

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Centro Interdisciplinario para la Formación y Vinculación Social (CIFOVIS)

Identidades e Inclusión Social

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de Desarrollo Local y Fortalecimiento del Tejido Social I



2E11A BOSQUE ESCUELA

Monitoreo de calidad del agua en el Arroyo Las Tortugas

PRESENTAN

Ingeniería ambiental – Ana Sofía Magaña Calvo

Ingeniería ambiental – Georgianna Taylor Hernández

Ingeniería en biotecnología – Kairos Noemi Castañeda Andrade

Ingeniería ambiental – María Saasil Macías García

Ingeniería en biotecnología – Martha Fabiola Pérez Martínez

Ingeniería ambiental – Paloma Aceves Angulo

Profesor(es) PAP: Luis Raúl Martínez García, Juan Fernando Escobar Ibáñez

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2026

ÍNDICE

REPORTE PAP	3
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen	4
1 Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	4
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	4
1.2 Caracterización de la organización.....	6
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	8
1.4 Planeación de alternativa(s), objetivo(s) particular(es) y formalización de acuerdos de colaboración	10
1.5 Valoración de productos, resultados e impactos	9
1.6 Bibliografía y otros recursos	25
1.7 Anexos generales	28
3 Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	39
3.1 Sensibilización ante las realidades	40
3.2 Aprendizajes logrados.....	40
3.3 Congruencia con perfil de egreso	41

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que estudiantes, actores sociales y profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de éste y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

Como parte del proyecto de aplicación profesional Bosque Escuela (PAP2E11A), en el Programa de desarrollo local y fortalecimiento del tejido social I, en primavera 2026 diseñamos y realizamos un programa de monitoreo para generar información referente a la calidad del agua del Arroyo Las Tortugas y así orientar acciones de restauración ecológica y conservación comunitaria. Para ello muestreamos 8 puntos a lo largo del arroyo y evaluamos *in situ*: pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD), nitritos y temperatura, mientras en laboratorios del ITESO analizamos: sulfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos volátiles y demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados de las variables *in situ* estuvieron dentro de los límites permisibles en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Anexo 3), lo que concuerda con nuestra hipótesis 1 (H1). Por otro lado, realizamos un análisis del contexto geográfico según el tipo de uso de suelo en un buffer de 200 m en cada punto y se sometieron a un modelo *Lag* para determinar su índice de Moran, lo que nos permitió identificar que no hay correlación entre los parámetros y el tipo de uso de suelo, lo que responde contestando parcialmente a nuestra hipótesis 2 (H2).

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa aplican sus conocimientos y generan alternativas para dar respuesta a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

La microcuenca del Arroyo Las Tortugas se ubica en los límites del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), con una gran parte de su extensión territorial dentro del municipio de Zapopan, y una porción menor en el municipio de El Arenal, incluyendo dentro de sus límites diversos centros de población, industrias, y una porción del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), la cual es un Área Protegida de gran importancia para Jalisco y el AMG. De hecho, una fracción de sus afluentes nacen en el bosque La Primavera y las partes altas de la microcuenca. Por su extensión superficial (82.30 km²) esta microcuenca se considera una cuenca de tamaño mediano, con tiempos de recorrido del flujo intermedio. Sin

embargo, la construcción de fraccionamientos y parques industriales ha alterado una parte importante de sus escurrimientos originales, y en ocasiones las tormentas cubren completamente su área, provocando inundaciones repentinas (Gobierno Municipal de Zapopan, 2020). Así mismo, se ha observado que muchas industrias y asentamientos humanos no hacen un correcto tratamiento de sus aguas residuales antes de ser descargadas al arroyo, lo que ha provocado presencia de elementos contaminantes y condiciones que afectan la salud y la vida de las personas que viven en las cercanías del arroyo. La longitud del cauce principal del Arroyo Las Tortugas es de 22.833 km (Gobierno Municipal de Zapopan, 2020), el cual fluye a lo largo hasta llegar a la presa Las Tortugas. Posterior a la presa, el Arroyo Las Tortugas pasa a ser un afluente del río El Arenal, que escurre y descarga al río Santiago a la altura de la presa hidroeléctrica Santa Rosa.

La calidad del agua es un factor que impacta directamente con la calidad de vida de todas las personas, no solo hablando del agua que se consume, sino también de los cuerpos de agua con los que se convive. En México es de práctica común que las descargas sanitarias e industriales se descarguen a arroyos que se encuentran al aire libre, a través de los cuales se transporta el agua a plantas de tratamiento; estos arroyos comúnmente se encuentran en espacios densamente poblados, tal es el caso de la comunidad del Ejido La Primavera, a través de la cual cruza el cuerpo de agua de estudio, impactando directamente la calidad de vida de su población así como vulnerando su derecho a un medio ambiente sano como lo establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4° *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.”* (CPUM, 2026).

En torno a las características ambientales del río mencionado, surge la posibilidad de la restauración ecológica del sitio, esta consiste en la recuperación de un ecosistema que ha sido dañado o degradado por actividades humanas o desastres, con el objetivo de que vuelva a mantenerse y funcionar de manera natural. Este proceso se plantea con planeación e información amplia sobre la calidad del agua del ecosistema, en este caso el cuerpo de agua Arroyo Las Tortugas. Esto puede ser posible por medio de conservación comunitaria, una estrategia de protección y manejo de los recursos naturales en la que participan activamente las comunidades locales, con el objetivo de conservar los ecosistemas y utilizarlos de manera responsable, un ejemplo de esta participación resulta en el monitoreo ambiental de la calidad del agua del río.

Por último, este monitoreo ambiental se trata de un proceso sistemático de observación y medición de variables del ambiente para conocer su estado, detectar cambios o identificar posibles problemas de contaminación. El caso de estudio para el presente proyecto se trata del cuerpo de agua previamente mencionado. Este proyecto se vincula directamente con el sentido del PAP Bosque Escuela y con la misión del ITESO, al generar conocimiento aplicado a una problemática local y al fortalecer el compromiso universitario con la justicia socioambiental y el desarrollo del territorio.

1.2 Caracterización de la organización

Dado que el proyecto involucra la participación de todos los integrantes para llevar a cabo tanto el trabajo de campo como el posterior análisis en laboratorio, el enfoque de trabajo es mixto. Es decir, involucra los enfoques participativo, colaborativo y técnico.

Particularmente, la planeación y ejecución del proyecto contó con la participación de cada integrante del equipo, de los profesores responsables del PAP y de la institución vinculada (ITESO). El rol de cada uno de estos actores fue el siguiente:

María Saasil Macías

- Líder de equipo.
- Encargada del protocolo general del trabajo en campo.
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.
- Modelación Lag.
- Análisis de disimilitud.
- Formato R-PAP.

Paloma Aceves Angulo

- Investigación del método para las variables de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos disueltos totales (SDT).
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.
- Principal redacción de discusiones.

Ana Sofia Magaña

- Investigación del método para la variable de sulfatos.
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.
- Cargado de información de parámetros a capa vector.

Georgianna Taylor Hernández

- Investigación del método para las variables de pH y conductividad, medidas *in situ*.
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.
- Generación de mapa sobre tipos de uso de suelo.

Martha Fabiola Pérez

- Investigación del método para la variable de grasas y aceites.
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.
- Redacción de discusiones.

Kairos Noemi Castañeda

- Investigación del método para la variable de Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Contacto con el encargado de laboratorios de Ingeniería Química (Dr. Fernando Hernández Ramírez).
- Toma de muestras en campo.
- Apoyo en laboratorio.

Profesores del PAP: Luis Raúl Martínez y Juan Fernando Escobar fueron responsables de guiarnos en el proceso de construcción del protocolo de monitoreo y, además, durante las salidas de campo, asegurar la seguridad del equipo y supervisar las actividades.

ITESO: La institución proporcionó los materiales necesarios para realizar el monitoreo de las variables en campo y en laboratorio. A su vez, las actividades realizadas fuera del campus se realizaron considerando los reglamentos vigentes.

La metodología se basa en un proceso de monitoreo ambiental estructurado en varias etapas, las cuales permiten evaluar la calidad del agua del río a través de análisis fisicoquímicos en laboratorio, mediciones *in situ* y análisis de datos.

En la primera etapa de la metodología se definió: el objetivo del monitoreo, los parámetros a evaluar, los sitios de muestreo a lo largo del arroyo, los métodos de análisis, y los materiales necesarios para la recolección y conservación de las muestras. Para la segunda etapa del proyecto se recolectaron las muestras con base en los procedimientos y normativas de cada parámetro, se almacenaron en recipientes, y se mantuvieron bajo condiciones controladas ($\sim 4^{\circ}$) para su transporte al laboratorio. Es importante mencionar que algunos parámetros fueron medidos *in situ* (i.e. temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT), nitritos, color, olor y sólidos presentes), permitiendo la obtención de resultados al momento (Tabla 1). La etapa tres tuvo lugar en el laboratorio, y se utilizaron diferentes técnicas para medir los parámetros de calidad del agua, tales como: determinación de grasas y aceites, DQO, sulfatos y microscopía de electrónica de barrido. La etapa cuatro consistió en el procesamiento e interpretación de los datos, y la comparación de los valores obtenidos con valores de referencia o normativas de calidad de agua para determinar el nivel de contaminación del río y sus posibles causas. Finalmente, en la etapa cinco, se realizó un análisis integral, se discutieron los resultados obtenidos, se interpretaron las implicaciones ambientales y se realizaron conclusiones sobre el problema de contaminación del río.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

Desde finales de 1980, personas vecinas del pueblo La Primavera empezaron a observar un deterioro en la calidad del agua del arroyo Las Tortugas, debido principalmente a descargas sin tratamiento en el corredor industrial. Desde entonces han buscado la asesoría y colaboración de autoridades a diferentes niveles que les ayuden a solucionar el problema de la contaminación. Con el objetivo de identificar los componentes contaminantes en el arroyo y así establecer las posibles soluciones, el C+LAB del Tecnológico de Monterrey (Campus Guadalajara) realizó muestreos en cuatro puntos clave de la microcuenca (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y se analizaron diferentes parámetros relacionados con la calidad del agua en los laboratorios del CIATEJ, utilizando como referencia la NOM-001-SEMARNART-2021. Los cuatro puntos considerados fueron:

- Arturo (Lat. 20°43'25.18"N, Long. 103°37'44.80"O)
- Presa (Lat. 20°43'27.17"N, Long. 103°37'58.43"O)
- Cañón (Lat. 20°43'0.48"N, Long. 103°34'37.82"O)
- Tubo (Lat. 20°43'39.92"N, Long. 103°33'7.10"O)

Las muestras fueron tomadas el 26 de marzo de 2025 a las 08:00 AM, y el informe final de los resultados fue emitido el 7 de abril de 2025.



Figura 1. Foto aérea con la ubicación de los 4 puntos muestreados para análisis de la calidad del agua del Arroyo Las Tortugas (C+LAB, 2025).

En los análisis elaborados por el CIATEJ (

Anexo 2) se observó al menos 1 parámetro fuera de norma en los 4 puntos. En particular el parámetro de coliforme fecales estuvo fuera de norma en todas las muestras superando el límite permitido de 600 NMP/100mL y llegando hasta 16 millones de NMP/100mL en el punto de muestreo denominado “Cañón de las Flores”. Asimismo, se detectaron concentraciones fuera de norma de diversos parámetros en el punto de muestreo denominado “Tubo” con grasas y aceites a 932.4 mg/L, sólidos suspendidos a 5,460 mg/L y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en 1,762.92 mg/L, lo que señala una carga considerable de contaminantes orgánicos y químicos. También se identificaron niveles elevados de nitrógeno y fósforo en los puntos “Cañón de las Flores” y “Tubo”, lo cual puede favorecer procesos de eutrofización y crecimiento excesivo de algas, disminuyendo el oxígeno disponible.

La escasez y la mala calidad del agua en arroyos, presas y lagos es una problemática que impacta directamente en la calidad de vida de la población. Desafortunadamente es un tema cada vez más recurrente provocado por las deficiencias en su gestión y la creciente demanda del recurso. El interés por esta zona de estudio se debe a su colindancia con el Área Protegida La Primavera, y a que se ubica al centro del pueblo La Primavera (Zapopan, Jalisco), el cual se encuentra en constante crecimiento industrial y urbano, lo que genera múltiples problemáticas. Esta localidad cuenta con 2,384 habitantes según el censo de 2020 del INEGI, y también colinda con otras colonias como La Venta del Astillero, Pinar de La Venta y El Campestre, así como el corredor industrial de La Venta. A pesar de que desde hace décadas las personas vecinas han señalado las deficiencias en la gestión del agua en la zona y se han organizado grupos locales que buscan mejorar la calidad ambiental y la calidad de vida en su localidad, las problemáticas han continuado.

1.4. Planeación de alternativa(s), objetivo(s) particular(es) y formalización de acuerdos de colaboración

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los contaminantes presentes en el Arroyo Las Tortugas y cómo varían a lo largo de éste?

Hipótesis

H1: Las descargas industriales, domésticas, y los nacimientos de agua influyen en las características del agua, por lo que se espera que la calidad del agua varíe en diferentes puntos del arroyo de la siguiente manera:

- Altos valores para la demanda química de oxígeno (DQO).
- Valores de pH inferiores a 7, indicando acidez, en los puntos de descargas industriales identificados.
- Altos valores de conductividad eléctrica, indicando compuestos inorgánicos disueltos, en los puntos de descargas industriales identificados.
- Bajos valores de oxígeno disuelto (OD) aguas arriba del arroyo.
- Altos valores de sólidos suspendidos totales (SST) aguas arriba del arroyo.

H2: El contexto espacial y los usos de suelo de alrededor del arroyo influyen en las características del agua favoreciendo la acumulación o depuración de contaminantes, por lo que esperamos que la calidad del agua y sus características fisicoquímicas varíen entre aguas arriba y aguas abajo de la siguiente manera:

- Mayores valores de DQO aguas arriba que aguas abajo.
- Mayor cantidad de contaminantes presentes aguas abajo que aguas arriba.

Objetivo general

Diseñar e implementar un programa de monitoreo que permita generar información referente a la calidad del agua del Arroyo Las Tortugas y así orientar acciones de restauración ecológica y conservación comunitaria.

Objetivos específicos

1. Establecer un plan de trabajo en 8 sitios de muestreo replicable para futuros análisis.
2. Identificar contaminación potencial en el Arroyo Las Tortugas a través de mediciones *in situ* y análisis fisicoquímicos en laboratorio.

3. Iniciar una base de datos que sistematice el monitoreo en el tiempo.

Materiales y métodos

Debido a que el principal objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del agua del Arroyo Las Tortugas y de esta forma aportar al objetivo del PAP y los objetivos planteados para el monitoreo, es necesario considerar que la legislación mexicana reconoce que existen diferentes límites permisibles de contaminantes en las descargas de acuerdo a su finalidad. Por ejemplo, existe una normativa cuando el agua es para uso humano, pero es diferente para aguas de uso industrial, así como para descargas de aguas residuales. Para el objetivo del presente estudio la norma más relevante y la que se tomará en consideración es la NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Para el diseño de muestreo se consideraron los 4 puntos establecidos por el grupo de C+LAB del Tec de Monterrey, pero se agregaron 4 puntos para abarcar una mayor variedad de condiciones y obtener información más detallada (Figura 2). El trabajo de campo consistió en la toma de muestras en los 8 puntos establecidos los días miércoles 11 de marzo y miércoles 15 de abril. Una vez obtenidas las muestras y etiquetadas, se llevaron al laboratorio de las instalaciones de ITESO para refrigerarlas y evitar que se alteraran sus características. Posterior a ello, durante las últimas tres semanas de marzo y las últimas dos semanas de abril se realizaron los análisis de laboratorio y la medición de cada uno de los parámetros a estudiar.

