INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Centro Universitario de Incidencia Social

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de Sustentabilidad Socioambiental para el Desarrollo Inclusivo

ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara

PAP San Pedro Valencia: renovación urbana, saneamiento ambiental y emprendimientos turísticos

Gestión del territorio hidrosocial en las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio

PRESENTAN

Lic. en Ingeniería Ambiental: Celeste Quezada Rodríguez, Paola Coral Hernández Gómez, Pamela Michelle Vargas Palencia, María Saasil Macías García; Lic. en Ingeniería en Nanotecnología: Juan Carlos Herrera Novo

Profesor PAP: Héctor Morales Gil de la Torre, Brenda Valdéz García, Veyda Alcalá Camacho.

Tlaquepaque, Jalisco, Mayo de 2026.

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP 2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional 2
Resumen 0
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional 0
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto 1
1.2 Caracterización de la organización 1
1.3 Identificación de la(s) problemática(s) 2
1.4. Planeación de alternativa(s) 3
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora 3
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos 4
1.7. Bibliografía y otros recursos 4
1.8. Anexos generales 4
2. Productos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia 6
3.1 Sensibilización ante las realidades 6
3.2 Aprendizajes logrados 7

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los 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 este 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

El presente RPAP documenta el trabajo realizado durante el Verano 2026 en el PAP 1P02 “San Pedro de Valencia”, en colaboración con Resistencia Civil por el Valle y la Red de Monitoras y Monitores Comunitarios de la Calidad del Agua y la Defensa del Territorio (regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco).

El propósito general fue fortalecer la gestión del territorio hidrosocial de las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio mediante tres ejes complementarios: (1) análisis multicriterio de riesgo de contaminación apoyado en SIG para priorizar zonas de intervención (principio de Pareto); (2) diseño y construcción de módulos de biorremediación (Humedales Flotantes Artificiales – FTW) adaptados a capacidades comunitarias; y (3) automatización y comunicación pública del Índice de Calidad del Agua (ICA) a partir de datos de monitoreo ciudadano 2024-2026.

Se dio continuidad a diagnósticos previos, se actualizaron bases geoespaciales, se construyeron prototipos de FTW (aún no instalados por logística) y se generaron herramientas digitales (formulario, tablero Data Studio, mapa y gafetes) para que las comunidades se apropien del monitoreo y la interpretación.

Metodología: trabajo participativo, Análisis Multicriterio (amenaza-vulnerabilidad-sistemas afectados), fitorremediación y Weighted Arithmetic Water Quality Index (WAWQI).

Los productos orientan prevención, monitoreo, restauración y toma de decisiones comunitarias e institucionales.

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, construyen sus conocimientos para dar respuestas 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.

Durante el Verano 2026 se trabajó de forma coordinada en las microcuencas del río Salado (±45 906 ha) y del arroyo San Antonio (±27 549 ha), territorios hidrosociales interrelacionados. Objetivo general: generar información técnica-accesible y herramientas de acción que permitan a la Red de Monitores y a Resistencia Civil por el Valle priorizar, monitorear y restaurar zonas críticas de contaminación del agua.

Actores: estudiantes de Ingeniería Ambiental y Nanotecnología, monitores comunitarios de El Refugio, San Pedro Valencia, Santa Cruz de las Flores, Atotonilco el Bajo, etc., y la organización anfitriona.

Metodología general: lógica de proyecto participativo + SIG + fitorremediación + automatización de datos. Etapas: (1) actualización de bases y diagnóstico de riesgo; (2) diseño-construcción de FTW; (3) sistematización y comunicación del ICA.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

Se empleó una metodología híbrida:

Análisis Multicriterio (AMC) en QGIS/ArcGIS Pro (amenaza + vulnerabilidad + sistemas afectados → Índice de Riesgo Total, priorizado con Pareto 20 %).

Fitorremediación mediante FTW (plantas: Typha latifolia, Zantedeschia aethiopica, Azolla spp.).

Cálculo automatizado del ICA (WAWQI / Calmuc et al., 2018) con macros en Google Sheets + visualización en Data Studio y mapa.

Conceptos clave: territorio hidrosocial (Simón Ruiz & Aravena Rodríguez, 2020), amenaza-vulnerabilidad-sistemas afectados, fitorremediación, ICA.

Elementos de contexto: expansión de agave e industria, descargas domésticas/industriales, rezago social, Presa La Vega (Ramsar), Bosque La Primavera, acuíferos Arenal-Ameca-San Isidro. Datos de monitoreo 2024-2026 muestran fosfatos > NOM-127 y coliformes elevados.

La metodología permitió trabajo conjunto con actores locales y produce resultados transferibles.

1.2 Caracterización de la organización

Resistencia Civil por el Valle (El Refugio, Tala): organización comunitaria centrada en la defensa del derecho humano al agua, protección de ecosistemas y saneamiento mediante monitoreo, recorridos y vinculación académica (Zazueta, 2024; Montiel, 2026).

Red de Monitoras y Monitores Comunitarios de la Calidad del Agua y la Defensa del Territorio (regiones Valles, Centro y Lagunas): formalizada en 2025 a partir de grupos surgidos desde 2023 (tras el derrame de melaza 2013). Objetivos: monitoreo, intercambio de saberes, desarrollo de capacidades, propuestas de conservación/saneamiento y defensa del derecho al agua y al medio ambiente sano. Integrada por habitantes de Atotonilco el Bajo, El Refugio, Santa Cruz de las Flores, San Pedro Valencia, San Antonio Mazatepec y Teuchitlán. Usan métodos digitales (pH, OD, conductividad, E. coli, etc.).

Papel en el PAP: co-diseño, validación de datos, retroalimentación de productos y futuros implementadores.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

Problemática territorial: convergencia de amenazas (industrias, agave, agricultura, ganadería, rellenos, descargas) + vulnerabilidad (pendiente, permeabilidad, rezago social, recarga de acuíferos) + sistemas afectados (comunidades, concesiones, agricultura, ecosistemas) en las dos microcuencas.

Problemática técnico-comunitaria:

Falta de diagnóstico geoespacial actualizado y comparable.

Necesidad de acciones visibles de biorremediación de bajo costo y replicables.

Limitaciones en la interpretación y comunicación pública del ICA hacia las propias comunidades.

Datos de soporte: fosfatos 6.35 mg/L (límite 0.5 mg/L NOM-127), coliformes elevados, 69.22 ha de riesgo alto en río Salado y 115.55 ha en arroyo San Antonio.

1.4. Planeación de alternativa(s)

Tabla 2				
PROBLEMÁTICA GENERAL		Convergencia de factores de riesgo de contaminación del agua en las microcuencas del río Salado y arroyo San Antonio, con débil apropiación comunitaria de la información y de las soluciones.		
FIN U OBJETIVO ESPECÍFICO		Generar herramientas técnicas-accesibles (mapas de riesgo, FTW y sistema ICA) que orienten acciones prioritarias de prevención, monitoreo y restauración, fortaleciendo la gobernanza comunitaria del agua.		
	OUTPUT	Índice de Riesgo Total + mapas temáticos + material de divulgación	Dos prototipos FTW (PVC y PET) + manual de instalación/mantenimiento/monitoreo.	Formulario Google, tablero Data Studio, mapa ICA, bitácoras y gafetes QR.
	OUTCOME	Las comunidades usan la información para decidir dónde y cómo actuar.		
		RESULTADO 1	**RESULTADO 2**	**RESULTADO N**
LUGAR EN EL QUE SE REALIZA		Microcuencas río Salado y arroyo San Antonio (Tala, Tlajomulco, Acatlán de Juárez, etc.).		
DESTINATARIOS FINALES		Habitantes de las localidades y ecosistemas acuáticos.		
DESTINATARIOS DIRECTOS		Red de Monitores y Resistencia Civil por el Valle.		
ORGANIZACIONES ALIADAS		ITESO, CONAGUA, SEMARNAT, INEGI (fuentes de datos).		

Plan de trabajo: revisión de capas previas → ponderación y suma ráster → priorización Pareto → diseño-construcción FTW → automatización ICA → presentación comunitaria (11 julio 2026) → entrega de productos

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Orden cronológico (Verano 2026):

Actualización y corrección de bases geoespaciales (INEGI, CONAGUA, DENUE, Google Earth + campo). Aplicación de AMC idéntica a ambas microcuencas → mapas de amenaza, vulnerabilidad, sistemas afectados y riesgo total (Anexos del

reporte Geoespacial). Identificación de 69.22 ha (Salado) y 115.55 ha (San Antonio) de riesgo alto.

Diseño de FTW: selección de materiales (huacales, PVC/PET, malla sombra), plantas (tule, alcatraz, Azolla) y protocolo de monitoreo (línea base + aguas arriba/abajo). Construcción de dos prototipos (aún no instalados por logística).

Automatización ICA: formulario Google Forms, macros de cálculo (parámetros prioritarios), tablero Data Studio (3 páginas), mapa Google Maps, bitácoras actualizadas (72 copias) y 20 gafetes QR. Integración a la página web de la Red.

Herramientas: QGIS/ArcGIS, Google Sheets/Data Studio, materiales de bajo costo.

Resultados: productos técnicos + comunitarios (ver sección 2). Sin restricción de confidencialidad.

¿Cómo llegué a los resultados…? → Proceso participativo iterativo documentado en los tres reportes anexos.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Alcance: se cumplió el objetivo de generar herramientas prioritarias y accesibles. El criterio Pareto concentra la atención en < 1 % del territorio con mayor beneficio potencial. Los FTW son demostrativos y replicables; el sistema ICA elimina intermediarios y permite apropiación inmediata.

Aprendizajes transferibles: estandarización de capas, diseño modular de bajo costo, automatización con herramientas gratuitas. Elementos a completar: instalación y monitoreo de FTW, incorporación de metales pesados al ICA, actualización continua de capas. Continuidad y autogestión: productos entregados a la Red y validados en taller comunitario.

¿Cuáles son los aprendizajes y elementos que aseguran la continuidad…? → Propiedad comunitaria de las herramientas + manuales + retroalimentación positiva.

1.7. Bibliografía y otros recursos

[1] Comisión Estatal del Agua de Jalisco [CEA Jalisco]. (2015). Ficha técnica hidrológica municipal: Tala. Gobierno del Estado de Jalisco. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologic as/region2/tala.pdf

[2] Comisión Estatal del Agua de Jalisco [CEA Jalisco]. (s. f.). Plan de Manejo de la Presa La Vega: Resumen ejecutivo. Gobierno del Estado de Jalisco. http://www.web.valles.udg.mx/sites/default/files/resu men_ejecutivo.pdf

[3] Google. (2026). Google Earth Ganadería. https://earth.google.com/web/@20.56650106,-103.65394961,1473.62228839a,43247.87774606d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExS3Y1NnNMMFZJcjJaWUlyUi0xa3MyRnl2NEJhb3o2Z1ggAToDCgEwQgIIAEoICMzHjt8DEAE

[4] INEGI. (2023). Conjunto de datos vectoriales de la carta Edafología escala 1:250 000 Guadalajara. Inegi.org.mx. https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#descarg as

[5] Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG]. (2025a, noviembre). Tala: Diagnóstico del municipio. Gobierno del Estado de Jalisco. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2025/11/cuadernillos_municipales_tala_2025.pdf

1.8. Anexos generales

Anexo A: Reporte completo “Análisis multicriterio del riesgo de contaminación…” (Celeste Quezada & Paola Coral) + mapas.

Anexo B: Reporte completo “Elaboración de módulos de biorremediación…” (Juan Carlos Herrera, Pamela Vargas & Saasil Macías) + tablas de plantas y protocolo.

Anexo C: Reporte completo “Índice de calidad del agua, ICA…” (Pamela Vargas & Saasil Macías) + capturas de formulario/tablero/mapa.

2. Productos

Diagnóstico / Modelo
Producto 1: Mapas de Índice de Riesgo Total, amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados (río Salado y arroyo San Antonio) + material de divulgación comunitaria.
Modelo o prototipo
Producto 2: Dos módulos de Humedal Flotante Artificial (FTW) – uno con flotación PVC, uno con botellas PET – + manual técnico de instalación, mantenimiento y monitoreo.
Producto y aplicación digital / Técnica o herramienta
Producto 3: Formulario Google de monitoreo + macros de cálculo ICA + tablero Data Studio + mapa interactivo + bitácoras impresas + 20 gafetes QR. Integrados a la página web de la Red.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

Además de documentar la experiencia y dar cuenta de los productos y resultados a los que se llegó en el PAP, el RPAP también tiene como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

A lo largo del Verano 2026 se transitó de un acercamiento técnico a un posicionamiento ético-comunitario. Las visitas a El Refugio y las reuniones con monitores evidenciaron la tensión entre industrias/agave y el derecho al agua limpia. Sentimientos de urgencia y respeto ante el compromiso de las comunidades (especialmente tras el derrame 2013). La reflexión osciló entre razonamiento técnico (ponderaciones, Pareto) y creencias de justicia ambiental. El ejercicio profesional actual exige no solo diagnosticar, sino co-crear herramientas que las comunidades puedan sostener sin dependencia externa.

3.2 Aprendizajes logrados

Competencias disciplinares: manejo avanzado de SIG y AMC (Celeste, Coral); diseño de soluciones basadas en la naturaleza y selección de materiales/plantas (Juan, Pamela, Saasil); automatización de datos y comunicación pública de la ciencia (Pamela, Saasil).

