

---

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**

**Departamento de Matemáticas y Física**

**Desarrollo tecnológico y generación de riqueza sustentable**

Programa de modelación matemática para el desarrollo de planes y proyectos de  
negocio



**ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL PAP**

**PAP4J10A Laboratorio de análisis de datos**

"Generación de información geoespacial para la evaluación estacional del agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán mediante el modelo InVEST: una iniciativa del Proyecto Charco Bendito para la preservación ambiental."

**PRESENTAN**

Ingeniería en Sistemas Computacionales. Narda Estefanía Ibarra Delgado

Ingeniería en Sistemas Computacionales. Rodolfo de Jesús López Álvarez

Ingeniería en Sistemas Computacionales. Fernando Dario Cordova Berrelleza

Ingeniería Financiera. Guillermo González Gutierrez

Ingeniería Financiera. Galilea de la Torre Rojas

Ingeniería Financiera. Efraín Gómez Tapia

---

---

Ingeniería Financiera. Christian Eduardo González Reyes  
Ingeniería Financiera. Blas César Sánchez Barba  
Ingeniería Financiera. Emilio Morán Hernández  
Ingeniería Ambiental. Verónica Padilla Silva  
Ingeniería Ambiental. Rosa María Almaraz Reynoso  
Ingeniería en Sistemas Computacionales. Ricardo Cuevas Rosas  
Ingeniería en Sistemas Computacionales. Leonardo Alferez Moreno

Profesor PAP: Maximiano Bautista Andalón y David Rogelio Campos Cornejo  
Tlaquepaque, Jalisco, mayo 2023

## ÍNDICE

### Contenido

<b>Resumen</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>6</b>
1.1. Objetivos	6
1.2. Conceptos clave	7
1.3. Justificación	7
1.3 Antecedentes	8
1.4. Contexto	9
1.4.1 Global	9
1.4.2 Nacional	10
1.4.3 Estatal	11
<b>2. Desarrollo</b>	<b>12</b>
2.1. Sustento teórico y metodológico	12
2.1.1 Conceptos disciplinares	12
2.1.2 Capas para modelo de InVEST	13
2.2 Programa de trabajo	22
<b>3. Resultados del trabajo profesional</b>	<b>23</b>
3.1 Datos necesarios	23
3.2 Resultados del modelo de producción estacional de agua para la micro cuenca de Cajititlán	24
3.3 Elaboración de guías de estudio	27
<b>4. Conclusiones</b>	<b>28</b>
<b>5. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto</b>	<b>29</b>
<b>6. Bibliografía</b>	<b>39</b>
<b>7. Acrónimos</b>	<b>40</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Objetivos específicos.	5
Tabla 2. Clasificación de Uso de Suelo.	14
Tabla 3. Clasificación de grupos hidrológicos del suelo (Suárez Pérez, 2004).	17
Tabla 4. Programa de trabajo para primavera de 2023.	21
Tabla 5. Datos necesarios para el modelo (básico) de Producción Estacional de Agua de InVEST.	22
Tabla 6. Valores de flujo rápido promedio por tipo de cobertura para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.	25

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca de Cajititlán. Elaboración propia.	13
Figura 2. Mapa de área de interés del proyecto. Elaboración propia.	14
Figura 3. Mapa de Clasificación de Uso de Suelo. Archivo ráster. Elaboración propia.	14
Figura 4. Mapa de cobertura de suelo. Archivo vectorial. Elaboración propia.	15
Figura 5. Mapa de Curvas de Nivel 1:50,000. Archivo vectorial. Elaboración propia.	16
Figura 6. Mapa de Modelo Digital de Elevación (MDE). Archivo ráster. Elaboración propia.	17
Figura 7. Mapa de Grupos Hidrológicos del Suelo. Archivo vectorial. Elaboración propia.	18
Figura 8. Mapa de Número de la Curva. Archivo vectorial. Elaboración propia.	19
Figura 9. Mapa de Evapotranspiración para el mes de Agosto con estaciones meteorológicas. Archivo ráster. Elaboración propia.	20
Figura 10. Mapa de Precipitación para el mes de Agosto con estaciones meteorológicas. Archivo ráster. Elaboración propia.	21
Figura 11. Valores de flujo rápido (QF) para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.	24
Figura 12. Mapa de los valores de recarga (contribución, positiva o negativa), a la recarga total para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.	25

## Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

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

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

## Resumen

Con el fin de preservar y gestionar los recursos hídricos de manera sostenible en la cuenca de la laguna de Cajititlán, México, estudiantes del Proyecto de Aplicación Profesional del Laboratorio de Datos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) colaboraron con el Proyecto Charco Bendito para llevar a cabo este proyecto. Se centró en generar y analizar información geoespacial utilizando el modelo de producción estacional del agua de InVEST, un software desarrollado por la organización Natural Capital Project de la Universidad de Stanford para evaluar y cuantificar los servicios ecosistémicos proporcionados por los recursos naturales, lo que permitió tomar decisiones informadas sobre su gestión y conservación.

El objetivo principal fue establecer una línea base ambiental para medir la ganancia de agua y evaluar el éxito de futuros proyectos de conservación y gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca de la laguna de Cajititlán. Para lograr esto, se obtuvo y generó la información necesaria para correr el modelo de InVEST, incluyendo capas de área de interés, uso de suelo, modelo digital de elevación, hidrología, tabla de datos biofísicos, precipitación y evapotranspiración. Además, se validó la calidad de la información y se configuró el modelo, ejecutándose para analizar los resultados obtenidos y determinar la línea base ambiental en la cuenca de la laguna de Cajititlán.

El proyecto también se centró en estudiar la infiltración y el escurrimiento en la cuenca de la laguna de Cajititlán, procesos clave para la regulación del ciclo hidrológico y la preservación de los recursos hídricos. Se generaron guías detalladas de cada paso del proceso para la creación de cada una de las capas con la finalidad de poder replicar el modelo en futuros años y así poder medir el progreso y la ganancia o pérdida de agua en la cuenca.

Con los resultados del modelo se pudo observar que los bosques de pino y los bosques mixtos de pino-encino generan menor escurrimiento, mientras que los cambios en el uso del suelo hacia la agricultura, la urbanización y los suelos desnudos, debido a incendios agrícolas o forestales, incrementan los volúmenes de escurrimiento. La investigación también destaca la importancia de la preservación del agua y la restauración de áreas naturales para la sostenibilidad y la responsabilidad social y ambiental.

Es importante destacar que los datos utilizados en este proyecto corresponden al año 2018, ya que no se contaba con datos más actualizados de evapotranspiración y precipitación para realizar ambas capas. Sin embargo, se encontró que es posible emplear datos climatológicos

históricos para estimar el rendimiento estacional del agua en ausencia de datos actualizados, y que la gestión del paisaje puede afectar el flujo estacional del agua.

Asimismo, se propone la inclusión de un modelo financiero en futuros estudios, que permita medir las ganancias o pérdidas económicas asociadas a la conservación y gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca de la laguna de Cajititlán. De esta manera, se podrá evaluar no solo el impacto ambiental, sino también el impacto económico de las acciones efectuadas en la región.

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es generar información geoespacial para determinar la ganancia de agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán, tanto en la línea base como en términos de funcionalidad, utilizando el modelo de producción estacional del agua de InVEST en el marco del proyecto Charco Bendito.

A continuación, se muestran los objetivos específicos del proyecto para el periodo de primavera 2023 y sus actividades correspondientes.

**Tabla 1. Objetivos específicos.**

Objetivo	Actividades	Estado del objetivo
Obtener o generar las capas necesarias para correr el modelo InVEST en la cuenca de la laguna de Cajititlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar la disponibilidad de datos geoespaciales de la cuenca de la laguna de Cajititlán en repositorios abiertos.</li> <li>Si no se encuentran capas necesarias, generarlas a través de la recopilación de información en campo o fuentes secundarias.</li> </ul>	Concluido
Validar la calidad de la información y datos encontrados o generados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar visitas de campo a la cuenca de la laguna de Cajititlán para validar la calidad de los datos.</li> <li>Realizar análisis de precisión y exactitud de los datos obtenidos o generados.</li> </ul>	Concluido
Configurar el modelo InVEST para la producción estacional del agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Configurar el modelo InVEST para la producción estacional del agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán utilizando las capas de información geoespacial identificadas y/o generadas en los objetivos anteriores.</li> </ul>	Concluido
Correr el modelo InVEST y analizar los resultados obtenidos para determinar la línea base ambiental en	<ul style="list-style-type: none"> <li>Correr el modelo InVEST utilizando las capas de información geoespacial</li> </ul>	Concluido