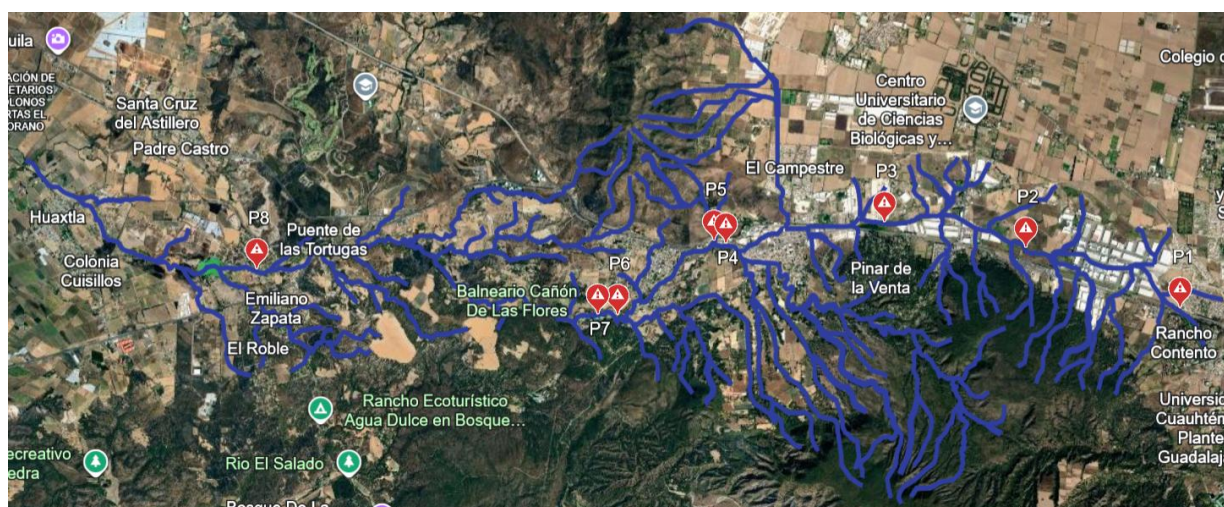


Figura 2. Foto aérea con la ubicación de los 8 puntos muestreados para el análisis de la calidad del agua del Arroyo Las Tortugas.

- Punto 1: Vías del tren (Lat. 20°43'04.62"N, Long. 103°28'47.64"O)
- Punto 2: Salida T. Park (Lat. 20°43'37.12"N, Long. 103°30'15.76"O)
- Punto 3: Entrada laguna (Lat. 20°43'51.05"N, Long. 103°31'39.08"O)
- Punto 4: Tubo (Lat. 20°43'39.40"N, Long. 103°33'11.70"O)
- Punto 5: Carretera (Lat. 20°43'40.84"N, Long. 103°33'18.94"O)[MS3.1]
- Punto 6: Antes del balneario (Lat. 20°43'00.05"N, Long. 103°34'13.80"O)
- Punto 7: Cañón (Lat. 20°43'00.66"N, Long. 103°34'24.24"O)
- Punto 8: Casa Don Arturo (Lat. 20°43'25.03"N, Long. 103°37'41.92"O)

Enlistamos los métodos específicos para cada una de las variables medidas según la Norma Mexicana (NMX) o protocolo pertinente (Anexo 1).

Recolección y almacenamiento de muestras

Las muestras se almacenaron en frascos de plástico y se recolectó un volumen mínimo de 200 ml. Las muestras fueron refrigeradas a una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis, procurando que no pasaran más de 28 días (Secretaría de Economía, 2014).

pH, conductividad y Oxígeno Disuelto (OD)

Estos tres parámetros se midieron *in situ*, es decir, se registraron datos directamente de los puntos de muestreo analizados.

Materiales:

- Medidor multiparámetro (Hanna).
- Soluciones buffer para calibrar pH.
- Sonda de oxígeno disuelto.
- Agua destilada.

Calibración

1. Encendimos el medidor multiparámetro y elegimos el parámetro de pH.
2. Enjuagamos el sensor la sonda multiparámetro con agua destilada.
3. Colocamos el sensor en la solución buffer pH 7.
4. Al esperar que la lectura se estabilizará, calibramos a pH 7.
5. Enjuagamos el sensor con agua destilada.
6. Colocamos el sensor en la solución buffer pH 4.
7. Al esperar que la lectura se estabilizará, calibramos a pH 4.

Medición

1. Introducimos la sonda multiparámetro directamente en el cuerpo de agua, a una profundidad representativa.
2. Esperamos a que las lecturas se estabilizaran.
3. Registramos un valor de cada parámetro y reportamos la temperatura del agua en °C.
4. La sonda para OD fue enjuagada con agua destilada entre cada medición.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Materiales:

- | | |
|---|---------------------------------|
| - Botella de plástico de 250mL. | - 3 pipetas de 2mL. |
| - 8 viales precargados con soluciones. | - Agua destilada. |
| - Reactor. | - Ácido sulfúrico. |
| - Espectrofotómetro. | - Etiquetas. |
| - Gradilla. | - Contenedor de desechos. |
| - Curva de calibración de baja concentración. | - Equipo de seguridad completo. |

Procedimientos:

Toma de las muestras (IDEAM, 2017)

1. Recolectamos 250mL de muestra en una botella de plástico.
2. Adicionamos ácido sulfúrico (H_2SO_4) a las muestras hasta alcanzar un $pH \leq 2 \pm 0.2$.
3. Se conservó la muestra a 4°C y se realizaron los análisis antes de 7 días, ya que después de este plazo las características de la muestra pueden variar.
4. Cuando las muestras contuvieran sólidos sedimentables, se mezclaron antes de tomar la alícuota para homogenizar y obtener una muestra representativa y filtramos.

Análisis de las muestras (HANNA instruments, s. f.)

1. Agitamos la muestra para homogenizarla y filtramos 10mL.
2. Graficamos la curva de patrón de DQO de baja concentración leyendo los tubos en el espectrofotómetro a 450nm (Anexo 8).
3. Precalentamos un reactor a 150°C, no usamos microondas, ni horno.
4. Agregamos 2.5mL de muestra homogenizada y filtrada al vial mientras lo manteníamos a 45° de inclinación (Figura 3).

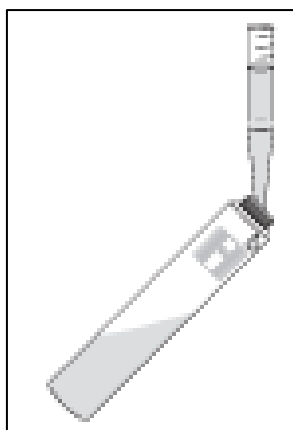


Figura 3. Proceso para vaciar muestra en los viales.

5. Colocamos la tapa nuevamente y volteamos varias veces el vial para mezclar (Figura 4), este proceso provoca una reacción exotérmica, por lo que usamos el equipo de seguridad adecuado.
6. Insertamos los viales en el reactor y los dejamos en digestión por 2 horas a 150°C.
7. Pasadas las 2 horas, apagamos el reactor y esperamos 20 minutos para que los viales se enfríen hasta 120°C aproximadamente.
8. Luego volteamos cada vial varias veces (Figura 4) mientras están calientes, y los colocamos en una gradilla.

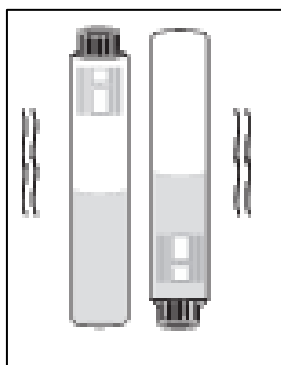


Figura 4. Proceso para mezclar los viales.

9. Dejamos los tubos en la gradilla hasta que se enfriarán a temperatura ambiente, esta vez no volvimos a mezclar para evitar turbidez.
10. Finalmente, usamos el espectrofotómetro a 450nm, pasando primero el blanco de la curva patrón (Anexo 8) y luego las muestras.

Sulfatos

La determinación del ion sulfato (SO_4^{2-}) se realizó mediante el método turbidimétrico establecido en la NMX-AA-074-SCFI-2014. El método se basa en la precipitación del ion

sulfato con cloruro de bario en medio ácido, formando sulfato de bario ($BaSO_4$) en suspensión. La turbidez generada es proporcional a la concentración de sulfato y se cuantifica por comparación con una curva de calibración, mediante medición de absorbancia a 420 nm.

Materiales:

- Espectrofotómetro ajustado a 420nm.
- Balanza analítica (precisión 0.1 mg).
- Espátula.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- HCl
- NaCl
- Cloruro de bario en cristales (20- 30 mallas).
- Sulfato de sodio (Na_2SO_4).
- Agua destilada.

Procedimientos:

Preparación de reactivos

1. Disolución buffer A: Se pesaron 2.4 g de NaCl en una charola, y se vaciaron 1mL de HCl en un vaso de precipitado. Después ambos componentes se vaciaron en un matraz aforado de 100mL y se aforaron con agua destilada hasta llegar a los 100mL. Finalmente, a este buffer se le agregó la cantidad de Cloruro de Bario a considerar ($BaCl_2$), en este caso fueron 1g.
2. Disolución de referencia de concentración másica de $\gamma(SO_4^{2-}) = 200 \frac{mg}{L}$ de SO_4^{2-} : Se preparo una disolución de sulfato de sodio (Na_2SO_4) en 250mL, para saber la cantidad de Na_2SO_4 se aplicó la ecuación 2.

$$250mL \left(\frac{200mg SO_4^{2-}}{1000mL} \right) \left(\frac{142mg Na_2SO_4}{96mg SO_4^{2-}} \right) \left(\frac{1g Na_2SO_4}{1000mL} \right) = 0.073958g Na_2SO_4$$

Ecuación 2.

3. Se lograron pesar de manera precisa 0.0738g de Na_2SO_4 , por lo que se ajustó el cálculo de la ecuación 2 a la ecuación 3, para saber la concentración exacta de la disolución de referencia.

$$\frac{0.0738g Na_2SO_4 \left(\frac{96g SO_4^{2-}}{142g Na_2SO_4} \right) \left(\frac{1000mg SO_4^{2-}}{1g} \right)}{0.250 L} = 199ppm de SO_4^{2-}$$

Ecuación 3.

4. La concentración exacta de sulfatos es de 199ppm, lo que se puede tomar como 200ppm, esta es la concentración de la disolución de referencia. Después se tomaron esos 0.0738g de Na_2SO_4 , se vaciaron en un matraz volumétrico de 250mL y se aforaron con agua destilada.

Curva de calibración

1. A partir de la disolución de referencia de $200 \frac{mg}{L}$ de SO_4^{2-} , preparamos una serie de disoluciones estándar dentro del intervalo de 0 a 180 mg/L de SO_4^{2-} , mediante diluciones apropiadas.
2. Preparamos estándares de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 y 180 mg/L de SO_4^{2-} , además del blanco (0 mg/L).
3. Cada disolución estándar se sometió al procedimiento descrito en la sección del procedimiento analítico, bajo las mismas condiciones que las muestras.
4. Con los valores de absorbancia obtenidos, construimos la curva de calibración graficando absorbancia vs. concentración de SO_4^{2-} y obtuvimos la ecuación de la recta:

$$\gamma(SO_4^{2-}) = [\alpha(\lambda) - a] / b$$

Donde:

b : es la pendiente.

$\alpha(\lambda)$: es la absorbancia a 420 nm.

a : es la ordenada al origen.

5. Después, la curva de calibración se leyó a 420nm en el espectrofotómetro y se obtuvo la gráfica del anexo 7.

Procedimiento analítico

1. Aplicamos el mismo procedimiento tanto a las muestras como a las disoluciones estándar empleadas para la curva de calibración, una vez pasadas las muestras por el espectrofotómetro, se obtuvo la Ilustración 19.

Nitritos

Los nitritos constituyen un parámetro importante como indicador de contaminación, por lo que su análisis resulta relevante en mediciones de la calidad de agua.

Para la medición de este parámetro, utilizamos el siguiente método de acuerdo con las instrucciones del fabricante: Determinación colorimétrica mediante tiras reactivas MQuant®, con intervalos de 2, 5, 10, 20, 40 y 80 mg/L de NO_2^- . El principio del método se basa en una reacción química específica: los iones nitrito reaccionan con una amina aromática para formar una sal de diazonio, la cual posteriormente reacciona con N-(1-naftil) etilendiamina, generando un colorante azo de tonalidad rojo-violeta. La intensidad del color desarrollado es proporcional a la concentración de nitritos presentes en la muestra. La cuantificación se realiza de manera

semicuantitativa, comparando visualmente la zona reactiva de la tira con una escala de colores proporcionada por el fabricante (Merck KGaA, s. f.).

Sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos disueltos totales (SDT)

Los parámetros que se enlistan a continuación son fundamentales para determinar la carga orgánica, e identificar procesos de depuración que contrarrestan la contaminación ambiental.

Sólidos Disueltos Totales (SDT): Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporamos, y secamos la muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de $1,5\ \mu\text{m}$ a una temperatura de $105\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de $1,5\ \mu\text{m}$ secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$.

Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV): Son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a $550\ ^\circ\text{C} \pm 50\ ^\circ\text{C}$.

Materiales:

- | | |
|---|-------------------------|
| - Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $105\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$. | - Pinzas para crisol. |
| - Balanza analítica calibrada. | - Probeta. |
| - Mufla eléctrica capaz de mantener una temperatura de $550\ ^\circ\text{C} \pm 50\ ^\circ\text{C}$. | - Vasos de precipitado. |
| - Papel filtro. | - Piseta con etanol. |
| - Crisoles de porcelana. | - Guantes. |
| - Desecador | - Cubrebocas. |
| | - Vaso de precipitado. |
| | - Probeta. |

Procedimientos:

Medición sólidos disueltos totales (SDT)

1. Pesamos 16 crisoles del mismo tamaño con una balanza analítica y los introducimos en la mufla precalentada a 100°C durante 30 minutos. Después los sacamos y guardamos en un desecador por aproximadamente 10 minutos para proceder a pesarlos de nuevo;

registramos los datos de ambas mediciones y los volvimos a guardar en el desecador hasta necesitarlos.

2. Filtramos 50 ml de cada muestra de 600 ml tomada en el muestreo a través de papel filtro en un vaso de precipitado, después medimos con una probeta 20 ml para verter en 8 de los crisoles. Por otro lado, tomamos 5 ml de la muestra sin filtrar para agregarlos a los 8 crisoles restantes.
3. Metimos los 16 crisoles a la mufla a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para llevarlos a sequedad, para esto los crisoles con 20 ml de muestra se mantuvieron en la mufla por 3 horas, mientras que los crisoles con 5 ml se mantuvieron por 1.5 horas. Una vez llegaron a sequedad, los guardamos en el desecador por 10 minutos para después pesar y registrar sus masas.
4. Los 8 crisoles con los 20 ml iniciales después de pesarse los lavamos y entregamos en almacén.
5. Los 8 crisoles restantes los introducimos de nuevo a la mufla, esta vez a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos para llevar las muestras a estado de cenizas, una vez alcanzado este punto, sacamos los crisoles, los dejamos una vez más en el desecador por 10 minutos antes de pesarlos; una vez registrados los datos los lavamos.

Cálculo de datos

1. Para los crisoles con la muestra inicial de 20 ml, la diferencia de peso entre el crisol seco y la masa pesada después del secado representa la masa de SDT, para establecer su concentración usamos la ecuación enlistada.
2. Para los crisoles con muestra inicial de 5 ml, la masa pesada después del primer secado menos la masa del crisol seco representa la masa de SST, mientras que la diferencia de masa entre el primer secado y el último a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ representa la masa de SVT. Para determinar su concentración se usa la misma ecuación.

$$C = \frac{(m_6 - m_2)}{V} * 1000\ 000$$

Donde:

m2: es la masa del soporte de secado con el filtro antes de la filtración, en g.

m6: es la masa del soporte de secado con el filtro, en g.

m7: es la masa del soporte de secado con el filtro después de la calcinación, en g.

V: es el volumen de l.

Matrices de disimilitud

Para los datos obtenidos mediante medición directa y análisis en laboratorio, realizamos matrices de disimilitud por medio del método de Bray-Curtis, este se aplica para análisis de ecología y calidad de agua, consiste en calcular la disimilitud entre un conjunto de datos.

$$BC_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|}{\sum_{k=1}^p |x_{ik} + x_{jk}|}$$

Donde:

x_{ik} y x_{jk} : son los valores de la variable k en los puntos de muestra ij .

p : número total de variables.