Competencias sociales y universitarias: trabajo interdisciplinario, escucha activa, traducción de lenguaje técnico a comunitario, adaptación a limitaciones logísticas.

Aprendizajes profesionales, sociales y personales: el conocimiento ambiental adquiere valor cuando es apropiable; la priorización (Pareto) y la replicabilidad (FTW de bajo costo, herramientas gratuitas) son clave para la autogestión; la defensa del agua es un proceso colectivo de largo aliento.

Anexos

Análisis multicriterio del riesgo de contaminación para la gestión del territorio hidrosocial en las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio

Celeste Quezada Rodríguez
Paola Coral Hernández Gómez

Abstract. *El proyecto tuvo como objetivo identificar las zonas con mayor riesgo de contaminación en las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio mediante la aplicación de un Análisis Multicriterio apoyado en Sistemas de Información Geográfica. Para ello, se integraron variables de amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados, considerando factores como las actividades productivas, las condiciones naturales del territorio y los recursos que dependen del agua. Con esta información se elaboraron mapas que clasifican las zonas según su nivel de riesgo, utilizando el principio de Pareto como criterio de priorización, seleccionando el 20 % de los valores más elevados del índice. Esto permitió identificar los sitios donde las acciones de prevención, monitoreo y restauración podrían generar un mayor beneficio. Los resultados se complementaron con un material de divulgación dirigido a las comunidades para facilitar la comprensión de la metodología y sus hallazgos. The project aimed to identify the areas at highest risk of contamination in the Salado River and San Antonio Stream micro-basins by applying a Multi-Criteria Analysis supported by Geographic Information Systems. To this end, variables of hazard, vulnerability, and affected systems were integrated, considering factors such as productive activities, the natural conditions of the territory, and water-dependent resources. Maps were created using this information to classify the areas according to their level of risk, employing the Pareto principle as a prioritization criterion and selecting the 20% with the highest index values. This allowed for the identification of sites where prevention, monitoring, and restoration actions could generate the greatest benefit. The results were complemented by outreach materials for the communities to facilitate understanding of the methodology and its findings.*

1. Introducción y contextualización de la organización

El presente reporte documenta las actividades desarrolladas durante el Proyecto de Aplicación Profesional (PAP 1P02) San Pedro de Valencia: Renovación Urbana, Saneamiento Ambiental y Emprendimientos Turísticos, realizado durante el periodo Verano 2026 en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). El trabajo dio continuidad a los procesos de diagnóstico socioambiental iniciados en periodos anteriores y se orientó al fortalecimiento del análisis del riesgo de contaminación en las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio, consideradas como territorios interrelacionados por los procesos naturales, las actividades productivas y las comunidades que dependen del agua. El propósito general fue generar información técnica y accesible que contribuyera a reconocer zonas prioritarias y a orientar futuras acciones de prevención, monitoreo, restauración y saneamiento ambiental.

Durante este periodo se revisaron, corrigieron y actualizaron bases de datos y capas geoespaciales relacionadas con las condiciones ambientales, sociales y productivas de la microcuenca del río Salado. A partir de esta información se aplicó, con los mismos criterios metodológicos para los dos territorios, un Análisis Multicriterio (AMC) mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este procedimiento permitió integrar los componentes de amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados, elaborar mapas temáticos de riesgo, identificar las áreas donde convergen diversos factores de riesgo y analizar los elementos que tienen mayor presencia dentro de las zonas prioritarias. De esta forma, el proyecto no se limitó a localizar posibles fuentes de contaminación, sino que buscó comprender cómo se relacionan con las condiciones del territorio y con las personas, actividades y recursos que dependen de la calidad y disponibilidad del agua. Estos productos servirán como herramientas de apoyo para la Red de Monitores Comunitarios, Resistencia Civil por el Valle y demás actores involucrados en la gestión ambiental del territorio.

A continuación, se presenta una breve contextualización de la organización participante. El

proyecto se desarrolló en colaboración con Resistencia Civil por el Valle, una organización comunitaria integrada por habitantes de El Refugio, en el municipio de Tala, ubicada dentro de la microcuenca del río Salado, en el estado de Jalisco. Su labor se centra en la defensa del derecho humano al agua, la protección de los ecosistemas y la promoción de acciones orientadas al saneamiento ambiental mediante la participación de la ciudadanía (Zazueta, 2024). A través de actividades de monitoreo ambiental, recorridos de campo, recopilación de evidencia y vinculación con instituciones académicas, la organización busca generar información que contribuya a la conservación de los recursos hídricos y al fortalecimiento de la gobernanza ambiental de la región (Montiel, 2026).

Asimismo, el trabajo se realiza de manera coordinada con la Red de Monitores Comunitarios y con habitantes y representantes de comunidades relacionadas con las dos microcuencas, entre ellas El Refugio, San Pedro Valencia, Santa Cruz de las Flores y Atotonilco el Bajo, quienes contribuyen al reconocimiento de las condiciones ambientales y sociales del territorio, pues su conocimiento permite complementar la información técnica, reconocer las condiciones observadas en campo y mantener una perspectiva regional sobre la contaminación del agua. Así, los productos generados se concibieron como una herramienta de apoyo para las comunidades, organizaciones y actores que participan en la protección del río Salado y del arroyo San Antonio.

Para comprender esta relación se retomó el concepto de territorio hidrosocial, entendido como el espacio en el que el agua, los procesos naturales, las comunidades y las actividades sociales y económicas se influyen mutuamente. Desde esta perspectiva, una problemática relacionada con la calidad del agua no depende exclusivamente de la existencia de una fuente contaminante, sino también de las características ambientales y sociales que facilitan sus efectos y de los elementos que dependen del recurso hídrico (Simón Ruiz & Aravena Rodríguez, 2020). En el proyecto, la amenaza se entendió como las actividades o condiciones capaces de generar contaminación; la vulnerabilidad, como las características naturales y sociales susceptibles de sufrir afectaciones; y los sistemas afectados, como el conjunto de personas, actividades productivas, infraestructura y recursos vinculados con el agua que podrían resultar perjudicados.

A partir de estos componentes, el riesgo se interpretó como la posibilidad de que se presenten afectaciones relacionadas con la calidad del agua cuando convergen amenazas, condiciones de vulnerabilidad y elementos de los sistemas afectados. Por ello, una clasificación de riesgo alto señala espacios donde existen condiciones que justifican una atención prioritaria; el riesgo medio indica que existen condiciones que podrían favorecer futuras afectaciones; y riesgo bajo donde se presentan condiciones más favorables, pero deben conservarse y mantenerse bajo seguimiento. De este modo, el trabajo del verano comprendió tanto la producción de conocimiento técnico como su comunicación a las comunidades, con la intención de fortalecer la toma de decisiones y la responsabilidad compartida en el cuidado del agua.

2. Problemática atendida

La problemática atendida durante el PAP tuvo una dimensión territorial y otra técnico-comunitaria. En el territorio, el río Salado y el arroyo San Antonio atraviesan espacios donde convergen comunidades rurales y urbanas, actividades agrícolas y ganaderas, establecimientos industriales, infraestructura de saneamiento, áreas naturales y distintos usos del agua. En el ámbito técnico y organizativo, existía la necesidad de integrar la información dispersa sobre estas condiciones, actualizar y corregir las capas geográficas utilizadas en periodos anteriores y generar un diagnóstico comparable para ambas microcuencas que pudiera apoyar la toma de decisiones de Resistencia Civil por el Valle, la Red de Monitores Comunitarios y las localidades involucradas. El territorio estudiado se localiza en el centro-occidente de Jalisco y comprende sectores de las regiones Valles, Centro y Lagunas. Aunque las dos microcuencas mantienen relaciones territoriales y sociales entre sí, pertenecen a unidades hidrográficas diferentes. De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el río Salado se encuentra principalmente dentro de la Región Hidrológica Ameca, en la cuenca Presa La Vega-Cocula y la subcuenca Río Salado. En el municipio de Tala, esta región hidrológica comprende aproximadamente 87.47 % del territorio; entre sus corrientes perennes se encuentra el propio río Salado y entre sus cuerpos de agua se reconoce la Presa La Vega como sitio Ramsar, además, presenta una importante cobertura agropecuaria, presencia de humedales y el Bosque La Primavera como área natural protegida (INEGI, 2010a; IIEG, 2025; CEA Jalisco, 2015).

Para el presente proyecto se utilizó una delimitación de la microcuenca del río Salado de aproximadamente 45,906.30 hectáreas, en las que se encuentran localidades como Tala, El Refugio, Los Ruiseñores, Cuisillos, Ahuisculco, Las Navajas, entre otros, además de áreas agrícolas, zonas forestales, industrias y unidades ganaderas. Durante el proceso también se revisó y amplió su delimitación para representar adecuadamente su relación con la Presa de La Vega, debido a la importancia ambiental, productiva y social

que tiene el sistema hídrico para las localidades situadas aguas abajo, como Teuchitlán.

Por su parte, la delimitación utilizada para la microcuenca del arroyo San Antonio es de 27,549.09 hectáreas y se extiende por sectores del sur de Tala, el poniente de Tlajomulco de Zúñiga y el norte de Acatlán de Juárez. Dentro de su área de influencia se encuentran localidades y zonas próximas a San Antonio Mazatepec, San Pedro Valencia, San Isidro Mazatepec, Santa Cruz de las Flores y Cofradía, cuyos habitantes mantienen distintas relaciones con el agua para el abastecimiento, la agricultura, la ganadería y otras actividades productivas. Los mapas elaborados durante el proyecto muestran que esta microcuenca se prolonga desde las laderas del Cerro Viejo hacia los valles agrícolas ubicados alrededor de dichas comunidades y en dirección al sistema de la Presa Hurtado. Al contrastar esta delimitación con la regionalización hidrográfica oficial, el territorio del arroyo San Antonio se ubica en la Región Hidrológica Lerma-Santiago, dentro de la cuenca Lago de Chapala y la subcuenca Lago de San Marcos (INEGI, 2010b).

Las características del territorio explican la necesidad de analizar el riesgo desde una perspectiva integral, por ejemplo, el diagnóstico municipal de Tala más reciente reporta que la agricultura ocupa aproximadamente 45.3 % del municipio y el 33.8 % de su superficie forma parte del Área Natural Protegida Bosque La Primavera y una porción de la Presa de La Vega está reconocida como humedal de importancia internacional. En Tlajomulco de Zúñiga, la agricultura representa alrededor de 49.2 % del territorio municipal, mientras que los asentamientos humanos ocupan 16.8 %. Estos datos muestran que las microcuencas se encuentran en un territorio heterogéneo, donde las actividades productivas y el crecimiento urbano conviven con ecosistemas de relevancia ambiental y con comunidades que dependen del agua (IIEG, 2025a; IIEG, 2025b).

Dentro de este contexto, las comunidades han manifestado preocupación por diferentes procesos que pueden afectar la calidad y disponibilidad del agua. Entre ellos se encuentran la expansión de la agricultura y del cultivo de agave, el uso de fertilizantes y plaguicidas, la concentración de actividades industriales, la ganadería, el manejo inadecuado de residuos sólidos, la presencia de rellenos sanitarios y sitios con antecedentes de contaminación, las descargas de aguas residuales y las deficiencias en la infraestructura de tratamiento y alcantarillado. También se consideran los cambios de uso del suelo y la disminución de la cobertura vegetal, ya que pueden modificar la infiltración, incrementar el escurrimiento superficial y facilitar el transporte de sedimentos o contaminantes hacia los cauces. Estas actividades y condiciones se analizaron como amenazas potenciales, y se suman condiciones de vulnerabilidad relacionadas con la pendiente, la permeabilidad de los suelos, las zonas de recarga de acuíferos, la presencia de fauna en riesgo, las áreas naturales protegidas, los servicios de salud y el rezago social. Asimismo, dentro de los sistemas afectados se consideraron las personas, comunidades, actividades productivas, concesiones de agua, infraestructura y recursos naturales que requieren agua de buena calidad. Por esta razón, una misma actividad, como la agricultura, la industria o la ganadería, puede funcionar como una amenaza potencial cuando se genera residuos o escurrimientos y, al mismo tiempo, formar parte de los sistemas afectados debido a su dependencia del recurso hídrico.

La necesidad específica atendida fue, por tanto, la falta de un diagnóstico geoespacial integrado y actualizado que permitiera comprender cómo convergen estos componentes dentro de los dos territorios hidrosociales. Aunque se contaba con información y avances de semestres anteriores, fue necesario revisar las delimitaciones, corregir geometrías y sistemas de referencia, actualizar datos, incorporar nuevas variables y unificar los criterios de ponderación para aplicar la misma metodología al río Salado y al arroyo San Antonio. Por lo tanto, el reto fue producir información territorial técnicamente sustentada que pudiera ser interpretada y utilizada por diversos actores. De esta manera, la problemática atendida se definió como la necesidad de identificar y explicar las zonas donde existe una mayor convergencia de amenazas, condiciones de vulnerabilidad y elementos de los sistemas afectados, con el propósito de establecer prioridades para la prevención, el monitoreo y la restauración. Por consiguiente, un nivel de riesgo alto presenta una combinación de condiciones que incrementa la posibilidad de una problemática socioambiental y que justifica una atención prioritaria. Los resultados fueron posteriormente traducidos al entregable comunitario, procurando que el análisis fuera una herramienta para orientar acciones de protección del agua y del territorio compartido.