la cuenca de la laguna de Cajititlán.	<p>configuradas en el objetivo anterior.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Analizar los resultados obtenidos para determinar la línea base ambiental en la cuenca de la laguna de Cajititlán.</li> </ul>	
Documentar el proceso y generar guías para la replicación del modelo para medir la adicionalidad en ganancia de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Redactar un informe técnico que detalle el proceso y los resultados obtenidos en el proyecto.</li> <li>● Elaborar guías para la replicación del modelo InVEST en futuros estudios.</li> <li>● Publicar el informe técnico y las guías en un repositorio digital para que estén disponibles para estudios de adicionalidad.</li> </ul>	Concluido
Realizar un análisis final de las parcelas del proyecto Charco Bendito.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Efectuar un análisis final del proyecto.</li> <li>● Generar mapas con las capas trabajadas.</li> <li>● Realizar un proceso de reflexión</li> </ul>	Concluido

## 1.2. Conceptos clave

### Ganancia de agua

De acuerdo con las necesidades de información del proyecto de Charco Bendito, se entiende por ganancia de agua al efecto que se logra en la reducción de los volúmenes de agua que dejan de escurrir y que se refleja en el volumen de agua que se infiltra (recarga) o se evapotranspira.

### Línea base

Es la condición de las parcelas antes del inicio del proyecto Charco Bendito (2020) en términos de infiltración (recarga), escurrimiento de agua y evapotranspiración.

### Adicionalidad

Es la ganancia de agua de las parcelas con la intervención del proyecto Charco Bendito a partir de 2020, en términos de incremento en el volumen de agua que se infiltra al subsuelo (recarga) y que, por tanto, deja de escurrir o se evapotranspira.

## 1.3. Justificación

El ITESO demuestra su compromiso con la comunidad y el medio ambiente al tomar medidas contra la degradación ambiental a nivel global y sus efectos en México y la región. La institución apoya y promueve proyectos para prepararse y enfrentar los desafíos de un mundo cambiante.

En 2020, presentaron su primer Reporte de prácticas para la sustentabilidad, que destaca las acciones realizadas por la comunidad universitaria para lograr la sustentabilidad institucional y cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

La implementación de estos proyectos permitirá prever y enfrentar los efectos del cambio climático en nuestro país, en lugar de tener que lidiar con ellos una vez que ya se han manifestado. Además, estos proyectos tienen como objetivo brindar a los estudiantes la oportunidad de aplicar sus conocimientos adquiridos durante su carrera, utilizando datos reales, y aprender a manejar y analizar información con las herramientas tecnológicas disponibles. Esto es particularmente relevante en el departamento de ciencia de datos, donde se ha identificado como una problemática común la falta de habilidades en el procesamiento y análisis de datos.

La cuenca del Río Santiago–Guadalajara se localiza en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago y está formada por 10 subcuencas, dentro se ubican 35 municipios pertenecientes a Jalisco y 3 a Zacatecas y un gran número de microcuencas, siendo una de estas la denominada “Cajititlán”.

En esta microcuenca, uno de los principales problemas es la falta de disponibilidad y desabasto de agua, razón por la cual se empezó a desarrollar un proyecto sustentable e integrador, cuyo eje rector sea el agua pero que incorpore variables y dimensiones dirigidas a promover la restauración de la microcuenca, encontrando en Charco Bendito, localidad de San Lucas Evangelista, municipio de Tlajomulco de Zúñiga, las condiciones óptimas para su implementación, por encima de tres alternativas regionales que previamente fueron revisadas y descartadas.

Este proyecto Charco Bendito es desarrollado por Red Bioterra SC y financiado por Grupo Modelo, Casa Sauza, Tequila Patrón, Bacardí Limited, Casa Herradura, Grupo Peñafiel, Pernod Ricard México, Grupo Bimbo, DIAGEO, Mars y Nestlé, operado por Beverage Industry Environmental Roundtable, Red Bioterra, Bardo Comunicación y Antea Group.