Los resultados de la matriz se encuentran de 0 a 1 y entre más cercano sea el valor final a 1 quiere decir que los valores iniciales son más o menos similares (Bray & Curtis, 1957). A partir de los resultados que se obtienen, creamos dendrogramas los cuales son una representación de árbol que agrupa los puntos de muestreo por similitud y de manera jerárquica.

Este procedimiento lo llevamos a cabo con el software *RStudio* (Posit team, 2026), usando las librerías: *vegan* (Oksanen et al., 2026), *ggplot2* (Wickham, 2016), *ggdendro* (Vries & Ripley, 2024) y *dendextend* (Tal Galili, 2015), con el script del Anexo 11.

Análisis de información geográfica

Llevamos a cabo un análisis de información geográfica alrededor de los puntos de muestreo en el Río Las Tortugas; para ello usamos las siguientes capas de información (Anexo 10).

- Puntos de muestreo: a partir de las coordenadas obtenidas durante el muestreo en campo.
- Ecurrimientos principales del Río Las Tortugas: obtenidas a partir de modelos digitales de elevación.
- Tipo de uso de suelo: obtenida a partir de MAPA Jalisco.

Generamos tres productos: una modelación de la calidad del agua a lo largo de los escurrimientos principales con los datos obtenidos de los muestreos, datos sobre tipo de uso de suelo en buffers de 200 m en torno a los 8 puntos muestreados, y a partir de estos datos y los resultados de los muestreos realizamos una modelación Lag (Esri, 2026), que es un tipo de autoregresión espacial. Estos modelos toman en cuenta la dependencia espacial al momento de

analizar variables que se encuentran espacialmente cerca. El modelo Lag (Spatial Lag Model), incorpora la dependencia espacial como una variable explicativa, y es un modelo útil cuando la variable dependiente presenta un alto valor de correlación espacial y se presentan datos superpuestos, lo que quiere decir que las variables de un área influyen en sus vecinos. El modelo se define por la siguiente ecuación:

$$y = \rho W y = X\beta + u$$

Donde:

y: variable dependiente

x: variables

Wy: lag espacial

β : coeficientes

ρ : parámetro de autoregresión espacial

u: residuales

A partir de los resultados obtenidos por esta modelación que realizamos en *RStudio*, se determinó su índice de Moran (Esri,2026), que mide la autocorrelación espacial tomando en cuenta la ubicación y los valores de los puntos, evalúa si las variables exponen un patrón agrupado, disperso o es aleatorio. La importancia del índice se evalúa con los valores z y p que toman en cuenta la varianza y cantidad de entidades con variables a evaluar, estos dos valores establecen si la diferencia es estadísticamente significativa o no a partir de las siguientes ecuaciones:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

Donde:

z1: desviación del atributo i de la media

S0: agregado de los pesos espaciales

wi,j: peso espacial entre i y j

E[I]: -1/(n-1)

n: número de atributos

V[I]: E[I²]-E[I]²

Análisis con buffers y uso de suelo

1. Cargamos la capa de escurrimientos principales (raster), la capa con los puntos de muestreo (vector) y la capa de uso de suelo (vector) al software *ArcGIS Pro* (Esri, 2026). Agregamos una capa de vector como extent de trabajo para con la herramienta *clip* obtener una capa nueva del tipo de uso de suelo de nuestra área de trabajo.
2. Con la herramienta *buffer* generamos perímetros de 200 m en cada uno de los puntos de muestreo.
3. Realizamos nuevos recortes en torno a los buffers y se exportó la tabla de atributos de las nuevas áreas de tipo de uso de suelo a un *Excel* para su análisis.

Modelo Lag e índice de Moran

1. A partir del *Excel* generado en el procedimiento anterior, filtramos los datos y los convertimos en valores de porcentaje.
2. Cargamos los datos de coordenadas y porcentajes por tipo de uso de suelo al software *RStudio*.
3. Usamos las librerías *spdep* (Bivand R & Wong D, 2018), *spatialreg* (Bivand R, Millo G, Piras G, 2021) y *ggplot2*.

Finalmente usamos el script del Anexo 12.

1.5. Valoración de productos, resultados e impactos

Los resultados de las mediciones *in situ* expuestas en el Anexo 4 y Anexo 5.

Primeramente, para los datos de temperatura observamos un rango que va del valor mínimo en el punto 5 de 16.1 °C a la temperatura máxima en el punto 4 de 28.2 °C. Se puede apreciar un comportamiento donde los valores máximos se concentran en los puntos medios: 2, 3, 4 y 7, también los 8 puntos se encuentran en norma (Anexo 3). Este comportamiento se puede observar en la siguiente figura.

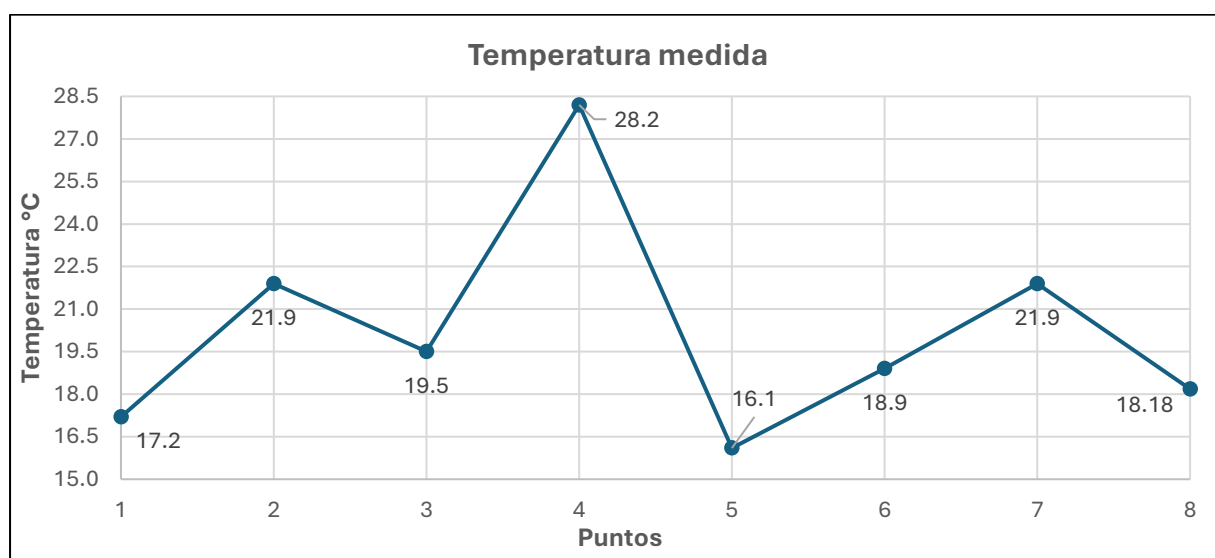


Figura 5. Comportamiento de las temperaturas en los 8 puntos muestreados.

Para pH, observamos que los 8 puntos se mantienen en un rango entre 6.1 y 7.4, estos valores se encuentran dentro de la norma (Anexo 3) como valores neutros. El valor mínimo se midió en el punto 4 mientras que el punto máximo se midió en el punto 8. Su comportamiento se puede observar en la siguiente figura.

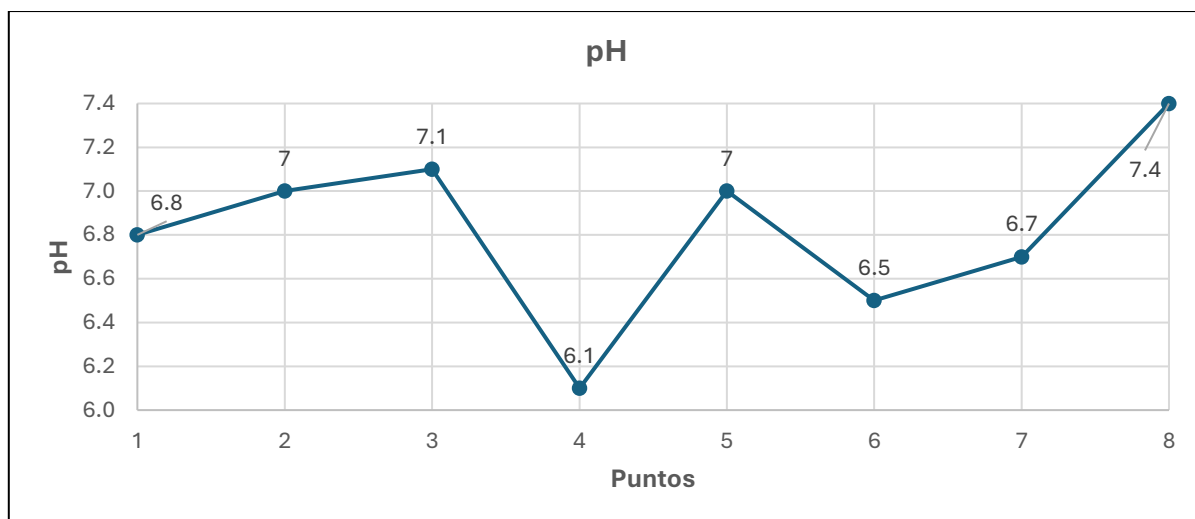


Figura 6. Comportamiento del pH en los 8 puntos.

Para los datos que medimos de conductividad, observamos la misma tendencia, donde el valor mayor se midió en el punto 6 con 3.58 ms/cm y el mínimo en el punto 1 con 0.48 ms/cm. Su comportamiento se observa en la siguiente figura.

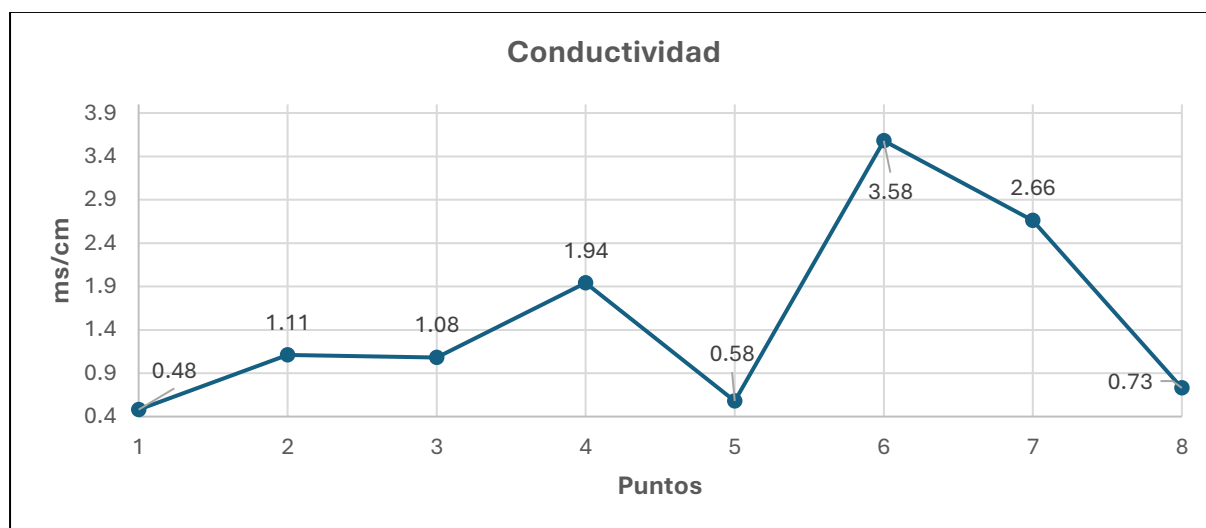


Figura 7. Comportamiento de la conductividad en los 8 puntos.

Las concentraciones de nitritos las medimos en un rango de 3.5 a 1.5 sin embargo, se debe mencionar que las tiras reactivas usadas estaban caducadas, por lo que esta medición se debe interpretar con un gran rango de error. Su comportamiento a lo largo de los 8 puntos se puede observar en la siguiente figura.

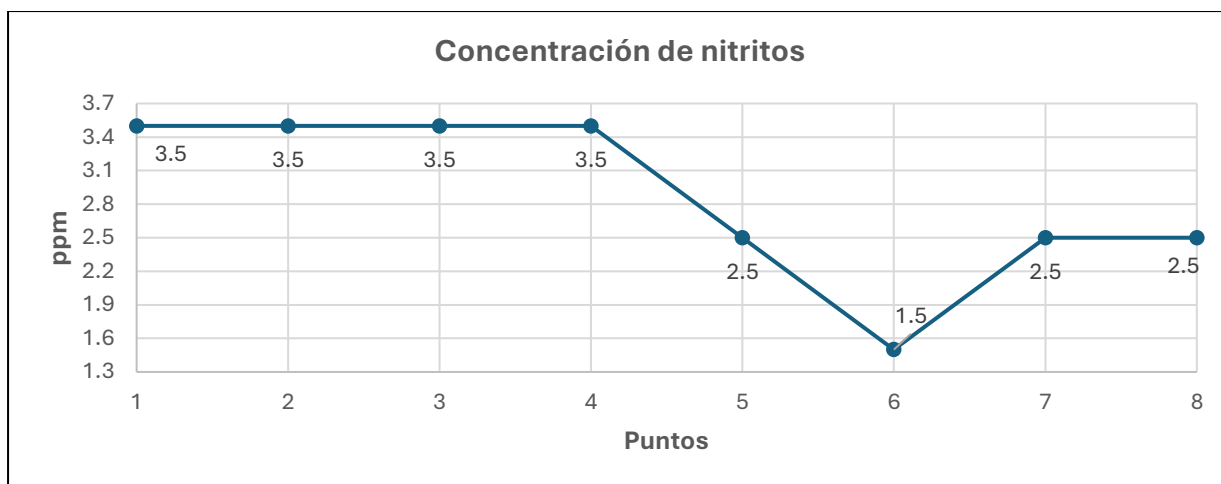


Figura 8. Comportamiento de la concentración de nitritos en los 8 puntos.

Por último, el 15 de abril volvimos al sitio de estudio a realizar las mediciones de oxígeno disuelto (OD), el valor máximo medio fue de 8.50 ppm (punto 3), mientras que el valor mínimo fue de 0.26 (punto 6), también se observa una tendencia a partir del punto 4 donde los valores medidos disminuyen abruptamente y se mantienen debajo de 0.50. Su comportamiento a lo largo de los 8 puntos se puede observar en la siguiente figura.

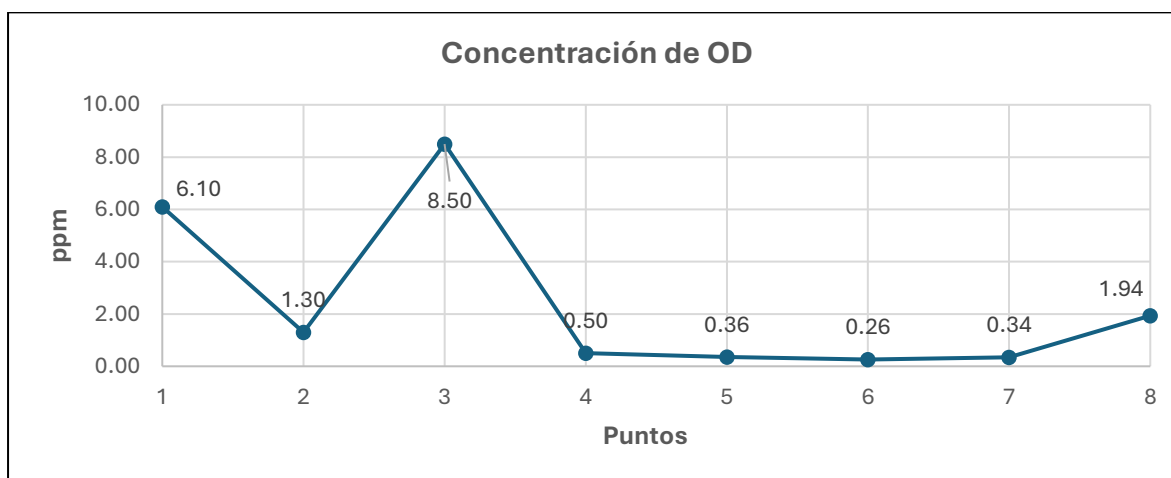


Figura 9. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en los 8 puntos.