3. Resultados

Como resultado del proyecto se elaboraron mapas que representan la distribución espacial de las amenazas, las condiciones de vulnerabilidad, los sistemas afectados y el riesgo total para las microcuencas del río Salado y del arroyo San Antonio (véase Anexo). Posteriormente, se realizó una evaluación detallada de las zonas clasificadas con riesgo alto, medio y bajo, con el propósito de identificar las variables con mayor influencia en cada territorio e interpretar las condiciones que explican su priorización.

Las zonas de riesgo alto se definieron mediante una adaptación del Principio de Pareto, utilizado como criterio de priorización territorial. Primero se integraron en un índice de riesgo, es decir, el índice

que representa la probabilidad relativa de que un territorio presente afectaciones relacionadas con la contaminación del agua, considerando la interacción entre las capas de amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados; después se reclasificaron los valores obtenidos y se seleccionó como riesgo alto el 20 % con las puntuaciones más elevadas. Por tanto, esta categoría representa las áreas donde existe una mayor convergencia de actividades con potencial contaminante, condiciones que pueden facilitar la dispersión o permanencia de contaminantes y elementos que dependen de la calidad del agua.

El principio de Pareto plantea que, en muchos fenómenos, cerca del 80 % de los efectos se concentran en aproximadamente el 20 % de las causas o factores, es decir, establece que una proporción reducida de factores puede concentrar una parte importante de los resultados (Sales, 2013). Se utilizó como una herramienta práctica para responder a la pregunta: ¿en qué lugares conviene actuar primero para obtener el mayor beneficio posible para la microcuenca? Así, las zonas de riesgo alto orientan acciones de prevención, monitoreo, restauración, mitigación o control, pero no demuestran por sí mismas que exista contaminación actual. De manera preliminar, se observó que las zonas con mayor nivel de riesgo se localizan principalmente en pueblos o áreas cercanas a poblaciones, donde existe una mayor concentración de personas, animales, industrias y otras actividades que pueden representar amenazas importantes para el territorio. Estas condiciones generan una combinación de factores que incrementan la vulnerabilidad y afectan tanto a los ecosistemas como a las comunidades presentes, provocando impactos a corto y largo plazo. Por ello, el análisis busca identificar con mayor precisión cuáles son los elementos que están contribuyendo al deterioro ambiental dentro de estas zonas, con la finalidad de localizarlos espacialmente y generar información útil para diseñar estrategias de prevención, monitoreo y acción. Los impactos del proyecto se reflejan en tres niveles: técnico, mediante la generación de mapas; social, al fortalecer el conocimiento comunitario; y ambiental, al sentar bases para futuras acciones de gestión y restauración del territorio

Microcuenca del río Salado

Se identificaron 69.22 hectáreas de riesgo alto. En el mapa, estas zonas se concentran principalmente en el corredor comprendido entre El Refugio y Tala, así como en sectores cercanos a Los Ruiseñores, con algunos polígonos aislados en otras áreas de la microcuenca.

Dentro de estas zonas se localizaron 58 establecimientos industriales, entre las actividades con mayor ponderación se encuentran Granvita, Fanosa Tala, Alpha Industry Jalisco, Industrias Unypanel, Especialidades Agrícolas e Industriales y el Ingenio de Tala. También se identificaron 5.92 hectáreas de cultivo de agave, equivalente a cerca de una quinta parte de la superficie analizada para este cultivo, y 69.11 hectáreas de agricultura, principalmente de riesgo semipermanente y temporal anual; estas actividades pueden favorecer el transporte de suelo, nutrientes, fertilizantes y plaguicidas mediante el escurrimiento durante las lluvias. Se localizaron, además, dos sitios de disposición de residuos dentro del área de influencia: el Basurero Municipal de El Arenal y Corral Falso. Aunque no se identificaron sitios contaminados ni plantas de tratamiento dentro de las zonas de riesgo alto, esos espacios requieren vigilancia por la posible generación e infiltración de lixiviados. También se identificaron siete unidades pecuarias que pueden aportar materia orgánica, nutrientes y microorganismos cuando los residuos no se manejan adecuadamente o las unidades se encuentran próximas a los escurrimientos.

Las localidades con condiciones de rezago social, entre ellas El Refugio, Ingenio de Tala, Los Ruiseñores y Cuisillos, pueden limitar su capacidad para prevenir, atender o recuperarse ante problemas relacionados con la calidad del agua, lo que los convierte en sectores prioritarios para fortalecer la información, la organización comunitaria y la gestión del riesgo. Dentro del riesgo se localizaron 67.90 hectáreas de zonas de recarga de acuíferos, suelos que pueden favorecer la infiltración o el transporte superficial de contaminantes. En cuanto al suelo, predominan las texturas de permeabilidad media y baja, que pueden favorecer el transporte superficial de contaminantes. Además, se registraron tres especies de fauna: huilota común, murciélago magueyero menor y venado cola blanca. También se localizaron tres centros de salud dentro del área prioritaria. Estos elementos muestran que un eventual deterioro del agua tendría tanto consecuencias ambientales como afectación a hábitats y a la población.

Predominan las pendientes medias, con 50.42 ha, seguidas por las pendientes altas, con 11.68 hectáreas, facilitando el transporte de sedimentos y sustancias mediante escorrentía. Además, las 15.35 hectáreas del riesgo alto se encuentran ubicadas dentro del Área Natural Protegida Bosque La Primavera. Por ello, estas zonas requieren acciones de monitoreo, manejo adecuado de residuos y prácticas preventivas en las actividades agrícolas, industriales y pecuarias.

Las industrias identificadas dependen directamente del agua para desarrollar sus procesos productivos, por lo que también podrían resultar perjudicadas por una disminución en su calidad o disponibilidad. De igual forma, las superficies agrícolas de riesgo semipermanente y temporal anual requieren agua adecuada para conservar la productividad y la calidad de sus cultivos. Aunado a esto, en la zona se identificó la presencia de los acuíferos Arenal y Ameca,

fundamentales para el abastecimiento regional. También se localizaron concesiones de agua de uso agrícola e industrial.

Microcuenca del arroyo San Antonio

En el arroyo San Antonio se identificaron 115.55 hectáreas de riesgo alto. El mapa presenta varios núcleos discontinuos, principalmente en sectores del centro y sur de la microcuenca, próximos a localidades y zonas productivas del corredor de San Isidro Mazatepec, Cruz Vieja, Santa Cruz de las Flores, Buenavista, etc.

En estas áreas se identificaron industrias relacionadas con el saneamiento, los agroquímicos y otras actividades productivas, como Agroguzmán, Bodega Gráfica Jalisco y Excelencia en Soluciones Técnicas, así como superficies agrícolas, con predominio de la agricultura temporal, que ocupa 83.19 hectáreas, además de unidades ganaderas cuya cercanía con los escurrimientos puede favorecer el aporte de materia orgánica y nutrientes.

La mayor parte de la zona prioritaria coincide con el sistema fluvial y presenta principalmente suelos de permeabilidad media. Asimismo, predominan los suelos con textura y permeabilidad media, con 36.20 hectáreas, seguidos por los de alta permeabilidad, con 14.42 hectáreas, y los de baja permeabilidad, con 4.42 hectáreas. Los primeros pueden permitir tanto la infiltración como el movimiento superficial, mientras que los suelos más permeables aumentan la posibilidad de que las sustancias alcancen el subsuelo. También se registraron grupos de fauna como mariposas, abejas, abejorros, libélulas y diferentes anfibios. Aquí, la presencia de polinizadores y especies sensibles a los cambios ambientales muestra la importancia ecológica del territorio y su posible afectación ante el deterioro del agua y los hábitats. En cuanto a la pendiente, predominan las superficies bajas y medias, con 55.46 y 55.21 hectáreas, respectivamente; las primeras pueden favorecer la acumulación e infiltración, mientras que las medias pueden aumentar el transporte de posibles contaminantes durante las lluvias.

La microcuenca se encuentra sobre el acuífero San Isidro, por lo que la infiltración de contaminantes podría comprometer una fuente relevante de abastecimiento. También se identificaron concesiones de agua de uso público, agrícola, industrial e inmobiliario. Entre ellas destaca Natures Invernaderos, con un volumen de extracción de 1,177,344 m^3, lo que refleja la alta dependencia del recurso hídrico en esta zona.

En conjunto, estos hallazgos se integraron tanto en el análisis técnico como en el entregable comunitario, donde se explicaron mediante un lenguaje más accesible y visual. El criterio de Pareto permitió concentrar el diagnóstico en una superficie reducida donde las intervenciones podrían producir mayores beneficios para la protección del territorio hidrosocial.

4. Metodología de trabajo

Se aplicó la misma metodología en ambas microcuencas, con ajustes únicamente en las variables disponibles para cada territorio. El proceso comenzó con la revisión del trabajo realizado en periodos anteriores y la recopilación de información geoespacial proveniente de fuentes oficiales como INEGI, CONAGUA, CONABIO, DENUE, SEMARNAT, complementada con Google Earth y observaciones del equipo. Las capas se organizaron en tres componentes: amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados.

Para el río Salado se analizaron como amenazas las industrias, el cultivo de agave, la agricultura, los rellenos sanitarios, los sitios contaminados, las plantas de tratamiento y la ganadería. En vulnerabilidad se consideraron el rezago social, los servicios ambientales (recarga de acuíferos), la edafología, la fauna en riesgo, los establecimientos de salud registrados, la ganadería, la pendiente y las áreas naturales protegidas. Los sistemas afectados incluyeron las industrias, la agricultura, el agua subterránea, las concesiones de agua y la ganadería. Para el arroyo San Antonio se utilizaron industrias, agave, agricultura, plantas de tratamiento y ganadería como amenazas; rezago social, servicios ambientales (recarga de acuíferos), edafología, fauna, establecimientos de salud registrados, ganadería y pendiente como variables de vulnerabilidad; e industrias, agricultura, agua subterránea, concesiones y ganadería como sistemas afectados. Posteriormente, las capas se cargaron en QGIS o ArcGIS Pro, se ajustaron al mismo sistema de coordenadas y se recortaron con la delimitación de cada microcuenca. Dependiendo del tipo de información, se aplicaron procesos de geoprocesamiento como áreas de influencia o *buffers*, uniones y recortes, con el fin de representar la posible influencia espacial de cada variable.

La ponderación se realizó en una escala común de 0 a 1. Algunas variables se calificaron según presencia o ausencia: se asignó 0 cuando el elemento no estaba presente y 1 cuando se encontraba dentro del territorio analizado. Este procedimiento se utilizó para: agricultura, rellenos sanitarios, rezago social, recarga de acuíferos, fauna en riesgo y establecimientos de salud. En estas capas la ponderación no representa la intensidad del fenómeno, sino únicamente su presencia espacial. Mientras que otras se clasificaron en niveles bajo, medio y alto, con valores de 0, 0.5 y 1, respectivamente. Entre ellas se encuentran:

- Edafología: los suelos de textura gruesa recibieron 0, los de textura media 0.5 y los de textura fina 1.
- Pendiente: las pendientes bajas se calificaron con 0, las medias con 0.5 y las altas con 1.
- Industrias como sistema afectado: se evaluó su dependencia del agua; la dependencia baja recibió 0, la media 0.5 y el alta 1.

Para las variables evaluadas mediante varios criterios, cada pregunta se calificó con valores de 0 hasta 1, de acuerdo con el nivel de contribución al componente analizado. Posteriormente, las calificaciones obtenidas se sumaron y se dividieron entre el número total de criterios evaluados (véase Ec. 1), obteniendo una ponderación final entre 0 y 1 para cada elemento. Este procedimiento permitió integrar en un solo valor la influencia conjunta de todos los criterios considerados. Por ejemplo, si una variable fue evaluada mediante cinco preguntas y obtuvo calificaciones 1, 0.5, 1, 0.5 y 0.5, la suma corresponde a 3.5; al dividir este valor entre cinco criterios, la ponderación final es de 0.7.

$$Ponderación\ final = \frac{suma\ de\ las\ calificaciones}{número\ de\ criterios} \qquad \text{Ec. 1}$$

En el componente de amenaza, este procedimiento se aplicó a:

- Industrias: se evaluó si generaban residuos peligrosos. La ausencia recibió 0; la generación de residuos, 0.5; y la generación de residuos peligrosos, 1. Asimismo, el giro de las empresas (agrícola: 1, urbano: 0.5, energía: 0.4, industrias: 0.3, servicios: 0.2, salud: 0.2, alimentos: 0.1) de acuerdo con el consumo potencial de agua asociado al giro de la empresa. Por último, cuántas personas trabajan en los establecimientos (0 a 5: 0, 6 a 10: 0.2, 11 a 30: 0.3, 31 a 50: 0.5, 51 a 100: 0.7, 101 a 250: 0.9 y 251 y más: 1).
- Plantas de tratamiento: eficiencia del tratamiento, lugar de la descarga, posibilidad de fallas o descargas sin tratar, capacidad para evitar infiltraciones y suficiencia de la planta.
- Ganadería: manejo de estiércol y orina, cercanía con cuerpos de agua, posibilidad de escurrimientos, permeabilidad del suelo y cantidad de animales. Para esta capa en específico se realizó una revisión manual en Google Earth para identificar ranchos y unidades pecuarias, digitalizarlas y agregar la información a QGIS. En vulnerabilidad, la ganadería se evaluó considerando la dependencia comunitaria de esta actividad, su dependencia del agua y del suelo, su susceptibilidad ante sequías o contaminación, la posible sobreexplotación del suelo y su relación con ecosistemas sensibles.