Por lo que la justificación para elegir este sitio y dedicarnos en este proyecto de aplicación profesional fue, principalmente debido que: es un área natural protegida estatal, con carácter de protección hidrológica, la importancia ecológica y ambiental que tiene la laguna de Cajititlán, el alto impacto al ecosistema y los valores histórico-culturales de la localidad.

Un aspecto que justifica la participación del PAP de laboratorio de análisis de datos de ITESO es que tanto el equipo de Red Bioterra que dirige la ejecución del proyecto como las empresas que financian el proyecto tienen la necesidad de contar con herramientas y metodologías científicas les permitan generar información geoespacial para determinar la ganancia de agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán, tanto en la línea base como en términos de adicionalidad.

Aunado a esto, durante el desarrollo del proyecto una parte del área delimitada se vio afectada por un incendio, lo cual incrementó el interés del equipo por medir los cambios en la ganancia de agua cuando ocurren siniestros de esta naturaleza.

### 1.3 Antecedentes

En etapas anteriores de este PAP (Proyecto de aplicación profesional, Laboratorio de análisis de datos) se logró recopilar datos reales de diversas instituciones como: INEGI, SEMARNAT, CONANP, Unidad de Información Estadística y Geoespacial de ITESO, Municipio de Zapopan, IIEG, entre otras, para convertirlos en información sistematizada sobre problemas o situaciones sociales, económicas, medioambientales o de gobierno, para medir los efectos de los cambios naturales y de origen antrópico que sucedieron en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Dicho estudio fue publicado en el año 2022 por el observatorio ciudadano Jalisco Cómo Vamos en el sitio <https://jaliscocomovamos.org/pap-programa-de-modelacion-matematica-para-el-desarrollo-de-planes-y-proyectos-de-negocio/>.

El PAP Laboratorio de análisis de datos, en su segunda edición, se encargó de trabajar en el Proyecto Charco Bendito, una iniciativa conjunta que desarrolla un proyecto sustentable e integrador, dirigida a promover la restauración con enfoque de cuenca. Se utilizaron imágenes



de satélite SENTINEL-2 del programa Copernicus de la Unión Europea, con el fin de analizarlas en software de código abierto (QGIS), para posteriormente utilizar modelos de probabilidad de cambios para así calcular en un segundo momento los volúmenes de captura y secuestro de carbono.

Las preguntas principales con las que se inició este trabajo fueron por una parte ¿Cuál es el volumen de carbono o línea base con la que inicia el proyecto Charco Bendito en el año 2020? y ¿Cuál es el volumen en toneladas métricas (T) que se logra almacenar durante la vida útil del proyecto 2020-2028? además se buscó obtener el dato de captura anual de carbono por hectárea y calcular los precios en un sistema de comercio de emisiones, se tuvo como antecedente el dato de 66,184.42 tCO<sub>2</sub>e capturadas de 2020 a 2028 para una superficie de 150 Ha que suman las parcelas integradas al proyecto de 2020 a 2022.

El modelo de captura de carbono elegido fue InVEST de la Universidad de Standford. Debido a que son espacialmente explícitos, usan mapas como fuentes de información y producen mapas como resultados. InVEST devuelve resultados en términos biofísicos (p. ej., toneladas de carbono secuestrado) o en términos económicos (p. ej., valor actual neto de ese carbono secuestrado).

Específicamente se utilizó el modelo de Carbon Storage and Sequestration, el cual estima la cantidad actual de carbono almacenado en un paisaje y valora la cantidad de carbono secuestrado a lo largo del tiempo. (Stanford University, N/A)

Este modelo funciona de la siguiente manera:

Primeramente, agrega la cantidad biofísica de carbono almacenado en cuatro reservas de carbono (biomasa viva sobre el suelo, biomasa viva bajo el suelo, suelo y materia orgánica muerta), considerando los mapas Land Use and Land Cover (LULC) que se realizaron a lo largo del PAP a partir de imágenes satelitales en las que se realizaron sitios de entrenamiento. Se proporcionó un LULC futuro, que permitió que el componente de secuestro de carbono del modelo estimará el cambio esperado en las reservas de carbono a lo largo del tiempo. Esta parte del modelo valora la cantidad de carbono secuestrado como un servicio ambiental utilizando datos adicionales sobre el valor de mercado o costo social del carbono, su tasa de cambio anual y una tasa de descuento. El modelo de carbono también puede realizar opcionalmente análisis de escenarios de acuerdo con los marcos de Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación Forestal (REDD) y REDD+. (Natural Capital Project, N/A).