Durante esta última medición *in situ* medimos también cloros libres y cloros totales con tiras reactivas para conocer la concentración necesaria a usar en el análisis de DQO, las mediciones en los 8 puntos fueron de 0 ppm para ambas variables.

A partir de estos datos realizamos matrices de disimilitud con el método de Bray-Curtis (Anexo 9) para la temperatura, pH, conductividad, nitritos y oxígeno disuelto (OD). A partir de los resultados generamos los siguientes dendrogramas (Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14).

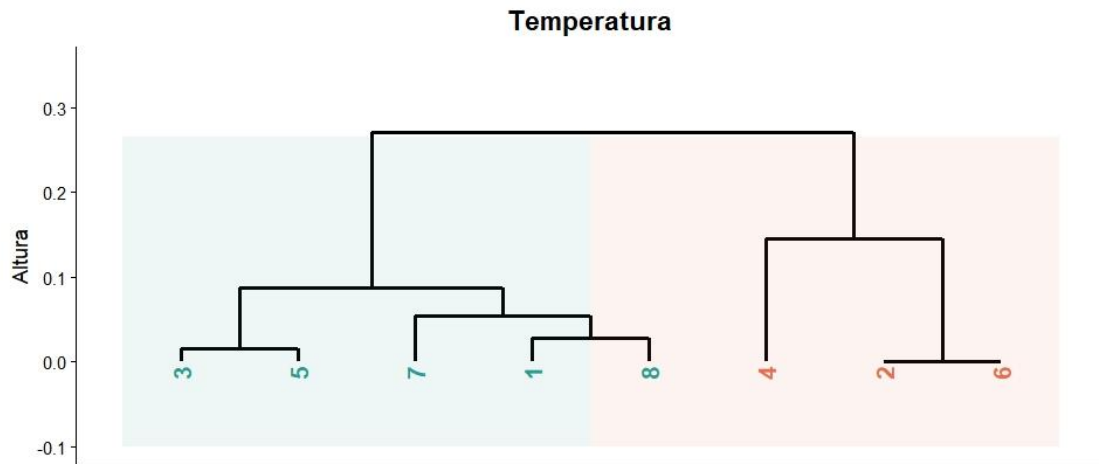


Figura 10. Dendrograma de disimilitud para los datos medidos de temperatura.

Para la variable de temperatura observamos dos grupos que se unen a mayor distancia, esto quiere decir que los valores se alejan bastante, estos dos grupos dividen los puntos en: grupo 1 (puntos 3, 5, 7, 1 y 8) y grupo 2 (punto 4, 2 y 6). Dentro de estos grupos se forman subgrupos que resultan más similares entre sí, como el subgrupo que agrupa al punto 3 y al punto 5 dentro del grupo 1 o el subgrupo que une al punto 2 y al punto 6 en el grupo 2. Podemos apreciar que el orden de agrupación no corresponde con el orden geográfico.

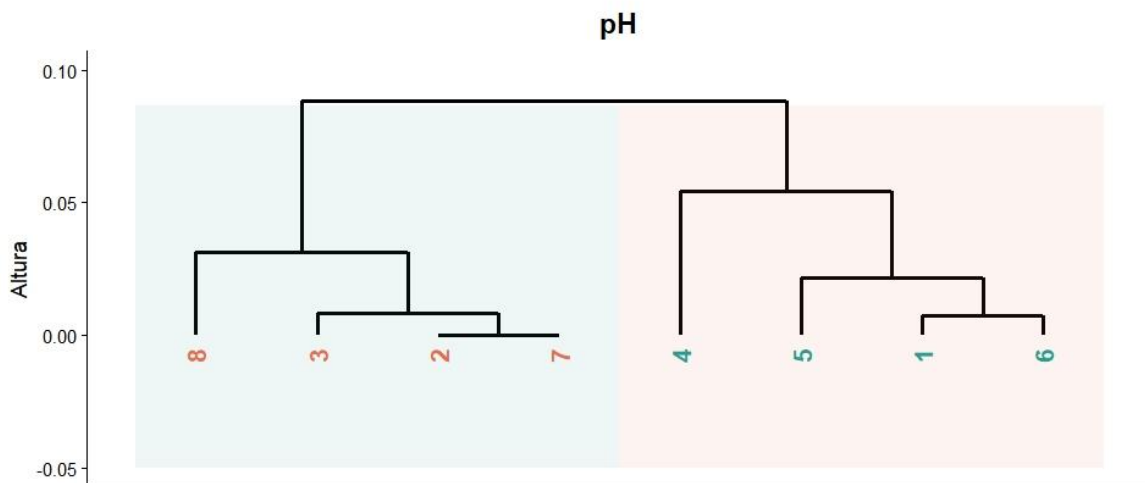


Figura 11. Dendrograma de disimilitud para los datos medidos de pH.

De manera similar, los puntos se ordenaron en 2 grupos, donde a diferencia del caso pasado, los puntos tendieron a agruparse según su orden geográfico. Específicamente los puntos que resultaron más similares fueron: 2 y 7, y 1 y 6.

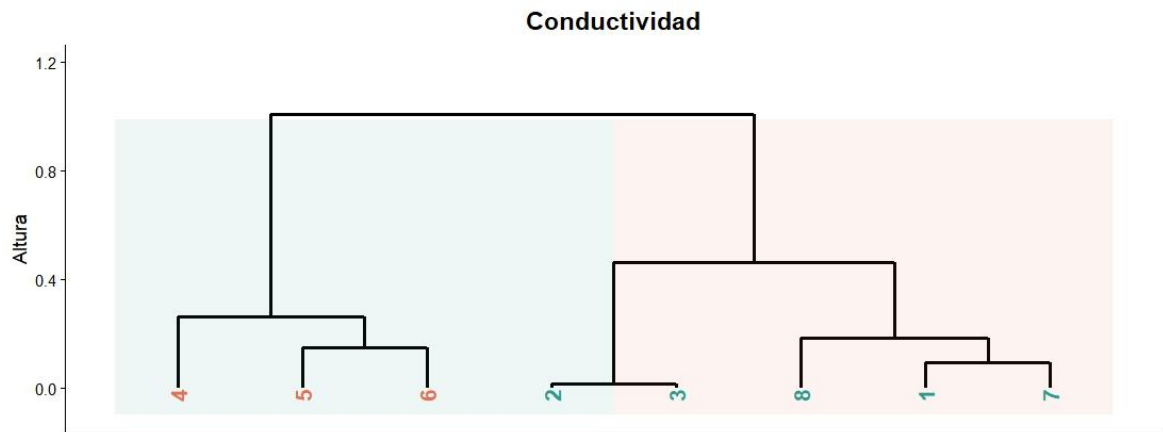


Figura 12. Dendrograma de disimilitud para los datos medidos de conductividad.

Para la variable de conductividad se observó la mayor similitud entre los puntos 5 y 6, y el 2 y el 3. En este caso ambos grupos corresponden con el orden geográfico.

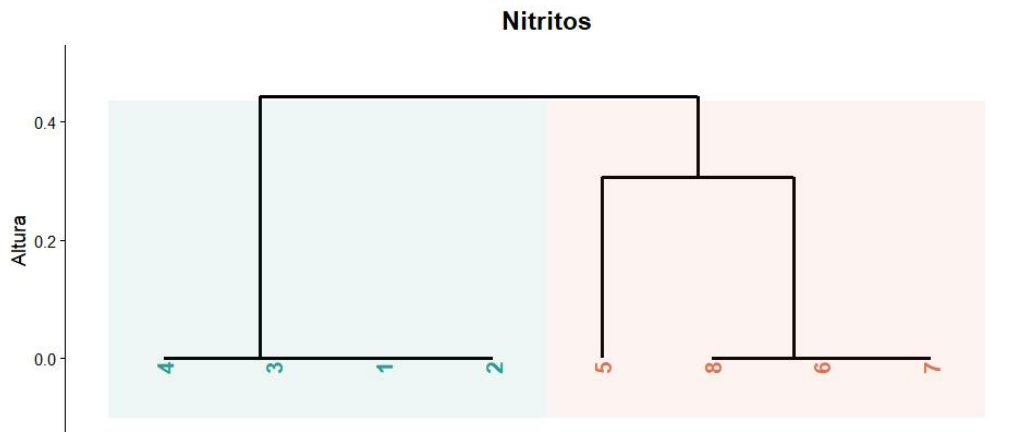


Figura 13. Dendrograma de disimilitud para los datos medidos de nitritos.

Para nitritos observamos la mayor distancia de disimilitud entre grupos, además de que el grupo 1 indica que los 4, 3, 1, 2 tienen la misma disimilitud. Este resultado puede estar relacionado con la calidad de las tiras reactivas.

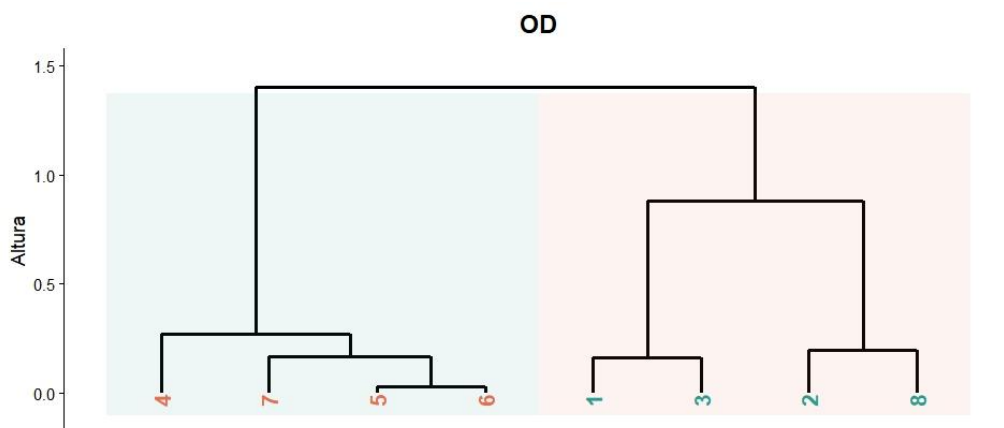


Figura 14. Dendrograma de disimilitud para los datos medidos de OD

Finalmente, para el OD observamos la distancia más grande de disimilitud entre grupos, algo que llama la atención es cómo el punto 4 se ubica comparado con un subgrupo, indicando que dentro del grupo 1 es el punto con mayor disimilitud entre los puntos.

Sólidos

Para las muestras tomadas de los 8 puntos de la Figura 2 realizamos sus análisis de laboratorio, en el Anexo 6 se exponen los resultados obtenidos.

En esta tabla observamos una tendencia similar en las 3 variables donde los puntos medios 4, 5 y 6 presentan los resultados mayores, mientras que los puntos de las orillas (aguas arriba y aguas abajo) son menores. Para SDT el valor máximo registrado fue de 3.85 ppm (punto 6), para SST fue de 3.68 ppm (punto 5) y para SVT fue de 1.56 ppm (punto 5). Los valores menores registrados fueron de 0.36 ppm para SDT en el punto 8, de 0.36 ppm para SST en el punto 1 y de 0.00 ppm para SVT en el punto 1.

El valor mínimo global fue el de SVT en el punto 1, y el valor máximo global fue de 3.85 ppm de SDT (punto 6, Fig. 15).

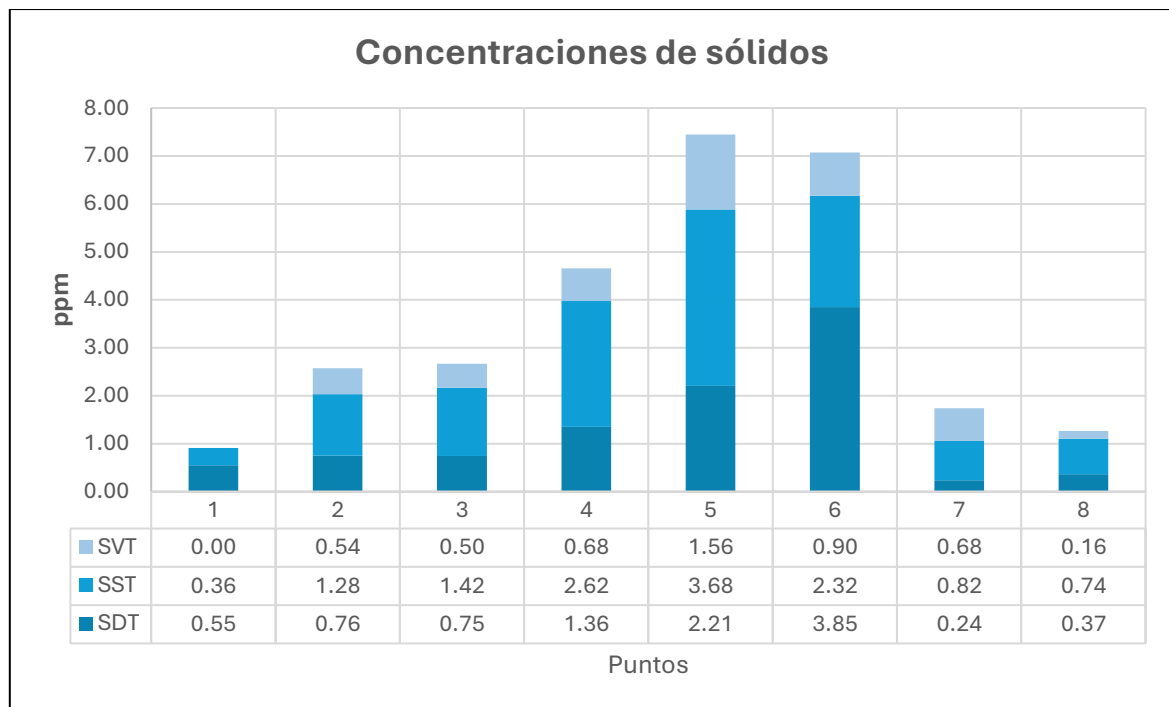


Figura 15. Comportamiento de las concentraciones de SDT, SST y SVT en los 8 puntos muestreados.

La figura muestra de forma acumulada los valores obtenidos para cada punto, pero cabe mencionar que la suma de estos no representa ninguna de las variables mencionadas.

A partir de estos datos realizamos una matriz de disimilitud con el método de Bray-Curtis (Anexo 9) y a partir de los resultados se generó el siguiente dendrograma.

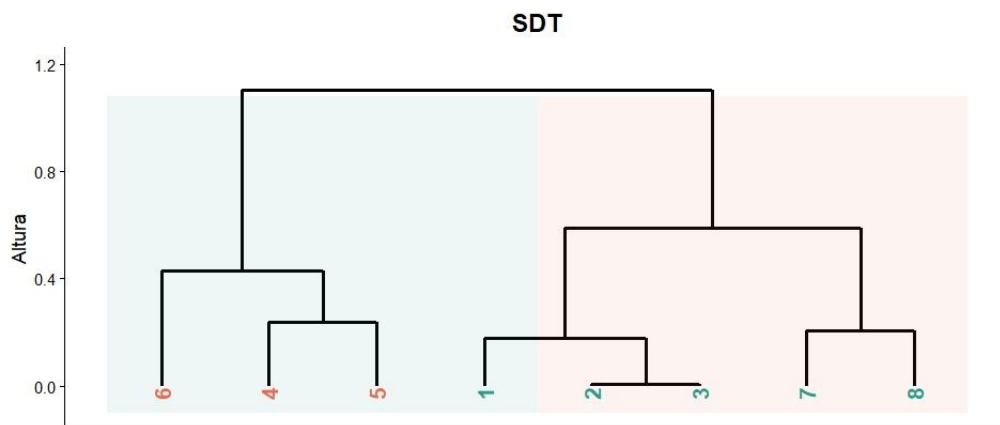


Figura 16. Dendrograma de disimilitud para los resultados obtenidos de SDT.