En sistemas afectados se utilizaron matrices para:

- Agua subterránea: dependencia del acuífero, susceptibilidad a la contaminación, nivel de explotación, recarga natural y posibles efectos sobre la disponibilidad del agua.
- Concesiones de agua: se ponderó según el nivel de extracción como alto, medio y bajo.
- Ganadería: dependencia del agua local, afectación potencial de la producción, intensidad de la actividad, susceptibilidad ante cambios ambientales y consumo de agua de los animales.

Una vez obtenida la ponderación de cada elemento, los valores se incorporaron a las tablas de atributo y se transformaron a formato ráster. Las capas estandarizadas se sumaron sin aplicar un porcentaje adicional entre ellas; por tanto, cada variable aportó entre 0 y 1 al resultado de su componente. Los rásteres se sumaron mediante la calculadora ráster para obtener un mapa independiente de amenaza, otro de vulnerabilidad y otro de sistemas afectados, los cuales se integraron para generar el Índice de Riesgo Total de cada microcuenca. El riesgo representa, por tanto, la convergencia espacial de actividades con potencial contaminante, condiciones que pueden facilitar una afectación y elementos que dependen de la calidad del agua.

Para clasificar los resultados se utilizó el Principio de Pareto como criterio de priorización territorial. El 20 % superior del intervalo de valores del índice se clasificó como riesgo alto, identificando los sitios donde una intervención podría producir un mayor beneficio en toda la microcuenca. El 80 % restante se dividió en dos categorías: riesgo medio (40 %), correspondiente a zonas donde existen condiciones que requieren seguimiento y monitoreo, y riesgo bajo (40 %), que identifica áreas con menor convergencia de estos componentes y, por lo tanto, con menor prioridad de intervención. Finalmente, las zonas de riesgo alto, medio y bajo se convirtieron nuevamente en polígonos y se interceptaron con las capas originales, lo cual permitió identificar los establecimientos, localidades, superficies agrícolas, unidades ganaderas, acuíferos, concesiones y demás elementos presentes en las áreas prioritarias. La información resultante se exportó a tablas para calcular superficies, revisar ponderaciones e interpretar los resultados presentados en los mapas y en el entregable comunitario.

5. Competencias

Celeste Quezada: Como estudiante de Ingeniería Ambiental, logré aplicar mis conocimientos sobre el uso de Sistemas de Información Geográfica al realizar un Análisis Multicriterio para la microcuenca del río Salado, así como a impulsar mis habilidades de análisis para completar el análisis de riesgo de la microcuenca del río San Antonio. Considero que aprendí un mejor manejo de ArcGIS Pro para la elaboración de mapas de riesgo, y también desarrollé competencias para buscar, seleccionar y organizar

información, así como para evaluar su utilidad, escala y nivel de actualización. En general, el proyecto me permitió mejorar mi capacidad de análisis, ya que fue necesario relacionar datos de distinta naturaleza y justificar los criterios utilizados en las ponderaciones, además de que fue necesario corregir errores y adaptar la metodología conforme se identificaban limitaciones en la información. Asimismo, mejoré mi capacidad para comunicar resultados técnicos mediante mapas, tablas y explicaciones dirigidas a las comunidades participantes.

Coral Hernández: Esta presentación me permitió comprender que el cuidado del agua requiere analizar tanto las actividades humanas como las condiciones naturales del territorio. El uso del Análisis Multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica demuestra que es posible identificar de manera objetiva las zonas donde es más urgente actuar para prevenir la contaminación y proteger los recursos hídricos. Además, considero que la conservación del agua es una responsabilidad compartida entre la sociedad, las autoridades y los sectores productivos, ya que solo mediante la colaboración y la toma de decisiones informadas será posible preservar este recurso y los ecosistemas para las futuras generaciones.

6. Conocimientos

Celeste Quezada: Durante el PAP amplié mi comprensión sobre la manera en que se construye un análisis de riesgo ambiental desde una perspectiva territorial, y comprendí la importancia de estandarizar la información antes de integrarla en un Análisis Multicriterio. Otro aprendizaje importante fue cómo el uso del principio de Pareto permitió priorizar las áreas con una mayor convergencia de factores, pero que es importante interpretar los resultados con responsabilidad y evitar conclusiones que excedan el alcance de la metodología. Finalmente, aprendí a adaptar el lenguaje técnico a las necesidades de las comunidades, pues la elaboración del material comunitario exigió aplicar conceptos como territorio hidrosocial, amenaza, vulnerabilidad y sistemas afectados de forma clara y visual. Esta experiencia me permitió reconocer que el conocimiento ambiental adquiere mayor utilidad cuando puede ser comprendido y utilizado por las comunidades para participar en el cuidado de su territorio.

Coral Hernández: Este proyecto permitió comprender la importancia de integrar información ambiental, social y productiva para analizar de manera integral lo que ocurre dentro de una microcuenca. La representación visual mediante mapas y el análisis realizado facilitan identificar las zonas prioritarias, entender qué factores influyen en el riesgo y reconocer cómo las actividades humanas impactan el territorio. Al presentar esta información de forma clara y accesible, las comunidades pueden comprender mejor su entorno, priorizar acciones de prevención y conservación, y tomar decisiones informadas que contribuyan a proteger los recursos hídricos y mejorar las condiciones ambientales de la región.

7. Retroalimentación de la organización

Durante la presentación de los resultados a la comunidad, la retroalimentación fue positiva, ya que consideraron que la información era necesaria y destacaron que los mapas y el listado de concesiones e industrias fueran presentados de forma visual y fácil de comprender.

Como sugerencias de mejora, solicitaron agregar un apartado con más información sobre la extracción de agua en las concesiones y revisar los nombres mostrados en los mapas para corregirlos, en caso de ser necesario, de acuerdo con la denominación utilizada por la comunidad.

8. Referencias bibliográficas

[1] Comisión Estatal del Agua de Jalisco [CEA Jalisco]. (2015). *Ficha técnica hidrológica municipal: Tala*. Gobierno del Estado de Jalisco. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region2/tala.pdf

[2] Comisión Estatal del Agua de Jalisco [CEA Jalisco]. (s. f.). *Plan de Manejo de la Presa La Vega: Resumen ejecutivo*. Gobierno del Estado de Jalisco. http://www.web.valles.udg.mx/sites/default/files/resumen_ejecutivo.pdf

[3] Google. (2026). Google Earth *Ganadería*. https://earth.google.com/web/@20.56650106,-103.65394961,1473.62228839a,43247.87774606d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExS3Y1NnNMMFZJcjJaWUlyUi0xa3MyRnl2NEJhb3o2Z1ggAToDCgEwQgIIAEoICMzHjt8DEAE

[4] INEGI. (2023). *Conjunto de datos vectoriales de la carta Edafología escala 1:250 000 Guadalajara*. Inegi.org.mx. https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#descargas

[5] Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG]. (2025a, noviembre). *Tala: Diagnóstico del municipio*. Gobierno del Estado de Jalisco. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2025/11/cuadernillos_municipales_tala_2025.pdf

[6] Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG]. (2025b, noviembre). *Tlajomulco de*

Zúñiga: Diagnóstico del municipio. Noviembre de 2025. Gobierno del Estado de Jalisco. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2025/11/cuadernillos_municipales_tlajomulco_de_zuniga_2025.pdf

[7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2010a). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Tala, Jalisco*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/14/14083.pdf

[8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2010b). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Acatlán de Juárez, Jalisco*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/14/14002.pdf

[9] Montiel, A. (2026, 04 de mayo). *Colectivo Resistencia Civil por el Valle: incendio de vertedero clandestino es consecuencia de omisión gubernamental*. Perimetral. https://perimetral.press/colectivo-resistencia-civil-por-el-valle-incendio-de-vertedero-clandestino-es-consecuencia-de-omision-gubernamental/

[10] Sales, M. (2013). Diagrama de pareto. *EALDE Business School*, *7*.

[11] Zazueta, Ó. (2024, 13 de septiembre). *Despertar ambiental en el valle de Mazatepec*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). https://www.iteso.mx/web/general/detalle?group_id=7470498

