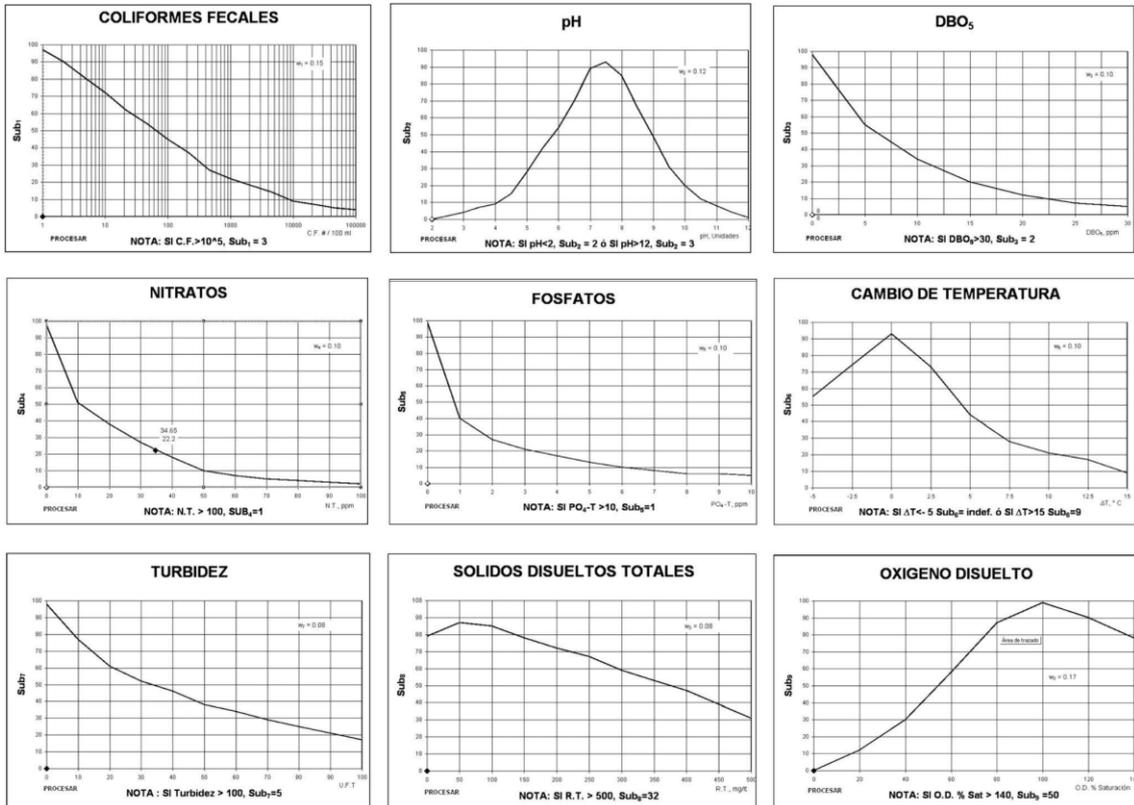


Figura A4.1. Gráficos para estimar el valor Sub_i aplicando el índice aritmético ponderado propuesto por Brown et al. (1970), citado en Vidal et al. (2022).

El resultado de aplicar el índice aritmético ponderado de Brown será el valor ICA que se representa con valores del 0-100 como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla A4.3. Clasificación del ICA propuesto por Brown et al. (1970), citado en Vidal et al. (2022).

Calidad del agua	Valor	Descripción
Excelente	91 a 100	Capacidad de albergar una amplia diversidad de vida acuática.
Buena	71 a 90	Capacidad de albergar abundante vida acuática.
Regular	51 a 70	Menor diversidad de organismos acuáticos y condiciones favorables para el crecimiento de algas.
Mala	26 a 50	Baja diversidad de vida acuática con problemas de contaminación.
Pésima	0 a 25	Inaceptable para la vida acuática y no es apta para actividades que impliquen un contacto directo.

Se graficaron los valores de PT y NH₃ de las seis estaciones de monitoreo DLSAN de las subcuenca hidrográfica de la presa San José reportados por la RNM de calidad del agua (CONAGUA, 2021a), a través del software OriginPro (OriginLab Corporation, 2018) utilizando gráficas de caja y bigote y líneas de tiempo.