En el diagrama observamos dos agrupamientos principales, los puntos 6, 4 y 5 y los puntos 1, 2, 3, 7 y 8. Podemos apreciar como los puntos se agruparon de acuerdo con su orden geográfico, con los pares de grupos más similares siendo el punto 7 con el 8 y el punto 4 con el 6.

DQO

A partir de las muestras que tomamos el 15 de abril, realizamos la metodología establecida para determinar las concentraciones de DQO de cada punto registradas en el Anexo 6, los resultados se exponen en la siguiente figura.

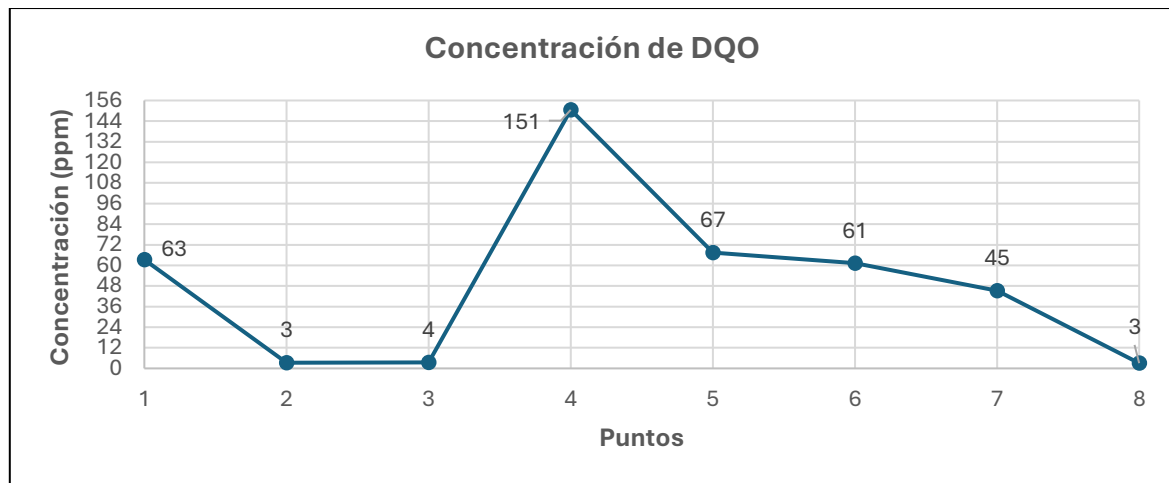


Figura 17. Resultados calculados de concentración de DQO en los 8 puntos muestreados.

El DQO varía bastante a lo largo del río, donde observamos un valor mínimo de 3 ppm en los puntos 8 y 2, y un valor máximo de 151 ppm en el punto 4, a partir del cual la concentración comienza a disminuir.

A partir de estos datos realizamos una matriz de disimilitud con el método de Bray-Curtis (Anexo 9) y a partir de los resultados se generó el siguiente dendrograma.

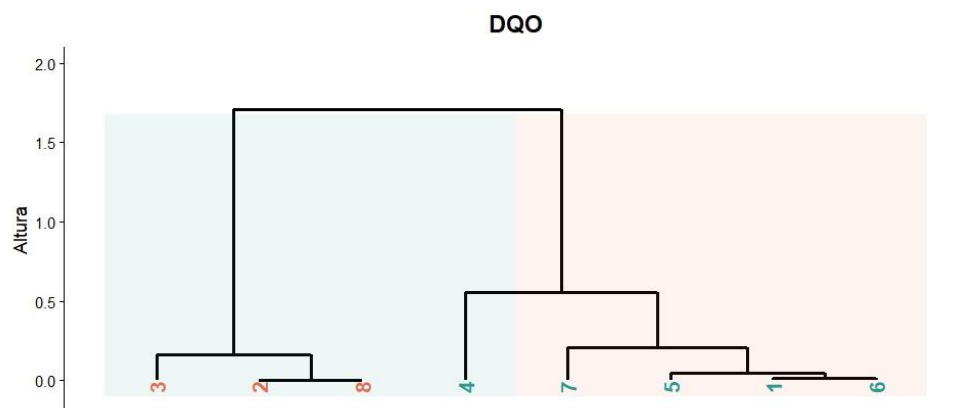


Figura 18. Dendrograma de disimilitud para los resultados obtenidos de DQO.

En este diagrama podemos observar esta gran variabilidad, donde los dos grupos principales presentan una distancia de disimilitud de hasta 1.5, en el grupo 2 sobresale el punto 4 y los puntos más similares entre sí fueron el 1 con el 6 y el 2 con el 8.

Sulfatos

A partir de las muestras que tomamos el 15 de abril, realizamos la metodología establecida para determinar las concentraciones de sulfatos de cada punto registradas en el Anexo 6, los resultados se exponen en la siguiente figura.

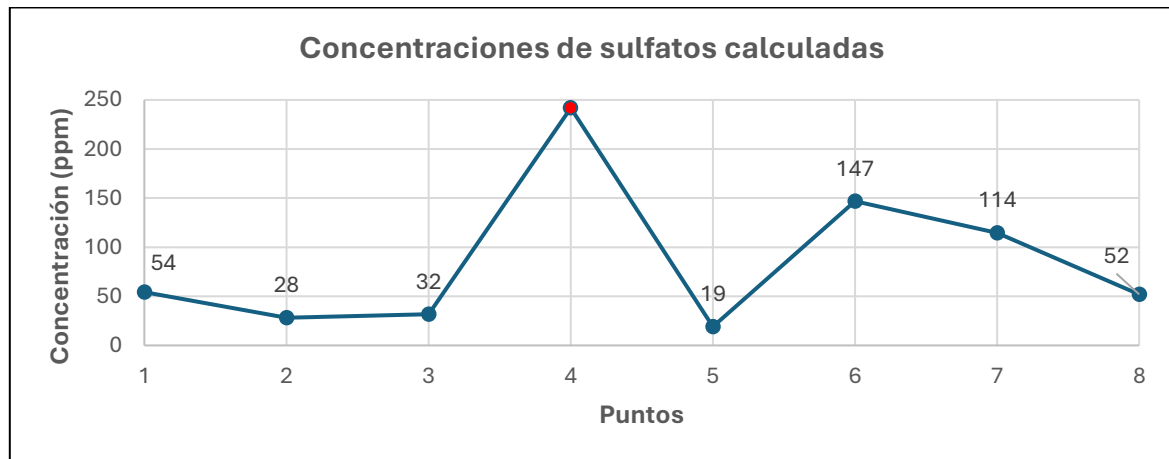


Figura 19. Resultados calculados de concentración de sulfatos en los 8 puntos muestreados.

Los valores fluctúan bastante, específicamente el punto 4 sale del rango de medición de la curva de calibración usada (Anexo 7) pasando las 180 ppm. El valor máximo registrado dentro del rango fue de 147 ppm en el punto 6, mientras que el valor mínimo fue de 19 ppm en el punto 5.

A partir de estos datos realizamos una matriz de disimilitud con el método de Bray-Curtis (Anexo 9) y a partir de los resultados se generó el siguiente dendrograma .

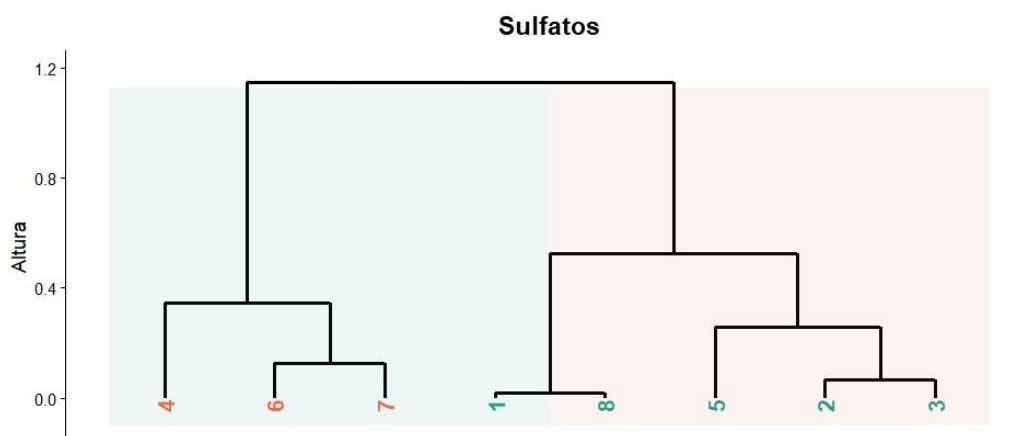


Figura 20. Dendrograma de disimilitud para los resultados de sulfatos.

Calidad del agua y contexto espacial

La figura 21 muestra un mapa con la capa tipo vector que se generó, la cual contiene los puntos muestreados y sus respectivos valores de cada parámetro. Se realizó con el objetivo de contar con una base de datos que pueda ser actualizada conforme se lleven a cabo nuevos muestreos

y así complementar el monitoreo ambiental. Así mismo, puede ser de mucha utilidad en futuros análisis espaciales como modelaciones de acumulación de flujo y de carga de los contaminantes.

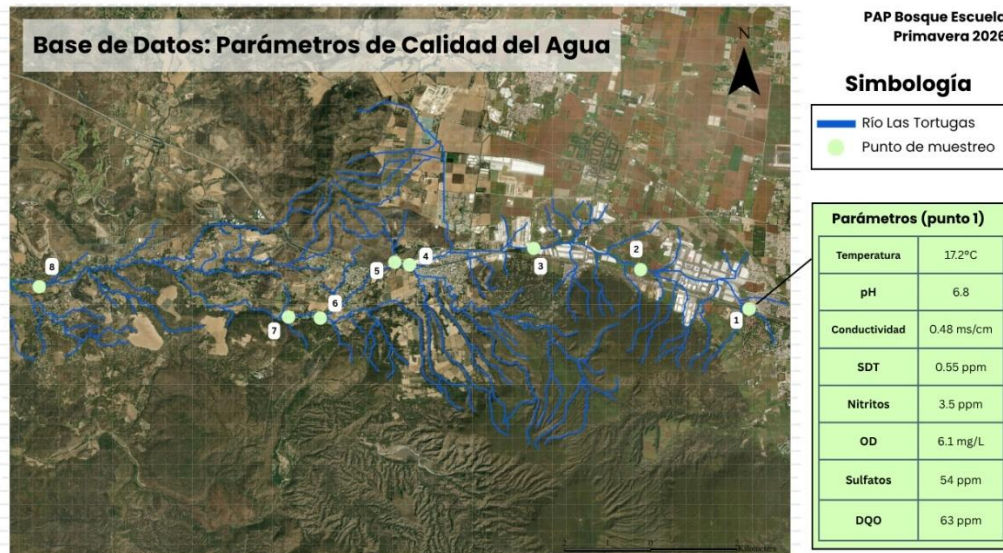


Figura 21. Base de datos con parámetros de calidad de agua en el Río Las Tortugas

En la siguiente figura presentamos una clasificación del uso de suelo y vegetación en el Río Las Tortugas, lo cual es clave para entender cómo la actividad humana y la vegetación interactúan, y como podrían revelar las influencias que tienen con la calidad del agua.

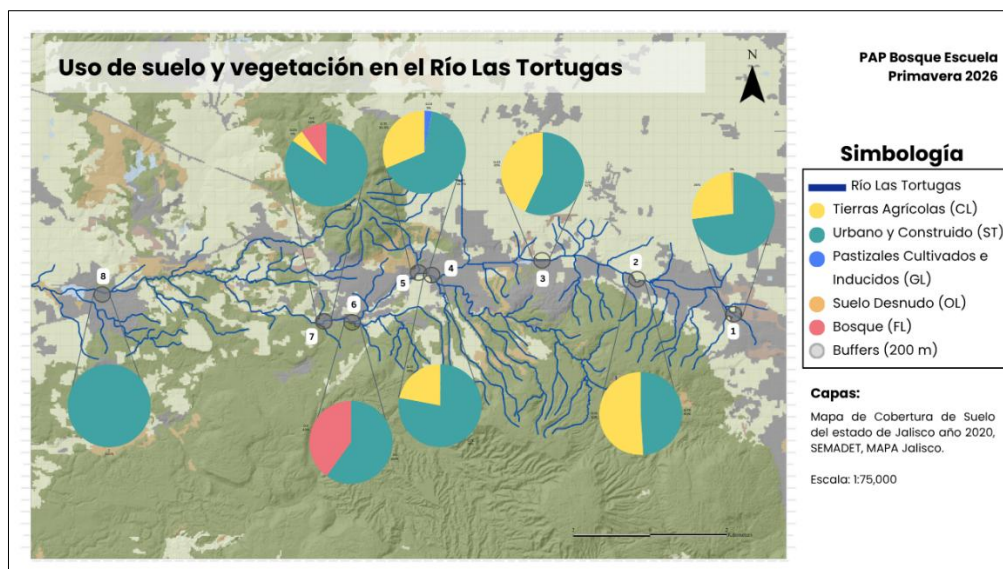


Figura 22. Mapa de uso de suelo y vegetación en los puntos muestreados en el Río Las Tortugas

A continuación, presentamos una interpretación del tipo de uso de suelo a través de los 8 puntos de muestreo (marcados con círculos grises):

FL (Verde intenso/oliva): Es la cobertura dominante en la parte superior e inferior del mapa. Representa la zona boscosa conservada de La Primavera. Los puntos de muestreo que colindan con esta zona suelen ser de referencia (aguas más limpias).

ST (Gris oscuro): Áreas urbanas y construcciones. Notamos cómo el cauce del río atraviesa estas zonas grises, lo que sugiere presión por descargas urbanas o escurrimientos de impermeabilización.

CL y GL (Tonos beige y marrón claro): Tierras agrícolas y pastizales. Rodean gran parte del cauce medio del arroyo, indicando que el agua recibe escurrimientos con posibles fertilizantes o pesticidas.

WL (Azul): Representa el cuerpo de agua (el río y sus afluentes).

Observando el recorrido del río, podemos inferir la situación de los puntos:

- P1: En el primer punto de "entrada" predomina el uso de suelo Urbano y Construido (ST), con una fracción significativa de Tierras Agrícolas (CL). Indica un inicio del río ya impactado por asentamientos humanos.
- P2 y P3: El segundo y tercer punto mantiene una composición similar de Tierras Agrícolas (CL) y suelo Urbano y Construido (ST), mostrando casi un 50/50 de ambos. Esto sugiere que el río comienza a recibir escurrimientos de parcelas de cultivo.
- P4: Al continuar con el punto 4, observamos una fuerte carga de suelo Urbano y Construido (ST), en comparación con los puntos anteriores.
- P5: En el quinto punto notamos que es el único punto que introduce una pequeña porción de Pastizales Cultivados e Inducidos (GL), aunque sigue dominado por el área urbana.
- P6: El punto 6 sigue siendo mayormente suelo Urbano y Construido (ST), pero el porcentaje restante corresponde a Bosque (FL), dada su cercanía con la vegetación del sur.
- P7: Al igual que el punto 6, el punto 7 se ve influenciado mayormente por área urbana (ST), complementado por Bosque (FL) y Tierras Agrícolas (CL).

- P8: Es el punto de cierre del área de estaudio. Aquí observamos una dominancia absoluta de Urbano y Construido (ST), representando el estado “final” del agua tras atravesar todo el arroyo.

El mapa revela una fragmentación del paisaje. Mientras las partes altas (norte y sur) mantienen su cobertura forestal (FL), el cauce principal del Arroyo Las Tortugas actúa como un receptor de las actividades en suelos ST y CL. A partir de los datos obtenidos con los buffers, se realizó el siguiente modelo Lag como se estableció en la metodología, exponemos el resultado en las siguientes figuras.