9. Anexos

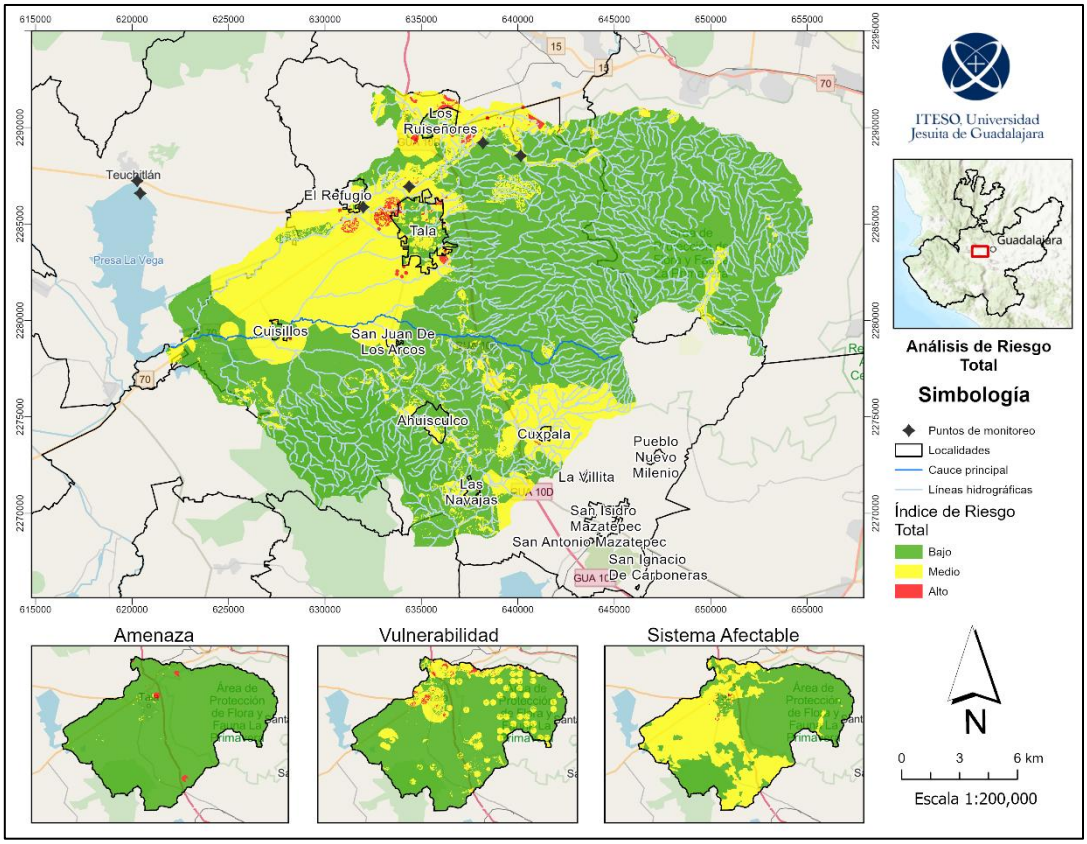


Figura 1. Mapa de Riesgo Total de la microcuenca del río Salado

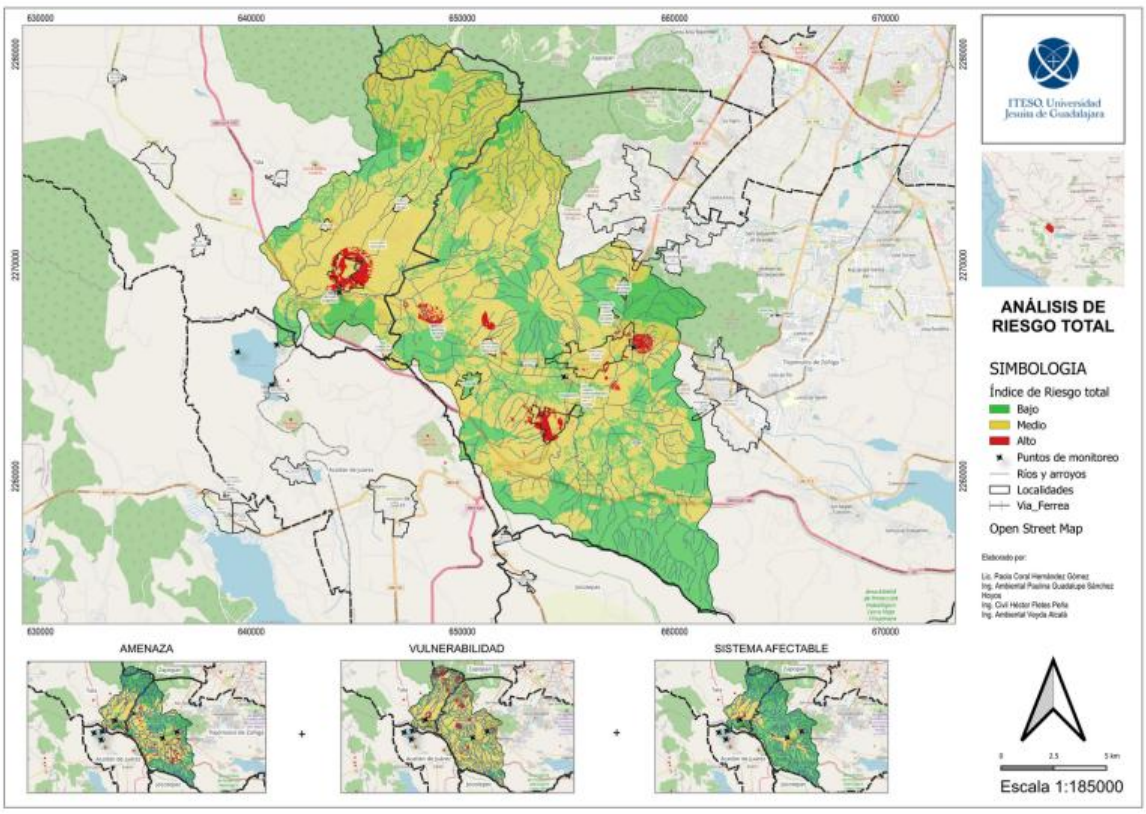


Figura 2. Mapa de Riesgo Total de la microcuenca del arroyo San Antonio

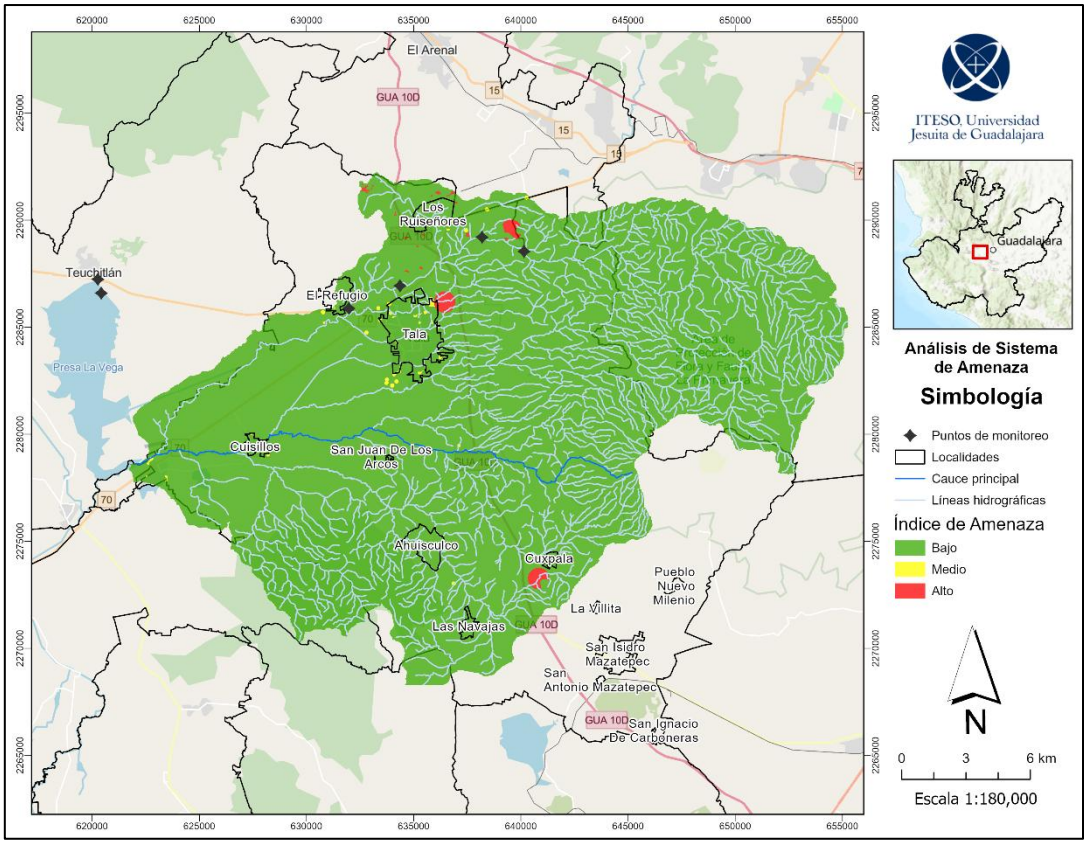


Figura 3. Mapa de amenaza del río Salado

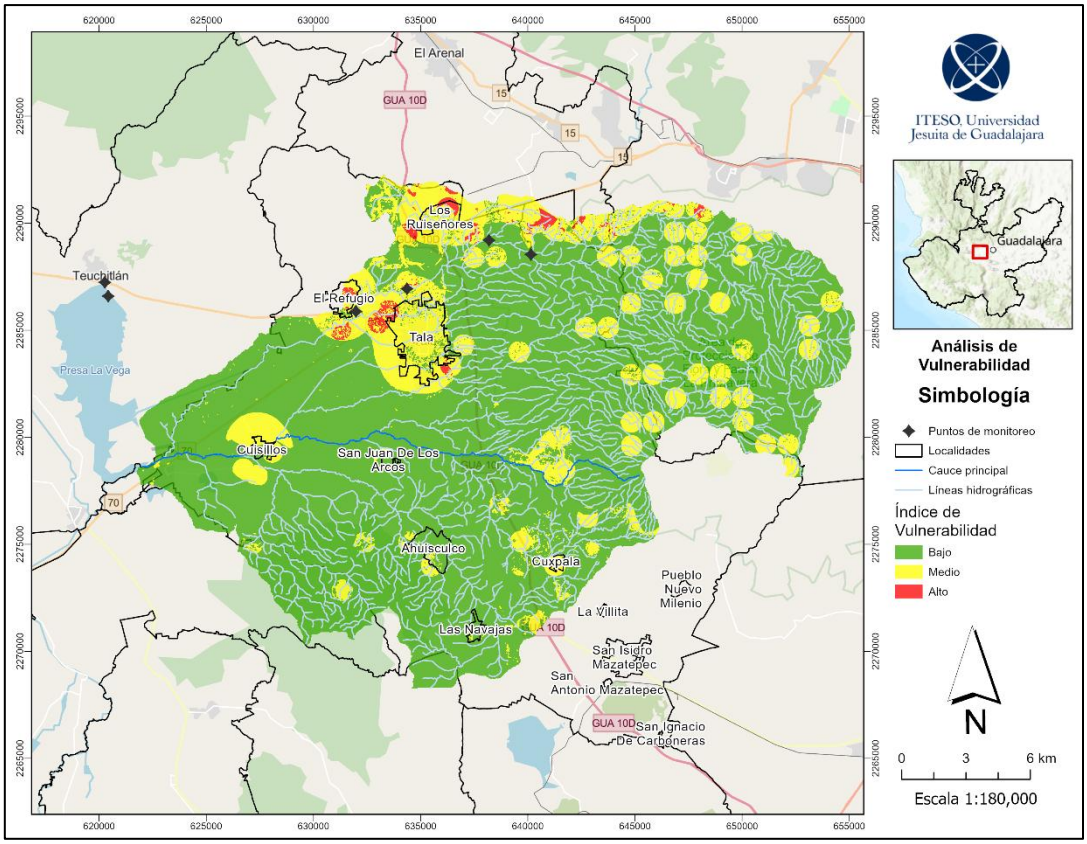


Figura 4. Mapa de vulnerabilidad del río Salado

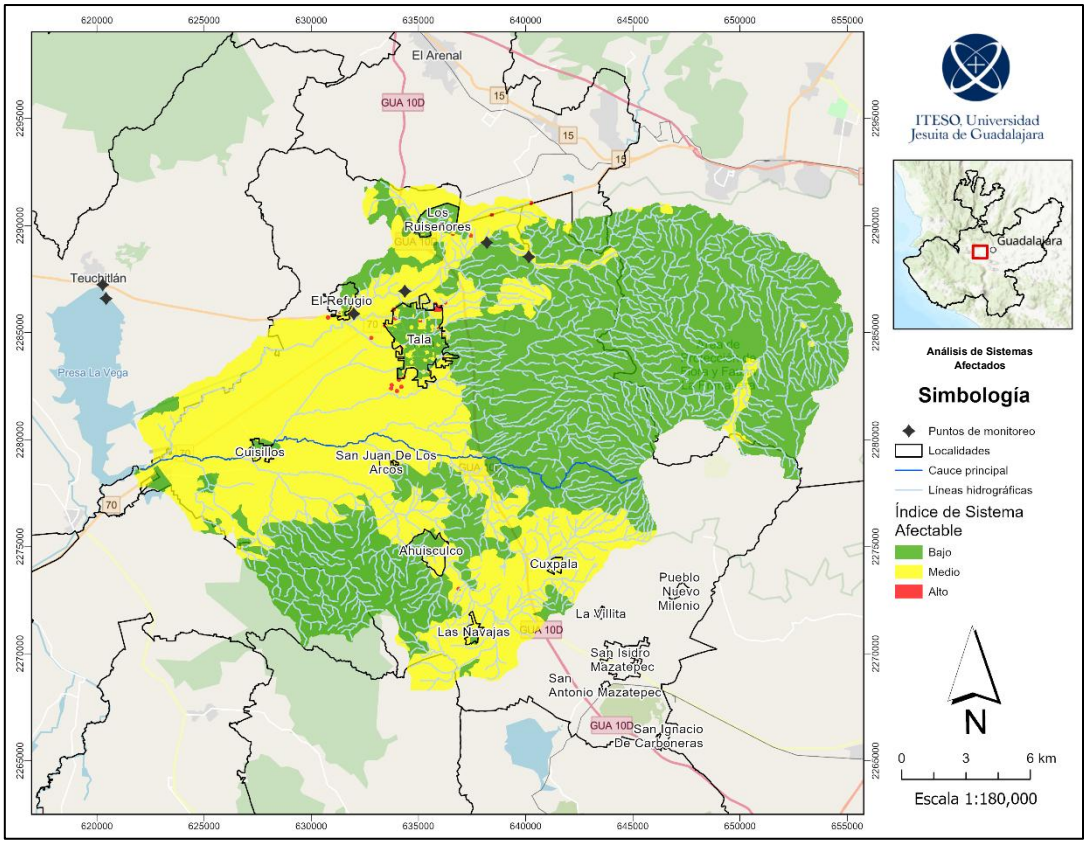


Figura 5. Mapa de sistemas afectados del río Salado

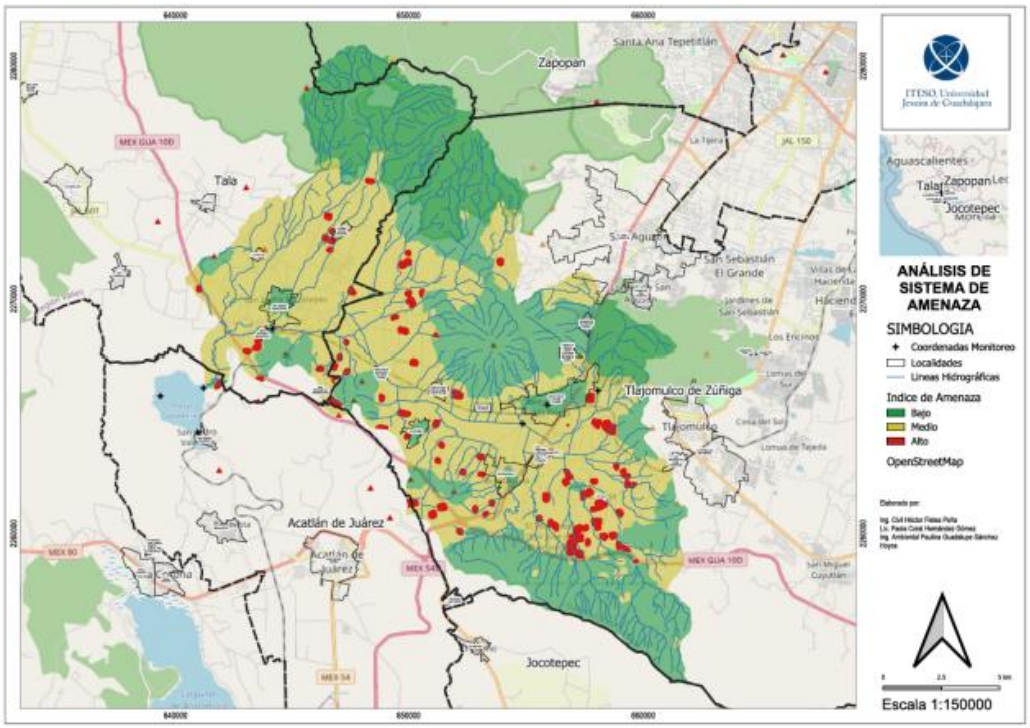


Figura 6. Mapa de amenaza del arroyo San Antonio

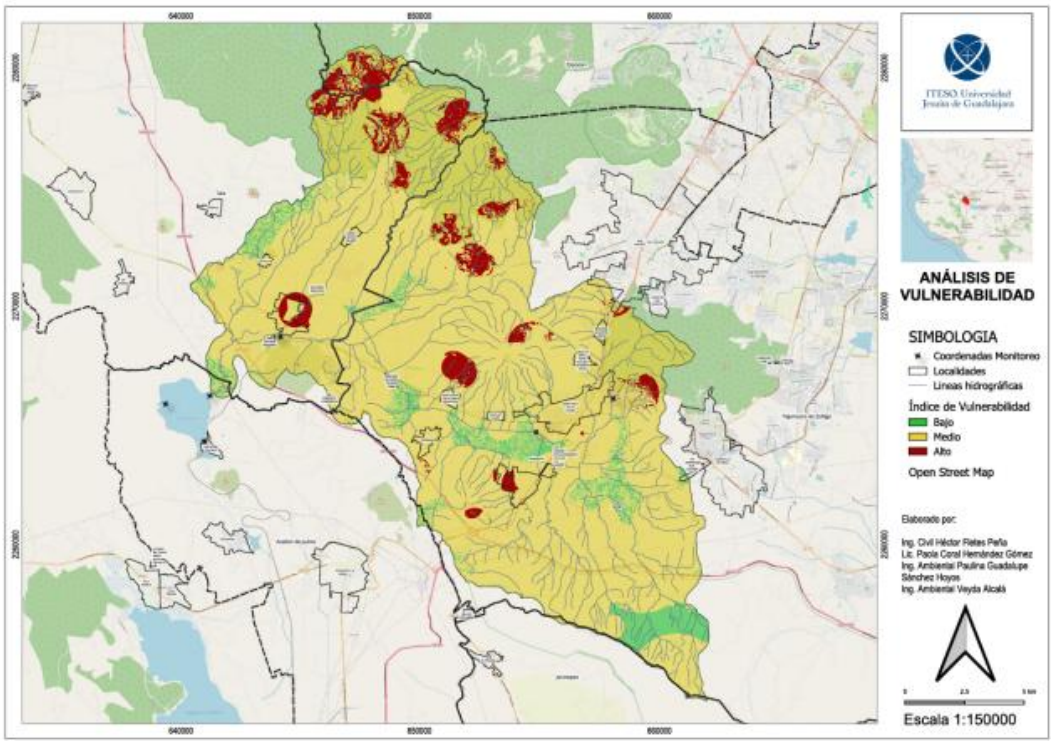


Figura 7. Mapa de vulnerabilidad del arroyo San Antonio

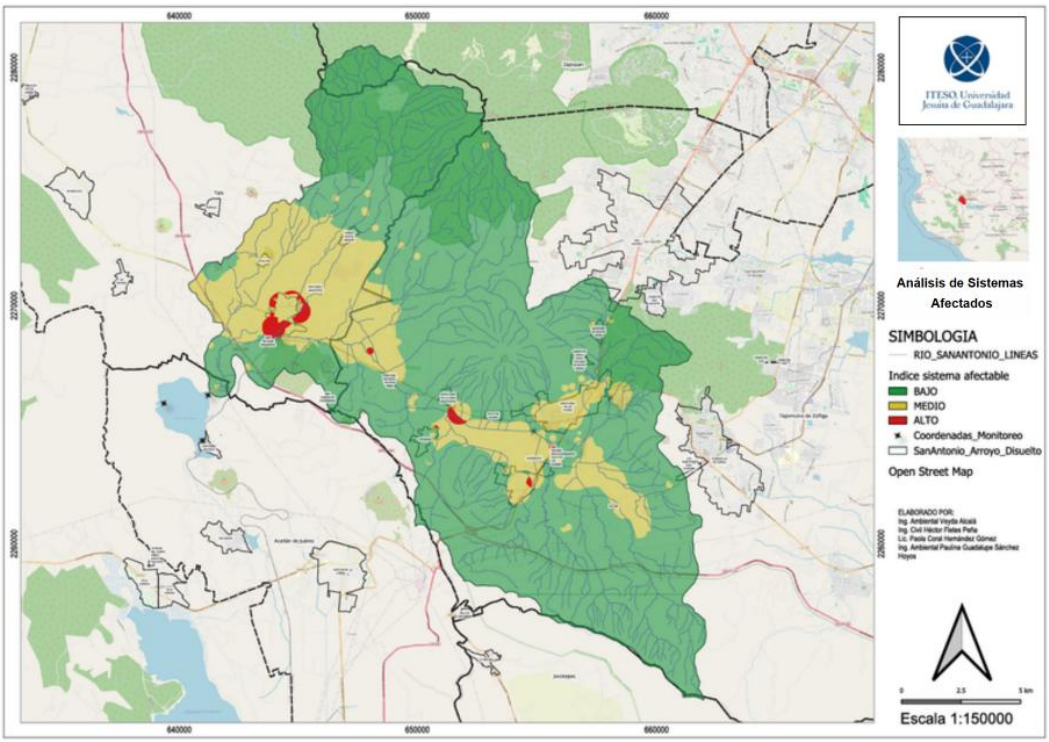


Figura 8. Mapa de sistemas afectados del arroyo San Antonio

Elaboración de módulos de biorremediación - PAP1P02A Programa de sustentabilidad socioambiental para el desarrollo inclusivo I.

Juan Carlos Herrera Novo
Pamela Michelle Vargas Palencia
María Saasil Macías García

Resumen. *Con el objetivo de proponer una alternativa mejorada para el módulo de biorremediación, el equipo conformado por un estudiante de ingeniería en nanotecnología y dos estudiantes de ingeniería ambiental diseñó un Humedal Flotante Artificial (FTW) como módulo físico de biorremediación para instalarse y tratar las aguas residuales ubicadas en la comunidad de El Refugio, buscando reducir los niveles críticos de fósforo, nitrógeno y E. coli mediante el uso de vegetación especializada y adaptada.* Debido a que todavía no ha sido instalado, no se presentan resultados de remoción, sino una propuesta para su instalación, mantenimiento y monitoreo.

Abstract. *With the objective of proposing an improved alternative for the bioremediation module, the team consisting of one nanotechnology and two environmental engineering students designed a Floating Treatment Weatland (FTW) as a physical bioremediation module to be installed and treat wastewater in the community of El Refugio, aiming to reduce critical levels of phosphorus, nitrogen, and E. coli through the use of specialized and adapted vegetation.* Since the module has not yet been installed, contaminant-removal results are not reported. Instead, an installation, maintenance, and monitoring proposal is presented.

1. Introducción

El proyecto se desarrolló durante el verano de 2026 dentro del PAP1P02A Programa de Sustentabilidad Socioambiental para el Desarrollo Inclusivo I, en colaboración con la Red de Monitoras y Monitores Comunitarios de la Calidad del Agua y la Defensa del Territorio de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco.

A partir de los problemas de calidad del agua observados en El Refugio, se propuso construir un Humedal Flotante Artificial como una alternativa complementaria de biorremediación. El diseño debía ser económico, recuperable, de fácil mantenimiento y adaptable a las capacidades de la comunidad.

El prototipo fue construido durante el periodo del PAP, sin embargo, por problemas de logística el tiempo no ajustó para incorporarlo en el cuerpo de agua. En consecuencia, el reporte no presenta resultados de remoción de contaminantes, sino los resultados correspondientes al proceso de diseño y construcción, junto con una metodología propuesta para evaluar posteriormente su funcionamiento en campo.

El equipo estuvo conformado por Juan Carlos Herrera Novo, estudiante de Ingeniería en Nanotecnología, quien participó en la investigación de alternativas estructurales, selección de plantas, métodos de evaluación y elaboración del manual técnico; Pamela Michelle Vargas Palencia, estudiante de Ingeniería Ambiental, quien colaboró en la elaboración de materiales de comunicación, edición del registro fotográfico, desarrollo de contenido informativo y colaboró en el cultivo de las plantas en el huerto; y María Saasil Macías García, estudiante de Ingeniería Ambiental, quien participó en la elaboración de herramientas para el registro y visualización de datos de monitoreo, además de colaborar en el cultivo de las plantas en el huerto, selección de vegetación adecuada y elaboración de los módulos de biorremediación. Los tres integrantes colaboraron en la selección de materiales, elaboración de la lista de compras y construcción del módulo.

2. Marco teórico

La fitorremediación utiliza plantas y microorganismos asociados a sus raíces para retirar, inmovilizar o transformar contaminantes presentes en el agua. En los Humedales Flotantes Artificiales, las plantas permanecen sostenidas sobre una plataforma, mientras sus raíces crecen directamente dentro de la columna de agua.

Las raíces pueden absorber nutrientes, retener partículas y servir de soporte para microorganismos que participan en la degradación de materia orgánica.

Para retirar realmente los nutrientes acumulados, la biomasa vegetal debe podarse o cosecharse periódicamente.

En el módulo se utilizarán tule (*Typha latifolia*), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) y Azolla (*Azolla* spp.). El tule aporta biomasa y raíces abundantes; el alcatraz puede desarrollarse en condiciones húmedas; y la Azolla aprovecha nutrientes presentes en la superficie. Esta última deberá mantenerse contenida para evitar su dispersión.

3. Contextualización de la organización