Se evaluó la calidad del agua de la presa San José y de las presas El Peaje y El Potosino en base a los Límites Permisibles (LP) de calidad para la protección de la vida acuática en agua dulce de los CE-CCA-001/89, utilizando las gráficas generadas de los valores de PT y NH₃.

Se clasificó la calidad del agua de la presa San José en base al ICA propuesto por Brown y McClelland (1974), considerando: 1) los valores promedio del 2013 al 2021 de nueve parámetros correspondientes a las dos estaciones de monitoreo reportadas por red nacional de monitoreo de calidad del agua para la presa San José (CONAGUA, 2021a), 2) los pesos relativos (w_i) para cada parámetro de acuerdo a SNET (2007) como se muestra en la Tabla A4.4., 3) los subíndices de cada parámetro a partir de su interpolación en la Figura 11, 4) la suma lineal ponderada de los subíndices (ICA_a) (Ecuación A4.1) y la función ponderada multiplicativa (ICA_m) (Ecuación A4.2). Adicionalmente, se realizó el mismo análisis para las estaciones de monitoreo de las presas El Peaje y El Potosino con fines comparativos.

Tabla A4.4. Valores promedio para calcular el ICA_a e ICA_m para las estaciones DLSAN evaluadas.

<i>i</i>	Parámetros	w_i	2318 (n=15)	2317 (n=16)	2316 (n=15)	2315 (n=16)	2314 (n=11)	2320 (n=10)
1	CF (NMP/100 mL)	0.15	2,504 ±5,887	2074 ±5,775	14,311 ± 3,819	363 ±722	811 ± 2,051	878 ±2,137
2	pH	0.12	7 ±0.2	7 ±1	7 ±0.4	7 ±0.4	7 ±0.5	7 ±0.5
3	DBO (mg/L)	0.10	6 ±5	4 ±2	3 ±3	3.4 ±2	5.5 ±5	4 ±3
4	NO ₃ (mg/L)	0.10	0.1 ±0.04	54 ±210	0.1 ±0.1	0.2 ±0.2	0.1 ±0.1	0.1 ±0.1
5	PO ₄ (mg/L)	0.10	0.09 ±0.05	0.07 ±0.03	0.06 ±0.06	0.06 ±0.05	0.13 ±0.07	0.13 ±0.07
6	*Cambio de Temp (°C)	0.10	2	3	3	5	5	5

7	Turbidez (UNT)	0.08	15 ±8	17 ±13	7 ±12	6 ±9	18 ±20	20 ±15
8	SDT (mg/L)	0.08	73 ±17	71 ±17	79 ±69	77 ±67	173 ±107	183 ±109
9	OD (%)	0.17	92 ±15	71 ±29	81 ±22	72 ±21	72 ±30	83 ±18

*Se obtuvo el parámetro de cambio de Temp (i6), a partir de la diferencia entre la Temp_{ambiente} y la Temp media del agua de cada estación de monitoreo (Tabla 16).