## 1.4. Contexto

### 1.4.1 Global

El agua es un recurso sumamente importante para la humanidad, la escasez de este recurso es un problema que nos afecta a todos, para hacer hincapié en la importancia del proyecto necesitamos contextualizar la situación actual del agua a nivel global, del país y del estado. La escasez de agua es una problemática que ha estado incrementándose en las últimas décadas a escala global debido al cambio climático, el crecimiento demográfico y la mala gestión del recurso hídrico. Esta situación está teniendo un impacto significativo en varios aspectos de la sociedad, entre ellos el político, económico y ambiental.

En términos políticos, la escasez de agua está generando tensiones entre los diferentes países y regiones del mundo. En muchos casos, el agua es un recurso compartido entre países y su gestión se convierte en un tema de negociación y conflicto. En algunos casos, estos conflictos pueden incluso desencadenar guerras. Por ejemplo, el control del agua del río Nilo ha sido motivo

de disputa entre Egipto, Sudán y Etiopía en los últimos años. Asimismo, la gestión del agua se convierte en un tema político en países donde el recurso es escaso y la demanda es alta. En estos casos, los gobiernos pueden ser presionados por la población para tomar medidas que aseguren el suministro de agua, lo que a su vez puede afectar otros sectores de la economía y generar conflictos políticos internos.

En el ámbito económico, la carencia de agua está teniendo un impacto significativo en diversos sectores productivos. Por ejemplo, la agricultura es uno de los sectores con mayor demanda de agua y que más se está viendo afectado por la escasez de este recurso. La ausencia de este recurso puede afectar la producción agrícola, lo que a su vez puede generar pérdidas económicas y disminuir la oferta de alimentos en el mercado. Además, la escasez de agua también puede afectar la generación de energía hidroeléctrica, que es una fuente importante de energía en muchos países. Esto puede generar un aumento en el costo de la energía y afectar la competitividad de las empresas. Generalmente, la escasez de agua tiene un impacto negativo en la economía de los países y puede generar una disminución en el crecimiento económico y un aumento en la pobreza.

“Cada dólar invertido en acceso al agua y saneamiento genera un rendimiento promedio de 6.80 dólares. El Banco Mundial indica que, de no implementar mejores políticas de gestión del agua, se podrían producir pérdidas del PIB regional de entre el 2% y el 10% para 2050.” (Strong & Kuzma, 2022)

Finalmente, en el aspecto ambiental, la escasez de agua está teniendo un impacto significativo en los ecosistemas y la biodiversidad. La falta de agua puede afectar la calidad del agua en ríos y lagos, lo que a su vez puede afectar a los organismos acuáticos y a los ecosistemas terrestres que dependen de ellos. Además, este problema también puede aumentar la presión sobre los recursos hídricos subterráneos, que son una fuente importante de agua para muchos países. La sobreexplotación de estos recursos puede generar un decremento en el nivel de los acuíferos y un aumento en la salinización del agua. Todo esto puede afectar la biodiversidad y la calidad de vida de las personas que dependen de estos recursos.

#### 1.4.2 Nacional

En las últimas décadas México ha experimentado cada vez más efectos negativos relacionados con la escasez de agua. Estas repercusiones son más pronunciadas en el norte del país debido a las constantes sequías y la poca retención de agua de lluvia, específicamente en estados como Coahuila, Chihuahua, Sonora, Durango, Baja California y Nuevo León, entre otros. En el caso del último estado, los gobernantes de este han considerado que la situación debería de ser considerada como de emergencia. Una denominación que es apropiada si se toma en cuenta que la Conagua (Comisión Nacional del Agua) reportó que al menos 51 municipios del estado enfrentaron algún grado de sequía. (Robledo, 2023)