La problemática ambiental en la región hídrica de las subcuencas de la laguna de Atotonilco y el río Ameca, ubicada en las comunidades de Atotonilco el Bajo, El Refugio, Santa Cruz de las Flores, San Pedro Valencia, San Antonio Mazatepec y Teuchitlán, Jalisco, ha impulsado diversas iniciativas orientadas a la sustentabilidad y la gestión adecuada de los bienes comunes.

Fundamentalmente con el agua se han manifestado eventos de contaminación crítica en 2013 por un derrame de melaza en la Presa Valencia, lo que impulsó a la comunidad a vincularse con el ITESO para formular estrategias de monitoreo y restauración ambiental, a partir de esto en 2023 surgen grupos de monitoreo de calidad del agua, lo que lleva a que para el año 2025 se estableciera formalmente la *Red de monitoras y monitores comunitarios de la calidad del agua y la defensa del territorio de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco* y en 2026 se plantea y diseña la herramienta de cálculo de ICA a partir de estos datos de monitoreo por estudiantes del PAP durante el periodo de primavera.

La Red de monitoras y monitores comunitarios de la calidad del agua tiene como objetivo promover el manejo sostenible del agua y la protección del territorio de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco a través de las siguientes estrategias:

a) Monitoreo de la calidad del agua.

b) Fomento de una comunidad que facilite el intercambio de conocimientos, experiencias y la colaboración con aliados locales, regionales y nacionales.

c) Desarrollo de capacidades para la organización comunitaria para el cuidado del agua.

d) Impulsar propuestas de conservación y saneamiento del agua y el territorio.

e) Coadyuvar en la defensa y protección del derecho al agua y del derecho humano al medio ambiente sano.

Esta red se conforma por los habitantes y organizaciones sociales de las comunidades mencionadas, quienes generan información propia para evidenciar los problemas de contaminación en los cuerpos de agua y que, a través de talleres han desarrollado herramientas de capacitación para realizar el proceso de observación de la calidad del agua. Actualmente se utilizan métodos digitales que miden los siguientes parámetros: temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, conductividad, solidos disueltos totales, cloro libre y disuelto, demanda biológica de oxígeno y presencia de coliformes de E. Coli.

4. Problemática atendida

En ciertas zonas del Bosque La Primavera coexisten usos recreativos, agricultura de pequeña escala y asentamientos humanos. Estas actividades pueden aportar cargas de contaminantes como detergentes, fertilizantes y residuos orgánicos a los cuerpos de agua que se originan dentro del bosque. Este factor explica en parte la presencia de fosfatos en concentraciones elevadas detectadas en el análisis de calidad del agua (6.35 mg/L), muy por encima del límite permisible de 0.5 mg/L establecido en la NOM-127-SSA1-2021, lo que sugiere posibles entradas de contaminantes de origen agrícola o doméstico al cauce del río. Asimismo, se detectó la presencia de coliformes totales por encima de los criterios normativos, indicando la necesidad de intervención biológica urgente.

Las posibles fuentes de contaminación en la región incluyen descargas domésticas, actividades agrícolas y descargas de establecimientos industriales. El exceso de nutrientes puede favorecer el crecimiento de algas y plantas, mientras que la degradación de materia orgánica puede disminuir el oxígeno disponible.

Ante esta situación, el FTW se propuso como una medida piloto que permita complementar el monitoreo con una acción visible de biorremediación. El módulo no sustituye el control de las descargas ni representa por sí solo una solución integral para el cuerpo de agua.

5. Productos / resultados

El FTW se seleccionó por ser una alternativa de bajo costo, operación pasiva y fácil mantenimiento. Su diseño modular permite retirarlo, repararlo y replicarlo sin maquinaria especializada, lo que responde a las capacidades de la Red de Monitoras y Monitores Comunitarios.

También funciona como una herramienta demostrativa, ya que permite relacionar los resultados del monitoreo con una acción física de biorremediación. Además, puede modificarse conforme se identifiquen problemas durante su futura instalación.

Una vez establecida la tecnología sobre la cuál trabajar se analizaron diversas opciones para el diseño de los FTWs, teniendo en cuenta que la base general de estos diseños debe contener cuatro componentes principales: Las plantas tratadoras, una base sobre la cual plantar/sostener dichas plantas, un cuerpo flotante que soporte los dos componentes previos y finalmente un anclaje que evite que se pierda el módulo por la corriente.

El diseño inicial proponía utilizar una tira de Poly-Flo como soporte para las plantas y como elemento flotante. Aunque era una alternativa sencilla, se descartó por su baja rigidez, posible deterioro y riesgo de liberar fragmentos plásticos al agua.

A partir de esos problemas en el diseño se buscó una alternativa a la base y soporte flotante llegando a diversas alternativas y combinaciones.

En el diseño final se separaron las funciones de soporte, flotación, contención y anclaje. Se utilizó un huacal/caja de plástico como base, malla sombra para contener las plantas, tubos de PVC de 4 pulgadas como soporte flotador y una roca con cuerda como sistema de anclaje.

Esta modificación permite sustituir individualmente los componentes dañados y mejora la estabilidad y recuperación del módulo.