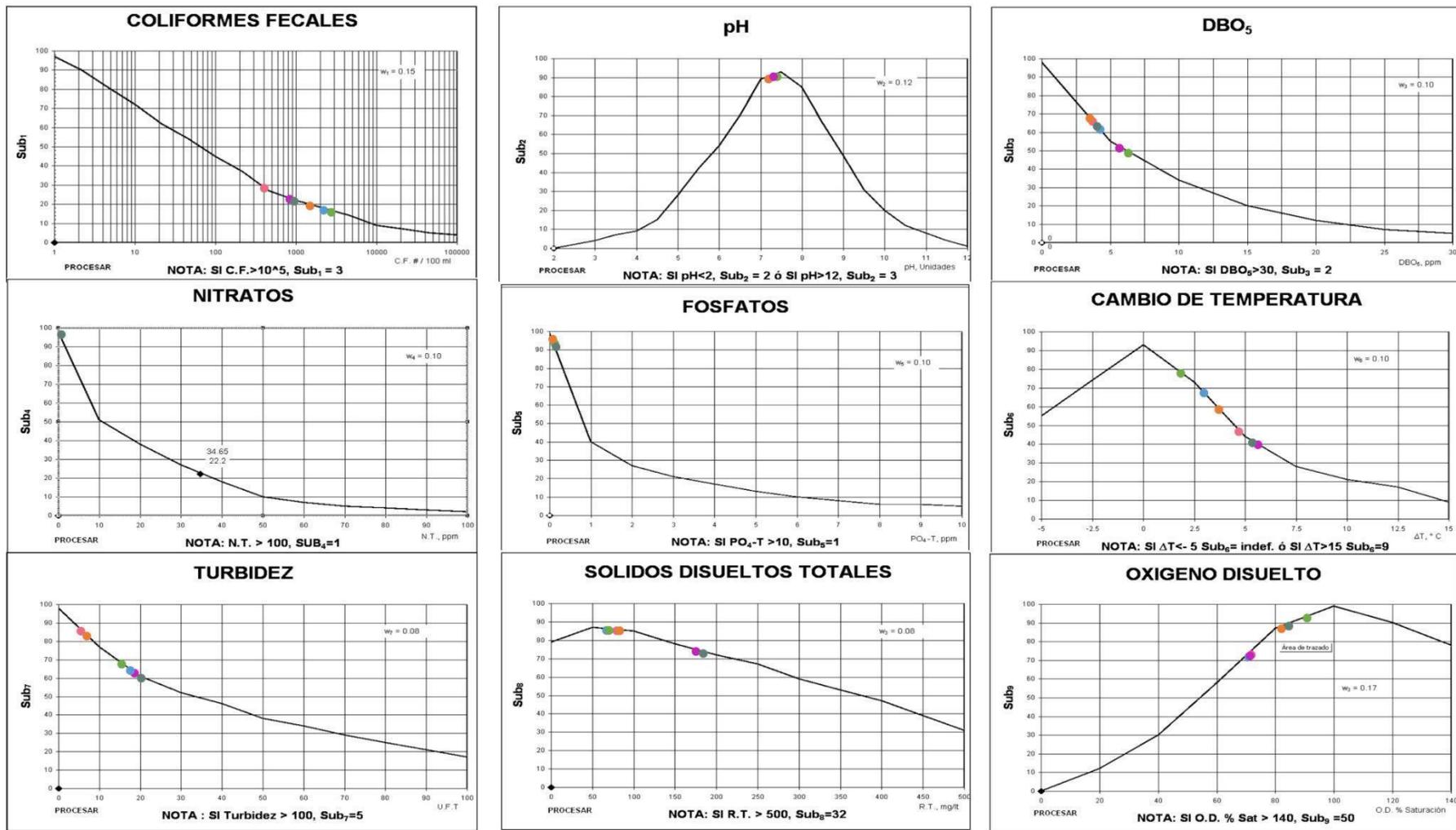


Figura A4.2. Subíndices de los parámetros en las estaciones de monitoreo DLSAN evaluadas. ●(2318)●(2317)●(2316)●(2315)●(2314)●(2320).