La situación también ha alcanzado niveles extremos en Tamaulipas, siendo que el año pasado el estado pasó por la peor sequía desde hace cuarenta años. Con múltiples presas de la entidad en operando sobre niveles alarmantemente bajos. Mientras tanto, en Michoacán son 15 las ciudades las que fueron afligidas por sequías extremas y debido a la contaminación presente en sus cuencas estas no podían ser utilizadas para combatir la escasez de agua. (Zerega, 2023)

Además de las sequías, existen otros factores que contribuyen a la escasez del recurso; uno de estos factores es la sobreexplotación por parte de las diversas industrias del país. El mayor consumidor de agua en México es la industria agropecuaria, utilizando alrededor del 76%. El

resto del consumo de este recurso se divide en 14% para el abastecimiento de la población, 5% para plantas termoeléctricas y el último 5% es destinado a diversas industrias como la manufacturera. El proceso de manufactura, especialmente la producción de bebidas, como refrescos y cerveza, consume grandes cantidades de agua; para poner en perspectiva el gasto de este recurso hídrico, el INEGI calcula que para producir un vaso de cerveza de 250 mililitros se requieren 75 litros de agua, mientras que una copa de vino necesita de 120 litros. (Rivera, 2022). La siguiente sección entrará más a detalle sobre la situación actual del agua en nuestro estado, Jalisco.

### 1.4.3 Estatal

Complementando la información de la sección anterior al hablar de distribución de uso del agua, en el estado el 78% de ella proviene de fuentes subterráneas (acuíferos) y es destinada para agricultura, así como el 71% proveniente de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos. En cuanto al uso para abastecimiento público se hace referencia al agua suministrada a través de las redes de agua potable que abastece a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios, el 14% es subterránea y el 29% superficial. La industria autoabastecida incluye a la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos o acuíferos del estado. (IIEG, 2018)

El agua de Jalisco se obtiene de 7 importantes cuencas hidrológicas localizadas en el mismo. Lamentablemente, existe mucha contaminación en las cuencas, y se cree que la principal causa son descargas residuales sin tratar de origen industrial, doméstico, comercial, agropecuario y de retorno agrícola. Además de otras fuentes externas de contaminantes como tiraderos de basura a cielo abierto, rellenos sanitarios defectuosos, descargas de ocasionales de materias y sustancias químicas y petroquímicas, subproductos agropecuarios y escombros de construcción. (SIAPA, 2013)

De acuerdo con datos compartidos por el IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica), el estado entró en un déficit de agua subterránea debido a que la capacidad de regeneración es de 2,352'600,000 m<sup>3</sup> y cada año se tiene un déficit anual aproximado de 249'396,305 m<sup>3</sup> (Gobierno del Estado de Jalisco, 2022). En 2021, de las 59 zonas en total con la denominación de acuíferos, 30 estaban catalogadas con déficit y sólo 4 tenían un superávit significativo. Dicha información se analiza con base en datos de la CONAGUA.

Guadalajara pertenece a la cuenca "Lerma-Santiago-Pacífico" la cual, según la Subdirección General Técnica de la Gerencia de Aguas Subterráneas, los acuíferos de las regiones Toluquilla-Guadalajara, Mezcala-Jocotepec y Ocotlán sólo se recargan a través de precipitación, a diferencia de lo que se podría pensar por la cercanía del lago de Chapala. Es por esto por lo que los niveles de los acuíferos antes mencionados están sobreexplotados, es decir, el balance hidrológico anual termina en un déficit de 75.653523 hm<sup>3</sup> anuales continuamente (Chávez, 2021). Desafortunadamente, el agua que se extrae de estos lugares contiene altos niveles de Flúor, Manganeseo, Hierro y Arsénico.