El prototipo se construyó con 2 huacales de plástico de 30x49, malla sombra, tubos y conexiones de PVC de 4in, cinchos y cuerda de polipropileno.

En el módulo se planean utilizar las plantas de tule, alcatraz y azolla, esta última permaneciendo dentro de un compartimento delimitado por la malla para evitar que se escape.

El módulo fue construido, pero todavía no ha sido instalado. Por lo tanto, los resultados alcanzados corresponden al diseño, selección de materiales, selección vegetal y construcción del prototipo.

Aún no existen resultados sobre remoción de contaminantes, supervivencia de plantas, estabilidad ante la corriente o funcionamiento del anclaje. Estos aspectos deberán evaluarse posteriormente.

6. Metodología

Se revisaron los datos generados por la Red para identificar los principales problemas de calidad del agua. A partir de ellos se consideraron prioritarios los nutrientes, la materia orgánica y los indicadores microbiológicos.

Se evaluaron diferentes alternativas de diseño mediante criterios de costo, disponibilidad de materiales, estabilidad, mantenimiento, recuperación y riesgo de desprendimiento. Como resultado se construyeron dos prototipos de humedal flotante artificial con la misma estructura y componentes funcionales, diferenciándose únicamente en el material de flotación. El primer módulo utiliza tubería de PVC como elemento flotante, mientras que el segundo emplea botellas de PET reutilizadas. Esta diferencia permitirá comparar y evaluar el desempeño de ambos materiales en condiciones reales de operación y analizar qué tan viable es técnicamente. Además, el uso de botellas de PET busca explorar una alternativa de menor costo, basada en materiales reutilizables y de fácil acceso para las comunidades, favoreciendo la replicabilidad del módulo y promoviendo soluciones de biorremediación que sean mucho más accesibles y sostenibles.

Las especies se seleccionaron considerando su adaptación a ambientes húmedos, desarrollo radicular, disponibilidad y potencial de absorción de nutrientes.

El tule se eligió por su producción de raíces y biomasa, se esperaba incorporar carrizo junto con el tule pero al no encontrar disponibilidad se decidió utilizar el alcatraz por su adaptación a condiciones saturadas y finalmente la Azolla por su crecimiento flotante y aprovechamiento de nutrientes superficiales, aunque su crecimiento deberá controlarse mediante poda, cosecha y contención.

Materiales:

- Cinchos de 4.7 mm x 168 mm
- Rollo de malla para sombra verde 1.83 x 6.10 m polietileno
- Cajas Apilable Agrícola Plástica Huacal Contenedor Fruta
- Tendedero polipropileno multicolor madeja de 15.2 m
- Botellas de PET de dimensiones de 2L
- Roca de anclaje mayor a 10 kg
- Codo de unión 15 x 11 x 11 cm
- Tubo pvc sanitario 4 x 1mts
- Cemento para pvc 60 ml azul contact
- Plantas de Azolla
- Junco
- Alcatraz Enano

Antes de instalar el módulo se recomienda realizar varias mediciones que funcionen como línea base. Después de la instalación se deberán comparar, como mínimo, un punto aguas arriba y otro aguas abajo del FTW.

Los parámetros prioritarios serán:

- Temperatura;
- pH;
- Conductividad;
- Sólidos disueltos totales;
- Oxígeno disuelto;
- Fosfatos o fósforo;
- Compuestos de nitrógeno;
- Coliformes o *E. coli*.

Durante el primer mes se recomienda medir semanalmente. Después, el monitoreo podrá realizarse cada quince días o mensualmente.

Los resultados deberán interpretarse considerando lluvias, cambios de caudal, temperatura y nuevas descargas, ya que estas condiciones también pueden modificar las concentraciones.

Para evaluar individualmente el tule, alcatraz y Azolla se propone un ensayo controlado con cuatro tratamientos: una unidad por especie y un control sin plantas, cada uno con tres réplicas. Los recipientes contendrán el mismo volumen de agua del sitio y una biomasa vegetal inicial semejante. Se tomarán muestras los días 0, 3, 7 y 14 para medir pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, nitrato-nitrito, fósforo total, ortofosfato y *E. coli*.

El fósforo podrá determinarse mediante EPA 365.1; nitrato-nitrito mediante EPA 353.2; amonio mediante EPA 350.1; y *E. coli* mediante filtración por membrana conforme a EPA 1603. Al finalizar, las plantas se separarán en raíces y parte aérea, se secarán hasta masa constante, se molerán y se analizarán. El nitrógeno vegetal se determinará mediante combustión Dumas o Kjeldahl, mientras que el fósforo se analizará después de digestión ácida mediante ICP-OES o colorimetría validada.

La eficiencia de remoción se calculará comparando la concentración o masa inicial y final en el agua. La acumulación vegetal se estimará multiplicando la biomasa seca por la concentración de nitrógeno o fósforo en el tejido. Los resultados se compararán con el control, ya que no toda disminución en el agua puede atribuirse a absorción vegetal; también pueden intervenir sedimentación, biofilm y transformaciones microbianas.

El estudio de White y Cousins es especialmente útil como referencia metodológica porque empleó unidades replicadas, monitoreo semanal del agua y, al finalizar, separó raíces y tallos, secó la biomasa, la molió y analizó su contenido de nutrientes.

7. Competencias reforzadas

Pamela Vargas: Durante el desarrollo del PAP reforcé mis competencias en el diseño y evaluación de soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento de cuerpos de agua, participando en la investigación, selección de materiales y construcción de un humedal flotante artificial como alternativa de biorremediación. Asimismo, fortalecí mi capacidad para analizar problemáticas ambientales desde un enfoque integral, considerando criterios técnicos, ambientales y sociales para la toma de decisiones.

Saasil Macías: Reforcé la habilidad para proponer soluciones creativas ante problemáticas claras, así como la práctica de construir estas soluciones. También fue posible aplicar conocimientos de botánica previamente adquiridos durante mi carrera profesional.

Juan Herrera: Reforcé competencias de investigación, diseño técnico, selección de materiales y plantas, análisis de alternativas y trabajo interdisciplinario para

adaptarme más allá de los conocimientos especializados de mi carrera según los requerimientos del encargo en cuestión.

8. Conocimientos adquiridos

Pamela Vargas: Durante este proyecto adquirí conocimientos sobre los procesos de biorremediación y fitorremediación como alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas, comprendiendo el funcionamiento de los humedales flotantes artificiales y los mecanismos mediante los cuales ciertas especies vegetales pueden contribuir a la remoción de contaminantes como nutrientes, materia orgánica y microorganismos presentes en el agua. Asimismo, aprendí los criterios para la selección de plantas y materiales adecuados para este tipo de sistemas, así como la importancia del monitoreo para evaluar su desempeño. Más allá del aspecto técnico, la experiencia me permitió conocer de cerca el trabajo de la comunidad y de la Red de Monitoras y Monitores Comunitarios, comprender la relevancia de su lucha por la defensa del agua y el territorio, y valorar el compromiso y la dedicación con los que impulsan acciones de restauración y conservación ambiental desde sus propios territorios.

Saasil Macías: Pienso que, de manera concreta, lo que más se queda conmigo de este trabajo fue conocer las condiciones y conocimientos de la comunidad del Refugio y en general de la red de monitoras y monitores comunitarios. El nivel de compromiso que ponen con su comunidad y bien común que los lleva a volverse expertos en los temas relevantes a sus problemáticas. Considero que adquirí mejores habilidades de comunicación, comprensión y comunidad.

Juan Herrera: Adquirí conocimientos sobre la fitorremediación, la existencia y funcionamiento de los FTW, funcionamiento y utilidades de diversas especies de plantas para el tratamiento de aguas, además de todos los factores a tomar en cuenta como peligros o condiciones necesarias para que funcionen adecuadamente. También se adquirieron conocimientos sobre el diseño de estructuras flotantes y evaluación y caracterización de sistemas de biorremediación. Por otro lado, también adquirí conocimientos acerca del contexto en el que viven varias personas en las distintas áreas y poblados con los que interactuamos.

9. Retroalimentación por parte de la organización

Durante la presentación del módulo de biorremediación en el taller realizado con la Red de Monitoras y Monitores Comunitarios de la Calidad del Agua y la Defensa del Territorio, la propuesta tuvo una recepción muy positiva. Las y los monitores manifestaron un gran interés en el módulo de y mostraron disposición para colaborar en las siguientes etapas del proyecto, especialmente en su instalación, monitoreo y evaluación. Entre los comentarios recibidos destacó el interés del representante el Sacerdote de la comunidad de Atotonilco, quien expresó su deseo de instalar el módulo en ese momento y planteó la posibilidad de utilizarlo como una herramienta demostrativa para compartir su funcionamiento con habitantes de los distintos barrios de la comunidad. Asimismo, integrantes de la Red realizaron preguntas sobre el funcionamiento del sistema, los procesos mediante los cuales las plantas contribuyen a la remoción de contaminantes y si ya había evidencia disponible sobre su efectividad. Durante el intercambio también surgieron propuestas para mejorar el diseño, incluyendo sugerencias sobre materiales alternativos y estrategias para facilitar su instalación y mantenimiento. Esta retroalimentación permitió identificar el interés de las comunidades por apropiarse de este tipo de soluciones y evidenció el potencial del módulo como una herramienta de restauración ambiental participativa y de educación comunitaria

10. Bibliografía

1. Khan, A. U., Khan, A. N., Waris, A., Ilyas, M., & Zamel, D. (2022). Phytoremediation of pollutants from wastewater: A concise review. Open life sciences, 17(1), 488–496. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0056
2. Autor. (2025, July 1). Fitorremediación de aguas residuales: guía completa. *Boss Tech*. https://bosstech.pe/blog/fitorremediacion-aguas-residuales/
3. Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (n.d.). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002
4. Huth, I., Walker, C., Kulkarni, R., & Lucke, T. (2021). Using constructed floating wetlands to remove nutrients from a waste

stabilization pond. *Water, 13*(13), 1746. https://doi.org/10.3390/w13131746

5. *Agronomic Services - Plant Analysis Methods | NC Agriculture*. (2023, September 21). https://www.ncagr.gov/plant-tissue-analysis-methods
6. *EPA Method 350.1: Determination of Ammonia Nitrogen by Semi-Automated Colorimetry | US EPA*. (2026, April 17). US EPA. https://www.epa.gov/esam/epa-method-3501-determination-ammonia-nitrogen-semi-automated-colorimetry
7. U.S. Environmental Protection Agency. (1993b). *Method 351.2: Determination of total Kjeldahl nitrogen by semi-automated colorimetry* (Revision 2.0). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_351-2_1993.pdf
8. U.S. Environmental Protection Agency. (1993c). *Method 353.2: Determination of nitrate-nitrite nitrogen by automated colorimetry* (Revision 2.0). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_353-2_1993.pdf
9. U.S. Environmental Protection Agency. (1993d). *Method 365.1: Determination of phosphorus by semi-automated colorimetry* (Revision 2.0). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_365-1_1993.pdf
10. U.S. Environmental Protection Agency. (2009). *Method 1603: Escherichia coli in water by membrane filtration using modified membrane-thermotolerant Escherichia coli agar*. https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1603_2009.pdf
11. White, S. A., & Cousins, M. M. (2013). Floating treatment wetland aided remediation of nitrogen and phosphorus from simulated stormwater runoff. *Ecological Engineering, 61*, 207–215. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.020

11. Anexo

Tabla 1. Tabla comparativa de plantas tratadoras, ponderadas por colores en distintas áreas.

Planta	Nutrientes (N y P)	Metales pesados	Materia orgánica (DBO/DQO)	Bacterias*	Uso recomendado	Comentario
Tule (*Typha domingensis*)					**FTW**	Una de las mejores opciones; gran desarrollo de raíces y biofilm. Solo requiere controlar su crecimiento.
Junco (*Schoenoplectus californicus*)					**FTW**	La especie más equilibrada para un FTW; alta eficiencia y manejo sencillo.
Junco espiga (*Eleocharis densa*)					**FTW**	Muy ligero, aporta muchas raíces finas y complementa a las especies grandes.
Junco suave (*Juncus effusus*)					**FTW**	Estabiliza el sistema y aumenta la resiliencia del humedal.

Tule de hoja ancha (*Typha latifolia*)					**FTW**	Muy similar al tule tropical; excelente alternativa cuando esté disponible.
Carrizo (*Phragmites australis*)					**FTW / Ribera**	Excelente depurador; requiere podas y control de su crecimiento.
Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)					**FTW / Ribera**	Sobresale en la remoción de metales y estabilización de taludes; especialmente útil en orillas.
Platanillo (*Canna indica*)					**FTW / Ribera**	Muy resistente, fácil de conseguir y con buen desempeño general.
Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*)					**Humedal construido/ FTW**	Puede funcionar, pero existen alternativas más eficientes y con menor riesgo.
Pontederia (*Pontederia sagittata*)					**FTW / Ribera**	Buena para nutrientes y biodiversidad; requiere humedad constante.
Sagitaria (*Sagittaria latifolia*)					**FTW / Ribera**	Buena opción para humedales; conviene controlar su propagación.
Azolla (*Azolla filiculoides*)					**FTW (controlado)**	Es una de las plantas más eficientes para remover nitrógeno y fósforo debido a su rápido crecimiento, pero su eficacia depende de cosechar la biomasa periódicamente.
Lenteja de agua (*Lemna minor*)					**FTW (controlado)**	Muy eficiente para absorber nutrientes, pero debe mantenerse confinada y cosecharse periódicamente.
Cola de zorro (*Ceratophyllum demersum*)					**FTW (controlado)**	Complementa la remoción desde la

						columna de agua y aporta oxigenación.
Papiro (*Cyperus papyrus*)					**Ribera / Humedal construido**	Buen desempeño, pero su gran tamaño y peso lo hacen más adecuado para sistemas robustos.
Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)					**No recomendado**	Excelente depurador, pero su potencial invasor supera ampliamente sus beneficios en un río abierto.
Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)					**No recomendado**	Muy eficiente para nutrientes, pero puede cubrir rápidamente la superficie del agua.
Caña de río (*Arundo donax*)					**No recomendado**	Crece de forma muy agresiva, desplaza vegetación nativa y es difícil de erradicar.