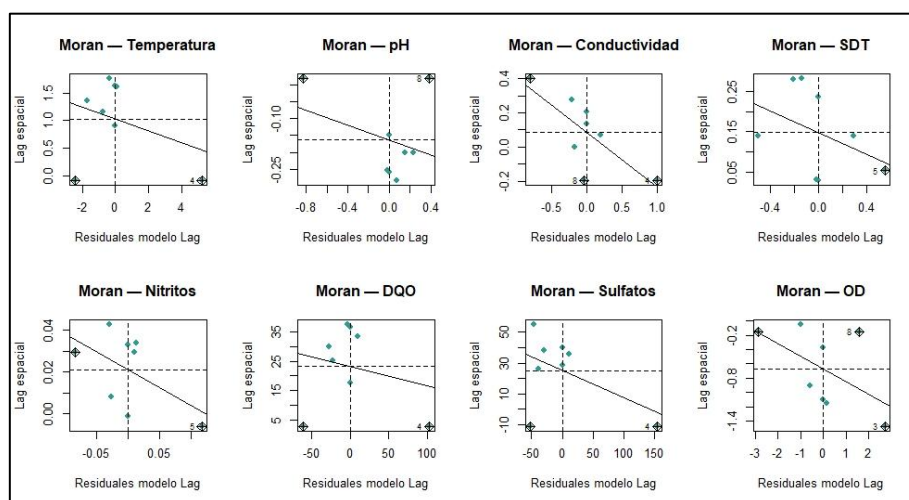


Figura 23. Moran para los residuales del modelo Lag

El primer paso consistió en ejecutar la modelación Lag para cada variable, como resultado todos los valores p (Anexo 13) indican que no existe autocorrelación entre la variable de tipo de uso de suelo con los parámetros de calidad, así como no influencia entre los puntos vecinos cercanos. Esto puede deberse a varios factores, principalmente a que son poco puntos de modelación, a la selección del modelo y a la capacidad propia del equipo.

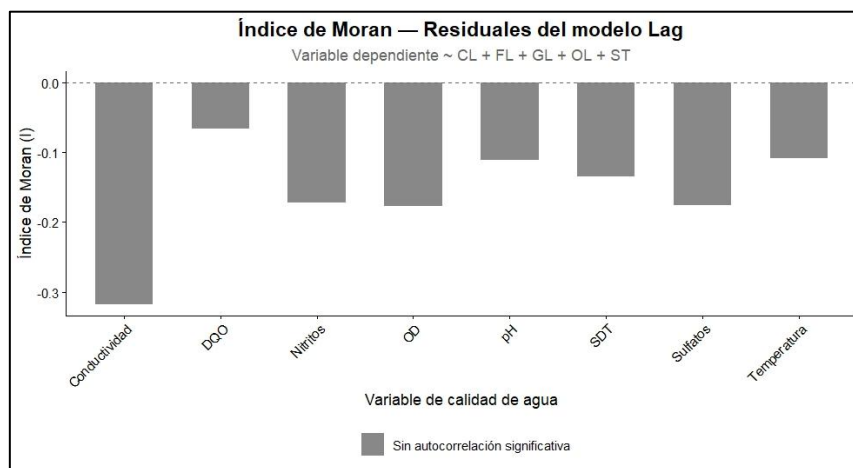


Figura 24. Índice de Moran para cada parámetro según el uso de suelo.

Discusión de resultados

El análisis de la calidad del agua en el Arroyo Las Tortugas evidencia una relación clara entre los parámetros físicoquímicos, las observaciones cualitativas y el contexto espacial del sistema, lo cual coincide con lo establecido por Omer (2019), quien señala que la evaluación integral de la calidad del agua debe considerar simultáneamente indicadores físicos, químicos y sensoriales. En este estudio, dicha integración permitió identificar patrones consistentes de degradación asociados a actividades antrópicas y procesos naturales.

Relación entre parámetros y fuentes de contaminación

Los resultados muestran que los puntos con mayor deterioro (principalmente 4, 5 y 6) presentan altos valores de DQO, conductividad y sólidos, junto con bajos niveles de oxígeno disuelto (OD), lo cual es característico de cuerpos de agua impactados por descargas orgánicas y urbanas. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado, ya que el incremento en la materia orgánica eleva la demanda de oxígeno y genera condiciones de hipoxia, afectando la biota acuática (Walling & Webb, 2024).

Se reconoce que la contaminación de cuerpos de agua es una problemática que se estudia cada vez más; por lo que es importante resaltar un ejemplo similar a los resultados reportados en otros ríos. Los valores de DQO registrados (3-151 ppm) y de sólidos suspendidos totales (SST) en el Arroyo Las Tortugas son comparables a los reportados en el Río Santiago, uno de los cuerpos de agua más contaminados de México. Kutralam-Muniasamy et al. (2022) documentaron concentraciones similares de DQO y SST en zonas del Santiago fuertemente impactadas por descargas industriales y domésticas, especialmente durante periodos de alta actividad urbana.

De igual forma, González-Díaz et al. (2025) reportaron un Heavy Metal Pollution Index (HPI) superior a 100 en múltiples estaciones de la cuenca Santiago-Guadalajara, clasificándola como de contaminación crítica, resultado que coincide con la elevada carga orgánica e inorgánica observada en nuestro estudio en los puntos 4, 5 y 6. Estos patrones son comunes en ríos urbanos de Latinoamérica, donde la falta de tratamiento de aguas residuales genera deterioro progresivo en el tramo medio del cauce.

Asimismo, la correspondencia entre parámetros cualitativos y cuantitativos es evidente: los puntos con coloración marrón o gris, alta turbidez y olores fuertes coinciden con mayores

concentraciones de SST, SDT y DQO (Anexos 4 y 6), lo cual refuerza la utilidad de los indicadores visuales como herramientas preliminares de diagnóstico ambiental (Omer, 2019).

En términos de origen, los resultados sugieren:

Contaminación doméstica: reflejada en bajos valores de OD (<1 mg/L) y olores a descargas sanitarias.

Aportes industriales: evidenciados por alta conductividad y valores puntuales de pH ácido.

Escurrimientos agrícolas: asociados a sólidos y posibles nutrientes derivados del uso de fertilizantes.

Interpretación espacial y dinámica del sistema

El análisis espacial indica que la calidad del agua está fuertemente condicionada por el uso de suelo. Las zonas con cobertura forestal presentan mejores condiciones, mientras que las áreas urbanas y agrícolas coinciden con un deterioro progresivo. Este patrón concuerda con lo señalado por Pineo et al. (2019), quienes establecen que la urbanización incrementa la carga contaminante debido a escurrimientos superficiales, descargas directas y la impermeabilización del suelo.

Contrario a lo planteado en la hipótesis H2, no se observa una tendencia lineal de deterioro o mejora aguas abajo. En su lugar, se identifican zonas de acumulación de contaminantes en áreas intermedias y una ligera recuperación en el punto final. Este comportamiento puede explicarse mediante procesos de autodepuración, como sedimentación, dilución y actividad biológica, los cuales forman parte de la dinámica natural de los sistemas fluviales (García, 2015).

Además, la fragmentación del paisaje observada en el mapa de uso de suelo evidencia que el río actúa como un integrador de las actividades de la cuenca, acumulando impactos a lo largo de su recorrido. Este enfoque coincide con lo propuesto en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, donde se destaca la importancia de analizar el sistema a escala de cuenca y no de manera aislada (Martínez et al., 2022).

Evaluación de hipótesis

A partir de los resultados podemos plantear una evaluación crítica de las hipótesis planteadas:

H1 (influencia de descargas):

- Altos valores de DQO: confirmada, consistente con la presencia de materia orgánica (Walling & Webb, 2024).
- pH ácido en zonas industriales: parcialmente confirmada, indicando variabilidad en las descargas.
- Alta conductividad: confirmada, asociada a contaminantes disueltos (Omer, 2019).
- Bajo OD aguas arriba: no confirmada, ya que los puntos de referencia presentan buena calidad.
- Altos SST aguas arriba: no confirmada, concentrándose en zonas intermedias.

H2 (variación espacial):

- Mayor DQO aguas arriba: no confirmada.
- Mayor contaminación aguas abajo: parcialmente confirmada, debido a procesos de acumulación y depuración simultáneos.

Estos resultados reflejan la complejidad de los sistemas fluviales, donde múltiples factores interactúan de manera no lineal.

Comparación con datos previos

La comparación con los datos del Tecnológico de Monterrey muestra coherencia en la identificación de puntos críticos con altas cargas contaminantes (DBO, DQO y SST). No obstante, las diferencias en magnitud sugieren variabilidad temporal y la influencia de eventos puntuales de descarga, lo cual es consistente con la naturaleza dinámica de los sistemas fluviales (Walling & Webb, 2024).

Implicaciones para la restauración y gestión

Los resultados evidencian un sistema fluvial con impacto antropogénico significativo en su tramo medio, caracterizado por altos niveles de materia orgánica e inorgánica, seguido de una recuperación parcial aguas abajo. De acuerdo con Martínez et al. (2022), la recuperación de ríos requiere acciones que incluyan control de fuentes de contaminación, restauración de zonas ribereñas y monitoreo continuo. Asimismo, el enfoque de “medicina fluvial” propone aprovechar la capacidad natural de autodepuración del río mediante la conservación de su estructura y funcionamiento ecológico (García, 2015). En este contexto, se sugieren acciones como:

- Implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Control de escurrimientos agrícolas mediante infraestructura verde.
- Conservación de zonas forestales como áreas de protección.

Limitaciones y perspectivas futuras

El estudio presenta limitaciones, como la falta de un análisis temporal, la ausencia de parámetros microbiológicos detallados, la estacionalidad (solo dos campañas de muestreo), la ausencia de análisis microbiológicos, metales pesados y contaminantes emergentes, y el número limitado de réplicas por punto. Sin embargo, proporciona una base sólida para futuras investigaciones.

Asimismo, se recomienda complementar futuros estudios con análisis biológicos y evaluaciones socioambientales para dimensionar los efectos en la salud y calidad de vida de los habitantes de La Primavera, con el fin de obtener una comprensión integral del estado del ecosistema; priorizando el control de descargas en el tramo medio del río (puntos 4 a 6), donde se concentra la mayor carga contaminante. Esto puede lograrse mediante la instalación de plantas de tratamiento compactas o sistemas de humedales artificiales que favorezcan la autodepuración natural mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Además de incluir un monitoreo mensual durante al menos un año hidrológico completo.

Se recomienda integrar análisis sociales y ecológicos, como percepción comunitaria y evaluación de biodiversidad acuática, en concordancia con enfoques actuales de gestión ambiental y planificación urbana sostenible (Pineo et al., 2019; Kirk, 2018).

También se recomienda que a futuro se añada la variable de grasas y aceites; ya que su determinación en ríos contaminados es fundamental como indicador de contaminación orgánica por descargas industriales, domésticas y agrícolas, ya que permite evaluar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT y detectar impactos ambientales como la disminución de oxígeno disuelto y afectación a la vida acuática. Aunque el método establecido por la norma y el método Soxhlet ofrece simplicidad y buena recuperación en muestras con alta materia orgánica insoluble, sus desventajas como alto consumo de hexano tóxico, largos tiempos de extracción, elevado costo de residuos peligrosos y alto impacto ambiental lo hacen poco recomendable su uso rutinario; por lo tanto, se sugiere validar y adoptar métodos

alternativos más rápidos, verdes y eficientes que reduzcan el uso de solventes y el tiempo de análisis.

Adicionalmente, sería conveniente implementar un programa de educación ambiental con la comunidad de La Primavera para reducir descargas domésticas y promover el uso responsable del río. Una alternativa a mediano plazo, podría ser un convenio interinstitucional (ITESO, SEMADET y municipio) para realizar monitoreo continuo y evaluar la efectividad de las medidas de remediación implementadas.

1.6. Bibliografía y otros recursos

Alarcón, J. J., et al. (2021). *Spatial and temporal variation of water quality in the Bogotá River, Colombia. Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 512. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09345-2>

Bivand R, Millo G, Piras G (2021). “A Review of Software for Spatial Econometrics in R.” *Mathematics*, *9*(11). doi:10.3390/math9111276 <https://doi.org/10.3390/math9111276>, <https://www.mdpi.com/2227-7390/9/11/1276>

Bivand R, Wong D (2018). “Comparing implementations of global and local indicators of spatial association.” *TEST*, *27*(3), 716-748. doi:10.1007/s11749-018-0599-x <https://doi.org/10.1007/s11749-018-0599-x>

Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). *The ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs*, 27(4), 325–349.

C+LAB. (2025, marzo). *Análisis de calidad del agua*.

Dirección General de Normas. (2016). NMX-AA-008-SCFI-2016. *Análisis de agua — Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas — Método de prueba* (Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de septiembre de 2016; vigente desde 8 de noviembre de 2016). Secretaría de Economía, México.

DOF (2022) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, *Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

Esri. (2026). *ArcGIS Pro [Software]*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute

- Esri (2026) *How Spatial Autoregression works*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.5/tool-reference/spatial-statistics/how-spatial-autoregression-works.htm>
- Esri (2026) *Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global)*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>
- García, J. H. (2015). *Medicina fluvial: Un nuevo paradigma en la conservación y restauración de los ríos bajo el enfoque de la geomorfología*. Jolube Consultor Botánico y Editor.
- Gobierno Municipal de Zapopan. (2020, julio). *Gaceta Municipal Vol. XXVII No. 40 Segunda época*. <https://servicios.zapopan.gob.mx:8000/wwwportal/publicfiles/202007/Gaceta%20Vol.%20XXVII%20No.%2040%20TIII.pdf>
- González-Díaz, R. L., et al. (2025). *Assessment of heavy metals in surface waters of the Santiago-Guadalajara River Basin, Mexico: Ecological and health risks*. *Hydrology*, 12(2), Article 37. <https://doi.org/10.3390/hydrology12020037>
- H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- HANNA instruments. (s. f.). *Chemical Oxygen Demand [Conjunto de datos]*. En *INSTRUCTION MANUAL*.
- ICPDR. (2022). *The Danube River Basin: Water quality status 2021*. International Commission for the Protection of the Danube River.
- IDEAM. (2017). *Instructivo de ensayo. Determinación demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría [conjunto de datos]*. En *instructivo de ensayo. Determinación demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I016+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DEMANDA+QU%C3%8DMICA+DE+OX%C3%8DGENO.pdf/c58c02a4-0861-4a59-a0c9-72393fc67733?version=1.0>
- Kirk, G. (2018). *Urban planning in a capitalist society*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429493891>
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., & Shruti, V. C. (2022). *Surface water quality in the upstream of the highly contaminated Santiago River (Mexico) during the COVID-19 lockdown*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), Article 428. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10058-9>

- Martínez, F. J. S., Magdaleno, G., & Aparicio, M. (2022). *La Estrategia Nacional de Restauración de Ríos 2022–2030*. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (135), 60–67.
- Merck KGaA. (s. f.). Nitrite Test Strips, colorimetric, 2–80 mg/L (NO_2^-), MQuant® (Producto n° 110007). Sigma-Aldrich. https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/mm/110007?srltid=AfmBOoonvFbOvn6JP7vypoLPS-xsliV_irfkUiF3llQ0hfLnOrjuDc72
- Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Borman T, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, Martino C, McGlinn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J (2026). *_vegan: Community Ecology Package_*. doi:10.32614/CRAN.package.vegan <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan>, Rpackage version 2.7-3
- Omer, N. H. (2019). *Water quality parameters*. En *Water quality: Science, assessments and policy* (pp. 1–34). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>
- Pineo, H., Zimmermann, N., & Davies, M. (2019). *Urban planning*. En *Urban health* (pp. 198–206). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/med/9780190915851.003.0025>
- Posit team (2025). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.
- Pueblos de México (s.f) *La Primavera* (Zapopan, Jalisco). <https://mexico.pueblosamerica.com/i/la-primavera-62/>
- Secretaría de Economía. (2013). NMX-AA-005-SCFI-2013: *Análisis de agua – Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/NMX-AA-005-SCFI-2013.pdf>
- Secretaría de Economía. (2014). NMX-AA-074-SCFI-2014, *Análisis de agua – Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/nmx-aa-074-scfi-2014.pdf>
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015: *Análisis de agua-Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba* (Norma Mexicana). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

SEMARNAT. (2023). *Informe de la calidad del agua en cuencas prioritarias de México 2022*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Syakti, A. D., et al. (2020). Water quality assessment of the Pasig River, Philippines: A multivariate analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110874. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110874>

Tal Galili (2015). *dendextend: an R package for visualizing, adjusting, and comparing trees of hierarchical clustering*. *Bioinformatics*. DOI:10.1093/bioinformatics/btv428

Universitat de Barcelona. (s.f.). [Artículo sobre restauración fluvial]. <https://revistes.ub.edu/index.php/b3w/article/view/26131>

Vries A, Ripley BD (2024). *_ggdendro: Create Dendrograms and Tree Diagrams Using 'ggplot2'_*.doi:10.32614/CRAN.package.ggdendro <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggdendro>, R package version 0.2.0

Walling, D. E., & Webb, B. W. (2024). *Water quality*. En *British rivers* (pp. 126–169). Routledge.