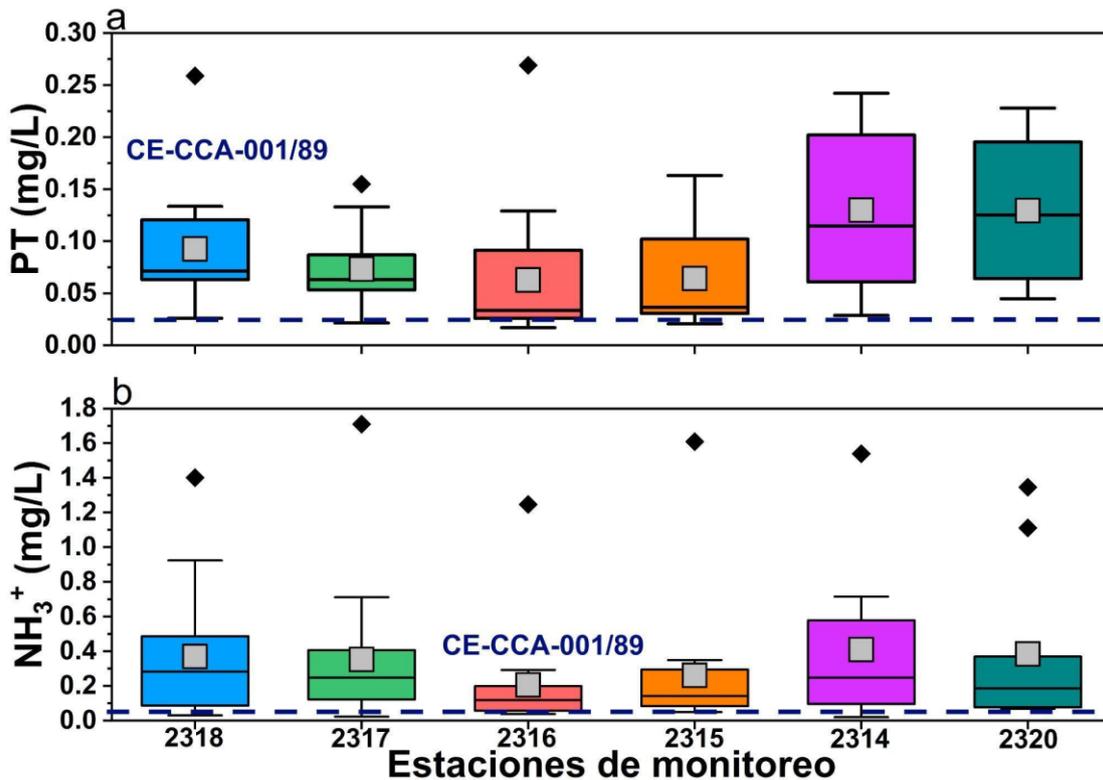


Figura A4.3. Diagramas de cajas para indicadores de calidad del agua para protección de la vida acuática (25-75%) en la presa El Peaje, El Potosino y San José (Construida a partir de datos reportados por CONAGUA, 2021a).

Las concentraciones de PT registradas en la presa San José variaron en un rango de 0.03 mg/L a 0.24 mg/L, como se ilustra en la Figura 17a. Estas concentraciones rebasaron el LP para PT (0.025mg/L) de los CE-CCA-001/89 para la protección de la vida acuática. El PT de la presa El Peaje varió entre 0.02-0.26 mg/L y del Potosino varió entre 0.01-0.27 mg/L, rebasando igualmente el LP. Estas dos últimas presas posiblemente eran fuentes emisoras de P hacia la presa San José.

Las concentraciones de NH₃ registradas en la presa San José variaron en un rango de 0.02 mg/L a 1.54 mg/L, como se ilustra en la Figura 17b. La presencia de NH₃ en ecosistemas acuáticos, de acuerdo con González (2013), favorece al crecimiento de algas y disminuye los niveles de oxígeno. Por lo que, hay condiciones para la mortandad de vida acuática y generación de condiciones anóxicas en la presa San José. Además, dichas concentraciones de NH₃ rebasan el LP de los CE-CCA-001/89 (0.06 mg/L) para la protección de la vida acuática. El NH₃ de la presa El Peaje varió entre 0.02-1.71 mg/L y del Potosino varió entre

0.03-1.61 mg/L, rebasando igualmente el LP. Estas dos últimas presas posiblemente eran fuentes emisoras de N hacia la presa San José.

El ICA_a tuvo un valor que varió entre 62-74 y el ICA_m tuvo un valor que varió entre 50-65. La variación de los valores de cada estación de monitoreo se puede deber a su ubicación, dado que la estación 2318 se encuentra aguas arriba de la estación 2317. Valores de 60-70 limitan la diversidad de organismos acuáticos y comienza la proliferación de algas (Vidal et al., 2022). Se considera que la calidad del agua de la presa El Peaje hasta el año 2021, de acuerdo con el ICA, era regular.