Índice de calidad del agua, ICA – PAP1P02A PAP Programa de sustentabilidad socioambiental para el desarrollo inclusivo I.

Pamela Michelle Vargas Palencia
María Saasil Macías García

Abstract. *Con el objetivo de establecer una herramienta de comunicación para el Índice de calidad del agua (ICA) generado a partir de los datos recopilados por la Red de monitoras y monitores de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco, el equipo integrado por dos estudiantes de Ingeniería ambiental, trabajaron como productos entregables un medio de comunicación del ICA para los puntos monitoreados entre 2024 y 2026, así como un instrumento automatizado de registro, interpretación de resultados y comunicación pública con las comunidades. With an aim towards settleling a communication tool of the water quality index (ICA) generated from the data collected by the community monitors net of the Valles regions, a team integrated by two environmental engineering students, worked on a way of communicating the ICA for the monitored points between 2024 and 2026, as well as an automatic instrument for recording, interpretating and communicating the information with the communities.*

1. Introducción

El presente documento expone el trabajo realizado en el PAP (Proyecto de Aplicación Profesional) como experiencia socio-profesional de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes. El proyecto se realizó en un periodo de verano del 2026, con un equipo conformado por Pamela Vargas, estudiante de Ingeniería ambiental, quien trabajó en la elaboración de un formulario de llenado para los monitores, así como en la sistematización de la interpretación y comunicación del índice, generó un formato nuevo de las bitácoras de monitoreo y gafetes con acceso al formulario para los monitores comunitarios y Saasil Macías, estudiante de Ingeniería ambiental, quien participó en la propuesta y elaboración de un formulario de llenado de datos de monitoreo para los miembros de la red de monitores, la comunicación del índice de calidad del agua a partir de un mapa y un tablero programados en la página web de la red de monitores y gafetes con acceso al formulario para los monitores comunitarios. A continuación, se presenta la contextualización sobre el ICA y la red de monitores, la problemática a tratar, los productos entregados, su metodología, las competencias reforzadas por cada estudiante, así como conocimientos adquiridos. De igual manera se presenta la retroalimentación brindada por la organización hacia el equipo del PAP al término del periodo escolar.

2. Marco teórico

El Índice de Calidad del Agua (ICA) surge como respuesta ante la necesidad de simplificar la interpretación de múltiples parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua para facilitar la toma de decisiones ambientales basadas en evidencia científica.

Con base a la investigación realizada por el PAP en el periodo de otoño 2025 (Luquin, 2025), que adoptó la metodología de Weighted Arithmetic Water Quality Index (WAWQI), documentada por Calmuc et al. (2018) en Formulas for Water Quality Indices, definieron al ICA como una suma ponderada de los subíndices del valor de cada parámetro (Qi) en función de los pesos relativos de importancia asignados a cada parámetro (Wi).

$$ICA = \frac{\sum(Qi \times Wi)}{\sum Wi}$$

Ecuación 1. Índice de calidad del agua (Calmuc et al, 2018)

Este método además permite realizar la interpretación de manera flexible cuando se presentan datos incompletos, común durante los monitoreos ciudadanos, permitiendo la clasificación del ICA en categorías cualitativas (excelente, buena, media, mala y muy mala), de acuerdo con intervalos establecidos y ajustados a la normativa nacional. Entre las normas oficiales mexicanas se encuentran la NOM-127-SSA1-2021, que establece los límites permisibles para agua destinada a uso y consumo humano, la NOM-001-SEMARNAT-2021 que regula los límites de contaminantes en descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, y complementos como la NOM-002-

SEMARNAT-1996, la NOM-003-SEMARNAT-1997 y la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Se establecen entonces los siguientes parámetros relevantes para la interpretación del ICA:

- pH
- Dureza (mg/L)
- Alcalinidad (mg/L)
- Oxígeno disuelto (mg/L)
- Conductividad eléctrica (µs/cm)
- Sólidos disueltos (ppm)
- Temperatura del aire (ºC)
- Temperatura del agua (ºC)
- Coliformes fecales (c/100ml)
- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)
- Nitratos (mg/L)
- Sulfatos (mg/L)

Esta selección implica la integración de diferentes unidades y escalas, de forma que se construyen las funciones *Qi* para obtener valores dentro de un rango de 0-100 con un peso *Wi* de importancia basado en el método *Delphi* empleado por Brown, et al en 1970.

Actualmente la base de datos establecida cuenta con datos desde 2024 al Verano de 2026, el contenido de estos monitoreos se ha integrado a un documento *Sheets* de *Google* alimentado a partir de un formulario, en este documento a partir de macros se calcula el ICA y los datos se presentan en un reporte de *Data Studio*. Asimismo, se planean agregar los datos de monitoreo de metales pesados a modo de comparación con el cumplimiento de las distintas normas mencionadas.

Todas estas acciones responden a un proceso de toma, manejo y comunicación de la información que se expone en las siguientes secciones del presente documento.

3. Contextualización de la organización

La problemática ambiental en la región hídrica de las subcuencas de la laguna de Atotonilco y el rio Ameca, ubicada en las comunidades de Atotonilco el Bajo, El Refugio, Santa Cruz de las Flores, San Pedro Valencia, San Antonio Mazatepec y Teuchitlán, Jalisco, ha impulsado diversas iniciativas orientadas a la sustentabilidad y la gestión adecuada de los bienes comunes.

Fundamentalmente con el agua se han manifestado eventos de contaminación crítica en 2013 por un derrame de melaza en la Presa Valencia, lo que impulsó a la comunidad a vincularse con el ITESO para formular estrategias de monitoreo y restauración ambiental, a partir de esto en 2023 surgen grupos de monitoreo de calidad del agua, lo que lleva a que para el año 2025 se estableciera formalmente la *Red de monitoras y monitores comunitarios de la calidad del agua y la defensa del territorio de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco* y en 2026 se plantea y diseña la herramienta de cálculo de ICA a partir de estos datos de monitoreo por estudiantes del PAP durante el periodo de primavera.

La Red de monitoras y monitores comunitarios de la calidad del agua tiene como objetivo promover el manejo sostenible del agua y la protección del territorio de las regiones Valles, Centro y Lagunas de Jalisco a través de las siguientes estrategias:

a) Monitoreo de la calidad del agua.
b) Fomento de una comunidad que facilite el intercambio de conocimientos, experiencias y la colaboración con aliados locales, regionales y nacionales.
c) Desarrollo de capacidades para la organización comunitaria para el cuidado del agua.
d) Impulsar propuestas de conservación y saneamiento del agua y el territorio.
e) Coadyuvar en la defensa y protección del derecho al agua y del derecho humano al medio ambiente sano.

Esta red se conforma por los habitantes y organizaciones sociales de las comunidades mencionadas, quienes generan información propia para evidenciar los problemas de contaminación en los cuerpos de agua y que, a través de talleres han desarrollado herramientas de capacitación para realizar el proceso de observación de la calidad del agua. Actualmente se utilizan métodos digitales que miden los siguientes parámetros: temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, conductividad, solidos disueltos totales, cloro libre y disuelto, demanda biológica de oxígeno y presencia de coliformes de E. Coli.

4. Problemática atendida

A pesar de que la Red de monitoras y monitores comunitarios ha sido participe desde 2023 en los procesos de monitoreo para evaluar la calidad de los cuerpos de agua en sus territorios, la interpretación y comunicación hacia las propias comunidades ha presentado limitaciones.

Si bien durante el periodo de otoño 2025 se desarrolló la herramienta de cálculo del ICA, persiste la ausencia de un medio accesible y comprensible para comunicar de forma efectiva los resultados obtenidos a partir de los monitoreos realizados entre 2024 y 2026. Esta falta de herramientas de comunicación dificulta la apropiación comunitaria de la información, la divulgación de las condiciones ambientales de sus cuerpos de agua y, por ende, la toma de decisiones colectivas orientadas al saneamiento, conservación y defensa del territorio con base en datos científicos.

En este contexto, el presente proyecto buscó atender estas necesidades mediante la generación de herramientas de comunicación pública del ICA y la automatización del proceso, con el fin de fortalecer la participación comunitaria en el monitoreo, la interpretación y la defensa del derecho al agua y a un medio ambiente sano.

5. Productos / resultados

Como resultados del trabajo durante este periodo PAP verano 2026, se desarrolló el formulario de llenado para las monitoras y monitores comunitarios donde los participantes dentro de las comunidades puedan ser quienes hagan el registro de sus monitoreos en la base de datos que se usa para la interpretación del ICA. Asimismo, a partir de la base de datos importada a *Sheets*, se automatizó con *Data Studio* para generar tableros con la interpretación del ICA por punto, año y temporada, así como la comparación de las mediciones de los parámetros que integran al índice en comparación con la norma. También se generó un mapa por punto con los resultados del ICA más recientes. Estos dos productos se integraron a la página web de la red de monitores y fue presentada ante estos durante la reunión de monitores del pasado 11 de julio de 2026.

- Formulario de monitoreo
- Mapa del ICA de Verano 2026
- Tablero ICA

Por otro lado, se actualizó el formato de las bitácoras de monitoreo con los parámetros acordados y agregados; se imprimieron 72 copias y se generaron 6 juegos para cada región. Conjunto a esto, se generaron 20 gafetes con el QR de acceso al formulario de monitoreo y se entregaron a los monitores.

Estos productos resultan útiles puesto que responden a las necesidades expuestas por los monitores, contemplan el contexto y conocimiento previo de la comunidad y se complementan con herramientas nuevas que llenen los vacíos observados hasta ahora.

Otro punto importante resulta remover a los estudiantes de PAP como intermediarios en el manejo e interpretación de los datos, al brindar una herramienta que permita que las comunidades sean los responsables de alimentar esta base de datos y observar de manera inmediata lo que su información recolectada significa.

6. Metodología

La metodología de trabajo se puede dividir en dos etapas: la primera etapa consistió en estudiar y comprender la información previa, así como la herramienta hecha en 2025 para el calculo del ICA. De manera paralela, en este mismo periodo se realizaron los monitoreos bimestrales de calidad del agua; la segunda etapa implicó el desarrollo de las distintas herramientas necesarias para cumplir los objetivos planteados.

Durante esta segunda etapa, se generó un formulario de Google con los mismos campos usados durante los monitoreos, se limpiaron y ordenaron los datos de los monitoreos pasados y se subieron a un documento que es alimentado por la información del formulario. Usando la metodología citada en la Ecuación 1, se programaron macros para realizar el cálculo automático del ICA tomando en cuenta los parámetros de: Oxígeno disuelto, pH, Conductividad, Sólidos disueltos, Dureza y Alcalinidad. Una vez se verificó el correcto calculo del índice, se pasó a la formulación del tablero y del mapa.

Para el mapa se creó una capa en *Google Maps*, se agregaron los puntos de monitoreo en las coordenadas de la base de datos y se les agregó simbología como indicador de la calidad del agua correspondiente.

El tablero de resultados se generó en *Data Studio*, donde se programaron 3 páginas, la primera corresponde a la representación del ICA, para ello se agregaron tres controles: uno para seleccionar el punto de muestreo, otro para seleccionar el año y otro para seleccionar la temporada, se agregaron dos visualizadores del resultado incluyendo la gama de colores previamente establecida en la metodología de Luquin de 2025. En la segunda página se agregaron indicadores con los datos de los parámetros usados para determinar el ICA en comparación con su valor esperado según la norma y en la última página se

agregó un gráfico donde se pueden filtrar y observar los parámetros a lo largo de los años de monitoreo.

Finalmente, estos dos recursos se agregaron a la página web de los monitores haciendo uso de programación con *HTML* en *Hostinger*.

Todos los recursos y herramientas generadas se compartieron o crearon directamente en la cuenta correspondiente a la red de monitores comunitarios.

7. Competencias reforzadas

Pamela Vargas:

Saasil Macías: durante el PAP se reforzaron las habilidades de comunicación pública de la ciencia, de vinculación con las comunidades y de resolver problemáticas de manera creativa, así como el uso de herramientas nuevas para la programación de páginas web.

8. Conocimientos adquiridos

Pamela Vargas:

Saasil Macías:

9. Retroalimentación de la organización

10. Referencias bibliográficas

Calmuc, V. A., Calmuc, M., Timofti, M., & Iticescu, C. (2018). Various methods for calculating the water quality index. Annals of the "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics.

Luquin (2026) 'Metodología Integrada para la Evaluación de la Calidad del Agua en Cuencas Comunitarias mediante el Índice de Calidad del Agua''

Brown et al (1970) A water quality index-do we dare? file:///C:/Users/saasi/Downloads/A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M-1970.pdf