1.7. Anexos

Anexo 1. Listado de normas utilizadas para el análisis de las muestras tomadas del río Las Tortugas.

Variable	Norma Oficial Mexicana
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000
Turbidez	NMX-AA-038-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001
Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2006
Cloro	-
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001
Litio	-
Calcio (Dureza de calcio)	SM-3500-Ca B
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-2014
Grasas y aceites	NMX-AA-005-SCFI-2013
Sólidos suspendidos y disueltos totales	NMX-AA-034-SCFI-2015
DQO	NMX-AA-028-SCFI-2001
DBO	NMX-AA-12-SCFI-2001
Cenizas	-

Anexo 2. Resultados obtenidos en el muestreo previo efectuado por CIATEJ y el Tecnológico de Monterrey,

Parámetro	(V.I.)	Arturo	Presa	Cañón	Tubo
Coliformes fecales (NMP/100mL)	600	 170,000	 93,000	 16,000,000	 20,000
Grasas y aceites (mg/L)	21	 12.4	 14.4	 20.42	 932.4
Sólidos sedimentables (mL/L)	N.A.	 <0.50	 <0.50	 <0.50	 125.0
Cianuros (mg/L)	3	 <0.02	 <0.02	 <0.02	 <0.02
pH (Unidades de pH)	6 - 9	 7.52	 7.96	 7.5	 4.82
DBO (mg/L)	210	 9.12	 33.43	 133.74	 1,762.92
Materia flotante	N.A.	 Ausente	 Presente	 Ausente	 Presente
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	84	 2.0	 60.0	 111.11	 5,460.0
Nitrógeno total (mg/L)	35	 16.26	 19.21	 150.34	 177.63
Fósforo total (mg/L)	21	 1.81	 5.66	 6.4	 29.53
DQO (mg/L)	210	 15.84	 63.37	 253.47	 3,421.78

Anexo 3. Límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-2021, para el presente proyecto corresponde la columna de Ríos, arroyos, canales, drenes para VI (Valor Inmediato).

TABLA 1
Límites Permisibles

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
										P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helminths (huevos/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
Escherichia coli, (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6-9																	
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								
	436 nm									7,0 m ⁻¹								
	525 nm									5,0 m ⁻¹								
	620 nm									3,0 m ⁻¹								
Toxicidad aguda (UT)	2 a los 15 minutos de exposición																	
N.A.: No Aplica P.M.: Promedio Mensual P.D.: Promedio Diario V.I.: Valor Instantáneo NMP: Número más probable UpH: Unidades de pH UT: Unidades de Toxicidad * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli. * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.																		

Anexo 4. mediciones in situ

Punto	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (ms/cm)	Nitritos (PPM)	Color	Olor	Sólidos presentes
1	17.2	6.8	0.48	3.5	Claro, sin color	Nulo	Basura y musgos
2	21.9	7	1.11	3.5	Verde, turbio	Olor a descargas sanitarias	Poca basura
3	19.5	7.1	1.08	3.5	Marrón, turbio	Olor fuerte a residuos	Troncos y musgos
4	28.2	6.1	1.94	3.5	Gris, totalmente turbio	Olor muy fuerte a residuos	Mucha basura
5	18.9	6.5	3.58	1.5	Marrón, turbio	Fuerte	Troncos y musgos
6	21.9	6.7	2.66	2.5	Marrón, turbio	Medio	Troncos y musgos. Un poco de basura.
7	16.1	7	0.58	2.5	Claro, sin color	Nulo	Plantas (presencia de lenteja de agua)
8	18.18	7.4	0.73	2.5	Claro, sin color	Nulo	Limpio

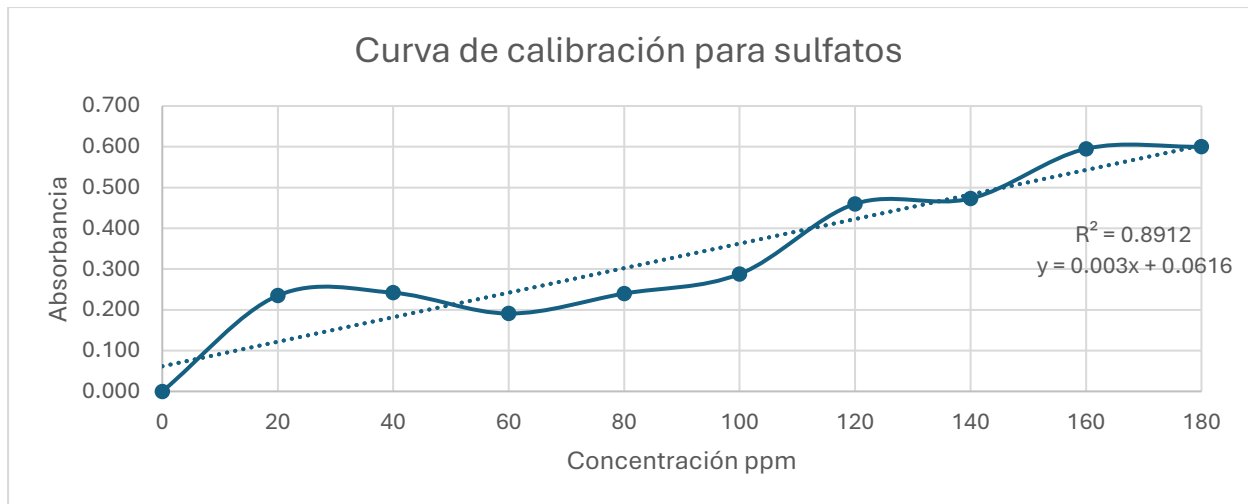
Anexo 5. Mediciones in situ II

Punto	OD (mg/L)	Cloro libre ppm	Cloro total ppm
1	6.1	0	0
2	1.3	0	0
3	8.5	0	0
4	0.5	0	0
5	0.34	0	0
6	0.36	0	0
7	0.26	0	0
8	1.94	0	0

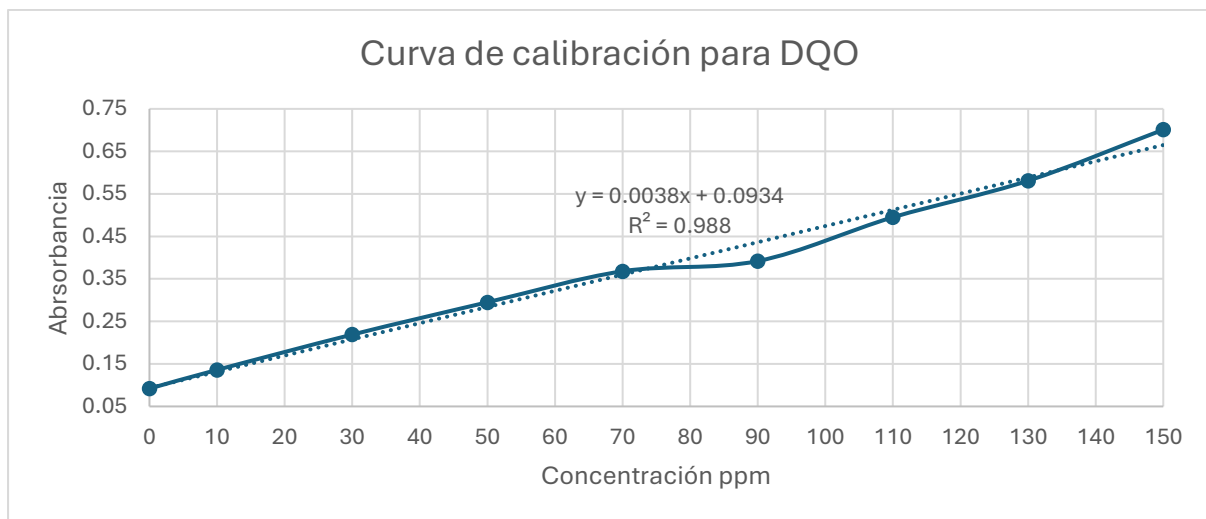
Anexo 6. Resultados del análisis de laboratorio

Punto	SDT (ppm)	SST (ppm)	SVT (ppm)	Sulfatos (ppm)	DQO (ppm)
1	0.55	0.36	0.00	54	63
2	0.76	1.28	0.54	28	3
3	0.75	1.42	0.50	32	4
4	1.36	2.62	0.68	>180	151
5	2.21	3.68	1.56	19	67
6	3.85	2.32	0.90	147	61
7	0.24	0.82	0.68	114	45
8	0.36	0.74	0.16	52	3

Anexo 7. Curva de calibración para determinar la concentración de sulfatos por turbidimetría



Anexo 8. Curva de calibración para determinar la concentración de DQO por colorimetría.



Anexo 9. Matrices de disimilitud por el método de Bray-Curtis

TEMPERATURA BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.120	0.063	0.242	0.047	0.120	0.033
Punto2	0.120	0.000	0.058	0.126	0.074	0.000	0.153
Punto3	0.063	0.058	0.000	0.182	0.016	0.058	0.096
Punto4	0.242	0.126	0.182	0.000	0.197	0.126	0.273
Punto5	0.047	0.074	0.016	0.197	0.000	0.074	0.080
Punto6	0.120	0.000	0.058	0.126	0.074	0.000	0.153
Punto7	0.033	0.153	0.096	0.273	0.080	0.153	0.000
Punto8	0.033	0.153	0.096	0.273	0.080	0.153	0.000
CONDUCTIVIDAD BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.396	0.385	0.603	0.764	0.694	0.094
Punto2	0.396	0.000	0.014	0.272	0.527	0.411	0.314
Punto3	0.385	0.014	0.000	0.285	0.536	0.422	0.301
Punto4	0.603	0.272	0.285	0.000	0.297	0.157	0.540
Punto5	0.764	0.527	0.536	0.297	0.000	0.147	0.721
Punto6	0.694	0.411	0.422	0.157	0.147	0.000	0.642
Punto7	0.094	0.314	0.301	0.540	0.721	0.642	0.000
Punto8	0.207	0.207	0.193	0.453	0.661	0.569	0.115
PH BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.014	0.022	0.054	0.023	0.007	0.014
Punto2	0.014	0.000	0.007	0.069	0.037	0.022	0.000
Punto3	0.022	0.007	0.000	0.076	0.044	0.029	0.007
Punto4	0.054	0.069	0.076	0.000	0.032	0.047	0.069
Punto5	0.023	0.037	0.044	0.032	0.000	0.015	0.037
Punto6	0.007	0.022	0.029	0.047	0.015	0.000	0.022
Punto7	0.014	0.000	0.007	0.069	0.037	0.022	0.000
Punto8	0.014	0.000	0.007	0.069	0.037	0.022	0.000
SDT BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.157	0.151	0.423	0.601	0.750	0.392
Punto2	0.157	0.000	0.007	0.284	0.490	0.672	0.518
Punto3	0.151	0.007	0.000	0.290	0.495	0.676	0.513
Punto4	0.423	0.284	0.290	0.000	0.239	0.479	0.699
Punto5	0.601	0.490	0.495	0.239	0.000	0.272	0.804
Punto6	0.750	0.672	0.676	0.479	0.272	0.000	0.883
Punto7	0.392	0.518	0.513	0.699	0.804	0.883	0.000
Punto8	0.202	0.348	0.342	0.576	0.716	0.827	0.207
NITRITOS BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40	0.167	0.167
Punto2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40	0.167	0.167
Punto3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40	0.167	0.167
Punto4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40	0.167	0.167
Punto5	0.400	0.400	0.400	0.400	0.00	0.250	0.250
Punto6	0.167	0.167	0.167	0.167	0.25	0.000	0.000
Punto7	0.167	0.167	0.167	0.167	0.25	0.000	0.000
Punto8	0.167	0.167	0.167	0.167	0.25	0.000	0.000
OD BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.649	0.164	0.848	0.894	0.889	0.918
Punto2	0.649	0.000	0.735	0.444	0.585	0.566	0.667
Punto3	0.164	0.735	0.000	0.889	0.923	0.919	0.941
Punto4	0.848	0.444	0.889	0.000	0.190	0.163	0.316
Punto5	0.894	0.585	0.923	0.190	0.000	0.029	0.133
Punto6	0.889	0.566	0.919	0.163	0.029	0.000	0.161
Punto7	0.918	0.667	0.941	0.316	0.133	0.161	0.000
Punto8	0.918	0.667	0.941	0.316	0.133	0.161	0.000
DQO BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.909	0.881	0.411	0.031	0.016	0.167
Punto2	0.909	0.000	0.143	0.961	0.914	0.906	0.875
Punto3	0.881	0.143	0.000	0.948	0.887	0.877	0.837
Punto4	0.411	0.961	0.948	0.000	0.385	0.425	0.541
Punto5	0.031	0.914	0.887	0.385	0.000	0.047	0.196
Punto6	0.016	0.906	0.877	0.425	0.047	0.000	0.151
Punto7	0.167	0.875	0.837	0.541	0.196	0.151	0.000
Punto8	0.167	0.875	0.837	0.541	0.196	0.151	0.000
SULFATOS BC							
Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5	Punto6	Punto7	Punto8
Punto1	0.000	0.317	0.256	0.635	0.479	0.463	0.357
Punto2	0.317	0.000	0.067	0.793	0.191	0.680	0.606
Punto3	0.256	0.067	0.000	0.766	0.255	0.642	0.562
Punto4	0.635	0.793	0.766	0.000	0.854	0.244	0.360
Punto5	0.479	0.191	0.255	0.854	0.000	0.771	0.714
Punto6	0.463	0.680	0.642	0.244	0.771	0.000	0.126
Punto7	0.357	0.606	0.562	0.360	0.714	0.126	0.000
Punto8	0.357	0.606	0.562	0.360	0.714	0.126	0.000

Anexo 10. Capas usadas para el análisis de información geográfica

Capa de información geográfica	Fuente y año
F13D55D3, Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
F13D55D4, Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
F13D55E3, Modelo digital de elevación de tipo terreno con resolución de 1.5 metros generado a partir de datos de altimetría del relieve.	INEGI, 2020
F13D55E4, Modelo digital de elevación de tipo terreno con resolución de 1.5 metros generado a partir de datos de altimetría del relieve.	INEGI, 2020
F13D65A1, Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
F13D65A2, Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
F13D65A3, Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
F13D65A4, Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados.	INEGI, 2017
Metadato del Mapa de Cobertura de Suelo del estado de Jalisco	SEMADET, 2020