Tabla A4.5. Índices de calidad del agua de la presa El Peaje de la a) estación 2318 y b) estación 2317.

a

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	2,504	17	0.15	2.6	1.5	74	Buena
pH	7.4	92	0.12	11	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	6	50	0.10	5	1.5	65	Regular
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.1	99	0.10	9.9	1.6		
PO ₄ (mg/L)	0.1	95	0.10	9.5	1.6		
Temp °C	2	79	0.10	7.9	1.5		
Turbidez (UNT)	15	69	0.08	5.5	1.4		
SDT (mg/L)	73	88	0.08	7	1.4		
OD (%)	92	93	0.17	15.8	2.2		

b

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	2,074	18	0.15	2.7	1.5	62	Regular
pH	7.4	92	0.12	11	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	4	62	0.10	6.2	1.5	50	Mala
NO ₃ ⁻ (mg/L)	54	9	0.10	0.9	1.2		
PO ₄ (mg/L)	0.07	96	0.10	9.6	1.6		
Temp (°C)	3	69	0.10	6.9	1.5		
Turbidez (UNT)	17	65	0.08	5.2	1.4		
SDT (mg/L)	71	88	0.08	7	1.4		

OD (%)	71	72	0.17	12.2	2.1
--------	----	----	------	------	-----

El ICA_a tuvo un valor de 73-75 y el ICA_m tiene un valor de 68. Valores mayores a 70 indican una diversidad de vida acuática abundante (Vidal et al., 2022) La calidad del agua de la presa El Potosino hasta el año 2021, de acuerdo al ICA, era regular-buena.

Tabla A4.6. Índices de calidad del agua de la presa El Potosino de la a) estación 2316 y b) estación 2315.

a

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	1,431	20	0.15	3.0	1.6	75	Buena
pH	7.2	90	0.12	10.8	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	3	69	0.10	6.9	1.5	68	Regular
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.1	99	0.10	9.9	1.6		
PO ₄ (mg/L)	0.06	97	0.10	9.7	1.6		
Temp (°C)	3.4	60	0.10	6.0	1.5		
Turbidez (UNT)	7	83	0.08	6.6	1.4		
SDT (mg/L)	79	87	0.08	7.0	1.4		
OD (%)	81	89	0.17	15.1	2.1		

b

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	363	30	0.15	4.5	1.7	73	Buena
pH	7.2	90	0.12	10.8	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	3	68	0.10	6.8	1.5	68	Regular
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.2	99	0.10	9.9	1.6		
PO ₄ (mg/L)	0.06	97	0.10	9.7	1.6		
Temp (°C)	5	48	0.10	4.8	1.5		
Turbidez (UNT)	6	88	0.08	7	1.4		
SDT (mg/L)	77	87	0.08	7	1.4		
OD (%)	72	74	0.17	12.6	2.1		

El ICA_a tuvo un valor de 66-70 y el ICA_m tuvo un valor de 60-63. Valores de 51-70 indican poca diversidad de organismos acuáticos y a menudo fomentan el

crecimiento de algas. La calidad del agua de la presa San José hasta el año 2021 era regular.

Tabla A4.7. Índices de calidad del agua de la presa San José de la a) estación 2314 y b) estación 2320.

a

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	811	24	0.15	3.6	1.6	66	Regular
pH	7.3	91	0.12	10.9	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	5	52	0.10	5.2	1.5	60	Regular
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.1	99	0.10	9.9	1.6		
PO ₄ (mg/L)	0.1	93	0.10	9.3	1.6		
Temp (°C)	5	40	0.10	4.0	1.4		
Turbidez (UNT)	18	64	0.08	5.1	1.4		
SDT (mg/L)	173	75	0.08	6	1.4		
OD (%)	72	73	0.17	12.4	2.1		

b

Parámetros	Valor	sub _i	w _i	sub _i *w _i	sub _i ^{w_i}	ICA _a	Calidad del agua
CF (NMP/100 mL)	878	23	0.15	3.5	1.6	70	Regular
pH	7.3	91	0.12	10.9	1.7	ICA _m	Calidad del agua
DBO (mg/L)	4	63	0.10	6.3	1.5	63	Regular
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.1	99	0.10	9.9	1.6		
PO ₄ (mg/L)	0.1	93	0.10	9.3	1.6		
Temp (°C)	5	42	0.10	4.2	1.5		
Turbidez (UNT)	20	61	0.08	4.9	1.4		
SDT (mg/L)	183	73	0.08	5.8	1.4		
OD (%)	83	89	0.17	15.1	2.1		