Anexo 11. Script para matrices de disimilitud y dendrogramas en RStudio

```
# =====
# MATRICES DE DISIMILITUD Y DENDROGRAMAS
# Bray-Curtis por variable — Sin normalización
# =====

library(vegan)
library(ggplot2)
library(ggdendro)
library(dendextend)

# =====
# DATOS
# =====

datos <- data.frame(
  Temperatura = c(17.2, 21.9, 19.5, 28.2, 18.9, 21.9, 16.1, 18.18),
  pH           = c(6.8, 7.0, 7.1, 6.1, 6.5, 6.7, 7.0, 7.4),
  Conductividad = c(0.48, 1.11, 1.08, 1.94, 3.58, 2.66, 0.58, 0.73),
  SDT          = c(0.55, 0.755, 0.745, 1.355, 2.205, 3.85, 0.24, 0.365),
```

```

Nitritos      = c(3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 1.5, 2.5, 2.5, 2.5),
OD            = c(6.10, 1.30, 8.50, 0.50, 0.34, 0.36, 0.26, 1.94),
DQO          = c(63, 3, 4, 151, 67, 61, 45, 3),
Sulfatos      = c(54, 28, 32, 242, 19, 147, 114, 52),
row.names     = paste0("Punto", 1:8)
)

# =====
# MATRICES BRAY-CURTIS POR VARIABLE
# =====

dist_bc_temp  <- vegdist(datos[, "Temperatura", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_ph    <- vegdist(datos[, "pH", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_cond  <- vegdist(datos[, "Conductividad", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_sdt   <- vegdist(datos[, "SDT", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_nit   <- vegdist(datos[, "Nitritos", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_OD    <- vegdist(datos[, "OD", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_DQO   <- vegdist(datos[, "DQO", drop = FALSE], method = "bray")
dist_bc_sulf  <- vegdist(datos[, "Sulfatos", drop = FALSE], method = "bray")

cat("=== Bray-Curtis Temperatura ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_temp), 3))
cat("=== Bray-Curtis pH ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_ph), 3))
cat("=== Bray-Curtis Conductividad ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_cond), 3))
cat("=== Bray-Curtis SDT ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_sdt), 3))
cat("=== Bray-Curtis Nitritos ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_nit), 3))
cat("=== Bray-Curtis OD ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_OD), 3))
cat("=== Bray-Curtis DQO ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_DQO), 3))
cat("=== Bray-Curtis Sulfatos ===\n"); print(round(as.matrix(dist_bc_sulf), 3))

# =====
# LISTA DE DISTANCIAS
# =====

variables_bc <- list(
  Temperatura = dist_bc_temp,
  pH          = dist_bc_ph,
  Conductividad = dist_bc_cond,
  SDT         = dist_bc_sdt,
  Nitritos    = dist_bc_nit,
  OD          = dist_bc_OD,
  DQO         = dist_bc_DQO,
  Sulfatos    = dist_bc_sulf
)

# =====
# FUNCIÓN PARA COLOREAR SEGMENTOS POR GRUPO
# =====

colores_grupos <- c("#2A9D8F", "#E76F51")
get_segmentos_color <- function(hc, k = 2) {
  dend <- as.dendrogram(hc)

```

```

dend <- color_branches(dend, k = k, col = colores_grupos)
dd <- dendro_data(dend, type = "rectangle")
segs <- segment(dd)
labs <- label(dd)
grupos <- cutree(hc, k = k)
orden <- hc$order

labs$grupo <- grupos[labs$label]
labs$color <- colores_grupos[labs$grupo]
list(segs = segs, labs = labs)

}

# =====
# LÍMITES DEL EJE Y POR VARIABLE
# =====

limites_bc <- list(
  Temperatura = c(-0.25, 0.35),
  pH           = c(-0.08, 0.1),
  Conductividad = c(-0.6, 1.2),
  SDT          = c(-0.6, 1.2),
  Nitritos     = c(-0.3, 0.5),
  OD           = c(-0.3, 0.4),
  DQO          = c(-1, 2),
  Sulfatos     = c(-0.3, 1.2)
)

# =====
# DENDROGRAMA S - BRAY-CURTIS CON COLORES
# =====

for (nombre in names(variables_bc)) {
  hc <- hclust(variables_bc[[nombre]], method = "ward.D2")
  dend <- as.dendrogram(hc)
  dend <- color_branches(dend, k = 2, col = colores_grupos)
  dd <- dendro_data(dend, type = "rectangle")
  segs <- segment(dd)
  labs <- label(dd)

  # Asignar color a etiquetas según grupo

  grupos <- cutree(hc, k = 2)
  labs$color <- colores_grupos[grupos[labs$label]]

  p <- ggplot() +
    geom_segment(data = segs,
      aes(x = x, y = y, xend = xend, yend = yend),
      color = segs$col,
      linewidth = 1) +
    geom_rect(data = data.frame(
      xmin = c(0.5, 4.5),
      xmax = c(4.5, 8.5),
      ymin = limites_bc[[nombre]][1],
      ymax = max(segs$y) * 0.98

```

```

    ),
    aes(xmin = xmin, xmax = xmax,
        ymin = ymin, ymax = ymax),
    fill = c("#2A9D8F", "#E76F51"),
    alpha = 0.08,
    inherit.aes = FALSE) +
    geom_text(data = labs,
              aes(x = x, y = y, label = label),
              color = labs$color,
              hjust = 1, angle = 90,
              size = 4.5, fontface = "bold",
              nudge_y = -0.005) +
    scale_y_continuous(limits = limites_bc[[nombre]]) +
    labs(title = paste("Bray-Curtis -", nombre),
         x = "", y = "Altura") +
    theme_classic() +
    theme(
      axis.text.x = element_blank(),
      axis.ticks.x = element_blank(),
      plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 14, face
= "bold"),
      plot.background = element_rect(fill = "white", color = NA),
      panel.background = element_rect(fill = "white", color = NA),
      plot.margin = margin(15, 15, 50, 15)
    )
    print(p)
  }

```

Anexo 12. Scrip para modelo Lag e índice de Moran

```

# =====
# MODELO LAG ESPACIAL + TEST DE MORAN
# Variables de calidad de agua ~ Cobertura
# =====

library(spdep)
library(spatialreg)
library(ggplot2)

# =====
# COORDENADAS
# =====

coords <- data.frame(
  lat = c(20.717950, 20.727089, 20.730847, 20.727611,
          20.727456, 20.716681, 20.716850, 20.723620),
  lon = c(-103.479900, -103.504378, -103.527522, -103.553250,
          -103.554706, -103.570500, -103.573400, -103.628311)
)

# =====
# DATOS DE CALIDAD DE AGUA
# =====

```

```

calidad <- data.frame(
  Temperatura = c(17.2, 21.9, 19.5, 28.2, 16.1, 18.9, 21.9,
18.2),
  pH           = c(6.8, 7.0, 7.1, 6.1, 7.0, 6.5, 6.7,
7.4),
  Conductividad = c(0.48, 1.11, 1.08, 1.94, 0.58, 3.58, 2.66,
0.73),
  SDT          = c(0.550, 0.755, 0.745, 1.355, 2.205, 3.850,
0.240, 0.365),
  Nitritos     = c(3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 2.5, 1.5, 2.5, 2.5),
  DQO          = c(63, 3, 4, 151, 67, 61, 45, 3),
  Sulfatos     = c(54, 28, 32, 242, 19, 147, 114, 52),
  OD           = c(6.10, 1.30, 8.50, 0.50, 0.36, 0.26, 0.34,
1.94)
)

# =====
# DATOS DE COBERTURA
# =====

cobertura <- data.frame(
  CL = c(0.26, 0.51, 0.43, 0.22, 0.05, 0.00, 0.31, 0.00),
  FL = c(0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.10, 0.40, 0.00, 0.00),
  GL = c(0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.03, 0.00),
  OL = c(0.01, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00),
  ST = c(0.73, 0.49, 0.57, 0.78, 0.85, 0.60, 0.65, 1.00)
)

# Unir todo en un solo dataframe
datos_completos <- cbind(calidad, cobertura)

# =====
# MATRIZ DE PESOS ESPACIALES
# =====

xy      <- as.matrix(coords[, c("lon", "lat")])
vecinos <- knearneigh(xy, k = 3)
nb      <- knn2nb(vecinos)
pesos   <- nb2listw(nb, style = "W")

# =====
# MODELO LAG + MORAN SOBRE RESIDUALES
# =====

variables_calidad <- names(calidad)
resultados <- do.call(rbind, lapply(variables_calidad, function(var)
{
  # Fórmula del modelo
  formula_modelo <- as.formula(
    paste(var, "~ CL + FL + GL + OL + ST")
  )

  # Modelo Lag espacial
  modelo_lag <- lagsarlm(formula_modelo,
    data      = datos_completos,

```

```

listw      = pesos,
method     = "eigen")

# Extraer residuales del modelo Lag
res <- residuals(modelo_lag)
# Test de Moran sobre residuales del modelo Lag
test <- moran.test(res, pesos)
# Resumen del modelo
rho <- round(modelo_lag$rho, 4) # efecto espacial
data.frame(
  Variable = var,
  Rho      = rho,
  Moran_I  = round(test$estimate["Moran I statistic"], 4),
  Z_score  = round(test$statistic, 4),
  P_valor  = round(test$p.value, 4),
  Resultado = ifelse(test$p.value < 0.05,
    ifelse(test$estimate["Moran I statistic"] > 0,
      "Autocorrelación positiva",
      "Autocorrelación negativa"),
    "Sin autocorrelación significativa")
)
)))
print(resultados)

# =====
# GRÁFICO DE RESULTADOS
# =====

ggplot(resultados, aes(x = Variable, y = Moran_I, fill = Resultado))
+
  geom_bar(stat = "identity", width = 0.6) +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color =
"gray40") +
  scale_fill_manual(values = c(
    "Autocorrelación positiva"      = "#2A9D8F",
    "Autocorrelación negativa"     = "#E76F51",
    "Sin autocorrelación significativa" = "#888888"
  )) +
  labs(title      = "Índice de Moran – Residuales del modelo Lag",
    subtitle     = "Variable dependiente ~ CL + FL + GL + OL +
ST",
    x            = "Variable de calidad de agua",
    y            = "Índice de Moran (I)",
    fill         = "") +
  theme_classic() +
  theme(
    plot.title      = element_text(hjust = 0.5, size = 14, face =
"bold"),
    plot.subtitle   = element_text(hjust = 0.5, size = 11, color
= "gray40"),
    axis.text.x     = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    legend.position = "bottom"
  )
)

```

```
# =====
# MORAN PLOT POR VARIABLE
# =====

par(mfrow = c(2, 4))
for (var in variables_calidad) {
  formula_modelo <- as.formula(paste(var, "~ CL + FL + GL + OL +
ST"))
  modelo_lag      <- lagsarlm(formula_modelo,
                             data      = datos_completos,
                             listw     = pesos,
                             method    = "eigen")
  res <- residuals(modelo_lag)
  moran.plot(res, pesos,
             main = paste("Moran -", var),
             xlab = "Residuales modelo Lag",
             ylab = "Lag espacial",
             pch  = 19, col = "#2A9D8F")
}
```

Anexo 13. Resultados ρ de la modelación Lag

	Variable	Rho	Moran_I	Z_score	P_valor
rho	Temperatura	-1.2973	-0.1092	0.2649	0.3955
rho1	pH	-0.2032	-0.1107	0.2566	0.3988
rho2	Conductividad	-0.1400	-0.3173	-1.2096	0.8868
rho3	SDT	0.4562	-0.1351	0.0483	0.4807
rho4	Nitritos	-0.8659	-0.1723	-0.2052	0.5813
rho5	DQO	-0.1755	-0.0658	0.5646	0.2862
rho6	Sulfatos	-0.6507	-0.1752	-0.2627	0.6036
rho7	OD	-1.0621	-0.1764	-0.2093	0.5829

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

La calidad del agua del Arroyo Las Tortugas está fuertemente influenciada por el uso de suelo y las actividades humanas, lo cual coincide con la literatura sobre sistemas fluviales urbanos. Aunque algunas hipótesis se confirman, otras evidencian la complejidad del sistema y la interacción de múltiples factores. La presencia de procesos de autodepuración sugiere un potencial de recuperación, siempre que se implementen estrategias adecuadas de gestión y restauración basadas en un enfoque integral de cuenca.

En ese sentido, se debe reconocer al ecosistema no solo por los servicios ecosistémicos que brinda a la comunidad y a la ciudad, si no por su valor intrínseco junto con el resto de los

factores bióticos que lo conforman, la flora y fauna que también se ve afectada por esta contaminación. Es importante también mantener el foco en la comunidad que convive en su día a día con este cuerpo de agua y que desde hace años se han comprometido con una lucha socioambiental por la restauración del ecosistema, se reconoce la condición crítica del río por simple percepción y registro de las personas y los datos científicos obtenidos durante este trabajo no solamente ayudan a validar estas observaciones, fortalecen esta lucha y brindan herramientas para mantener el estudio científico de sitios contaminados como este.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Tras realizar los muestreos en las zonas afectadas y convivir con las personas que habitan en el pueblo La Primavera, pudimos sensibilizarnos en torno a su cotidianidad. Lo que para ellos es cotidiano, para nosotras es externo a nuestra realidad y crítico, fue común que personas se acercaran a nosotras durante los muestreos y nos preguntaran si estábamos estudiando “por qué el agua está cochina”. Este tipo de encuentros ayudaron a darle sentido a este trabajo, a evidenciar de la manera más clara y directa por qué es importante hacer estos estudios y poner atención a las comunidades vulnerables que ya luchan con los medios que tienen. Es de total importancia que instituciones como la nuestra brinden sus medios y privilegios a estos sectores.

3.2 Aprendizajes logrados

Durante este trabajo de investigación fue posible poner en práctica conocimientos obtenidos a lo largo del programa educativo al que pertenecemos los integrantes; estrategias de organización y planeación, administración de recursos, generar vinculaciones necesarias para llevar a cabo procesos de trabajo y sobre todo el análisis de datos para generar conclusiones y resultados.

De los aspectos más relevantes fueron el conocer los procesos administrativos para la reserva de espacios y materiales en los laboratorios del DPTI, así como la formulación de protocolos de laboratorio para llevar a cabo los análisis planteados. Se generaron relaciones académicas de apoyo con profesores y personal de almacén que brindaron seguridad al equipo.

También fue posible conocer nuevas herramientas de análisis como softwares, fuentes de información geográfica y modelos de información geográfica.

3.3 Congruencia con perfil de egreso

Humanidades	☐ Arquitectura	Choose an item.
	☐ Arte y creación	Choose an item.
	☐ Ciencias de la comunicación	Choose an item.
	☐ Ciencias de la educación	Choose an item.
	☐ Comunicación y artes audiovisuales	Choose an item.
	☐ Derecho	Choose an item.
	☐ Desarrollo Inmobiliario Sustentable	Choose an item.
	☐ Diseño	Choose an item.
	☐ Diseño de indumentaria y moda	Choose an item.
	☐ Diseño urbano y arquitectura del paisaje	Choose an item.
	☐ Gestión Cultural	Choose an item.
	☐ Gestión Pública	Choose an item.
	☐ Nutrición	Choose an item.
	☐ Periodismo y comunicación pública	Choose an item.
	☐ Psicología	Choose an item.
	☐ Publicidad y comunicación estratégica	Choose an item.
	☐ Relaciones internacionales	Choose an item.
	☐ Traducción e interpretación	
Ingenierías	☒ Ingeniería ambiental/ y tecnologías sustentables	Coordinar, planear y ejecutar programas, y proyectos para la gestión sustentable de recursos naturales y servicios ambientales desde una perspectiva económica y social que comprenda una visión holística y multidisciplinaria.
	☐ Ingeniería Civil	Choose an item.
	☐ Ingeniería de Alimentos	Choose an item.
	☐ Ingeniería Electrónica	Choose an item.
	☒ Ingeniería en Biotecnología	Diseñar, implementar, operar y mantener procesos eficientes y altamente productivos para la elaboración de bioproductos cuidando el balance económico y el impacto ambiental, mediante la integración de conocimientos de ingeniería y de procesos biotecnológicos
	☐ Ingeniería en Ciberseguridad	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Desarrollo de Software	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Inteligencia Artificial	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Mecatrónica	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Nanotecnología	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Negocios y Servicios Digitales	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Sistemas Computacionales	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Sistemas Digitales Embebidos	Choose an item.
	☐ Ingeniería Financiera	Choose an item.
	☐ Ingeniería Industrial	Choose an item.
	☐ Ingeniería Mecánica	Choose an item.
	☐ Ingeniería Química	Choose an item.
	☐ Ingeniería y Ciencia de Datos	Choose an item.
Negocios	☐ Administración de Empresas y Emprendimiento	Choose an item.
	☐ Comercio y Negocios Globales	Choose an item.
	☐ Contaduría y Gobierno Corporativo	Choose an item.
	☐ Finanzas	Choose an item.
	☐ Hospitalidad y Turismo	Choose an item.
	☐ Mercadotecnia y Dirección Comercial	Choose an item.
	☐ Negocios y Mercados Digitales	Choose an item.
	☐ Recursos Humanos y Talento Organizacional	Choose an item.