Se estima que en la Cuenca hidrológica de Cajititlán de aportación se genera un gasto de aguas residuales de 99.5 litros por segundo y se tratan 57.5 litros por segundo, lo que representa una cobertura de saneamiento de tan sólo el 58%. La Laguna de Cajititlán tiene una capacidad natural de almacenamiento de 54 millones de metros cúbicos. Recientemente fue construido un vertedero con el objeto de mantener un nivel de almacenamiento en 67.5 millones de metros cúbicos (Prensa el Mar, 2013). Estudios realizados por la Comisión Estatal del Agua en el periodo de 2009 a 2012, arrojaron que los principales contaminantes de la laguna son nutrientes de

nitrógeno y fósforo. Estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas y maleza acuática, además de propiciar las bacterias de coliformes fecales, los cuales provienen principalmente de las descargas de aguas residuales a la laguna, contribuyendo a la mala calidad del recurso.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Sustento teórico y metodológico

#### 2.1.1 Conceptos disciplinares

En este PAP de laboratorio de análisis de datos, específicamente para aplicar el modelo de Producción Estacional de Agua de InVEST se utilizan datos geoespaciales como las imágenes de radar o de satélite, específicamente la clasificación supervisada de imágenes de satélite se relaciona con la ciencia de datos.

La clasificación supervisada de imágenes de satélite y otros datos geoespaciales se relacionan con la ciencia de datos, ya que implican la aplicación de técnicas de análisis y procesamiento de datos a información geográfica.

La clasificación supervisada de imágenes de satélite es una técnica de procesamiento de imágenes que utiliza algoritmos de aprendizaje automático para clasificar los píxeles de una imagen en diferentes categorías, como vegetación, agua, carreteras, edificios, etc. Esta técnica es muy útil en aplicaciones de teledetección y análisis geoespacial, como la monitorización de cultivos, la detección de cambios en la cobertura del suelo, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana y la gestión de desastres.

El procesamiento y análisis de datos geoespaciales también implica la manipulación de grandes cantidades de datos, lo que requiere el uso de técnicas y herramientas de ciencia de datos, como el aprendizaje automático, la estadística espacial, la minería de datos y la visualización de datos. Además, la integración de datos geoespaciales con otras fuentes de datos, como datos climáticos, datos socioeconómicos o datos de redes sociales, proporciona información valiosa para el cálculo de la producción estacional de agua en la Cuenca de Cajitlán.

Para poder obtener datos de la tierra nos apoyamos de la Teledetección. La Teledetección es la técnica mediante la cual Sentinel-2 es capaz de obtener datos de la superficie terrestre y se define como "una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra" (OBS-Teledeteccion.pdf, s.f. página 2).

Los sensores hacen uso de la Espectroscopía, ciencia encargada del estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia (ICTAN, s. f.). Gracias a estos sensores, y de acuerdo con su comportamiento, fue posible distinguir en las imágenes del satélite información que se encuentra fuera del espectro electromagnético visible e interpretarla para así ver, por ejemplo, la abundancia, escasez o falta de vegetación en la imagen que se relaciona directamente con la captura y secuestro de carbono.

Sentinel-2 es una herramienta ofrecida por Copernicus, el programa de observación de la tierra de la Unión Europea, y se utiliza para obtener imágenes de nuestra área de estudio en distintos puntos del tiempo para su procesamiento y análisis con un enfoque de clasificación de la cobertura del suelo y los cambios que pueden ocurrir entre un tipo de uso y otro.

Para obtener e interpretar imágenes satelitales, es necesario utilizar herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas nos proporcionan una estructura de trabajo para recolectar, administrar y analizar datos geográficos (SGM, 2020). En nuestro caso, hemos utilizado QGIS, un SIG de código abierto que nos permite procesar, limpiar y recortar las imágenes. También hemos realizado una clasificación de las imágenes según el tipo de área que se encuentra en cada píxel de la imagen, lo que nos permite clasificar cada píxel en diferentes categorías. Para realizar la clasificación supervisada de las imágenes de satélite, hemos utilizado un plugin integrado con Qgis llamado Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), que nos permite comparar los resultados de tres algoritmos de clasificación para elegir el más preciso.

La clasificación de un área de estudio en diferentes clases, según el tipo de vegetación o suelo, es uno de los principales objetivos de la teledetección. Para esto, la clasificación supervisada es un criterio para determinar las clases a usar en la clasificación, donde se definen de antemano un conjunto de clases que deben ser diferentes e identificables entre sí (Universidad de Murcia, s.f.).

InVEST es un software de código abierto desarrollado por la Universidad de Stanford que nos proporciona varios modelos para identificar y evaluar los servicios ecosistémicos que sustentan y completan la vida humana (Zaks, 2019).

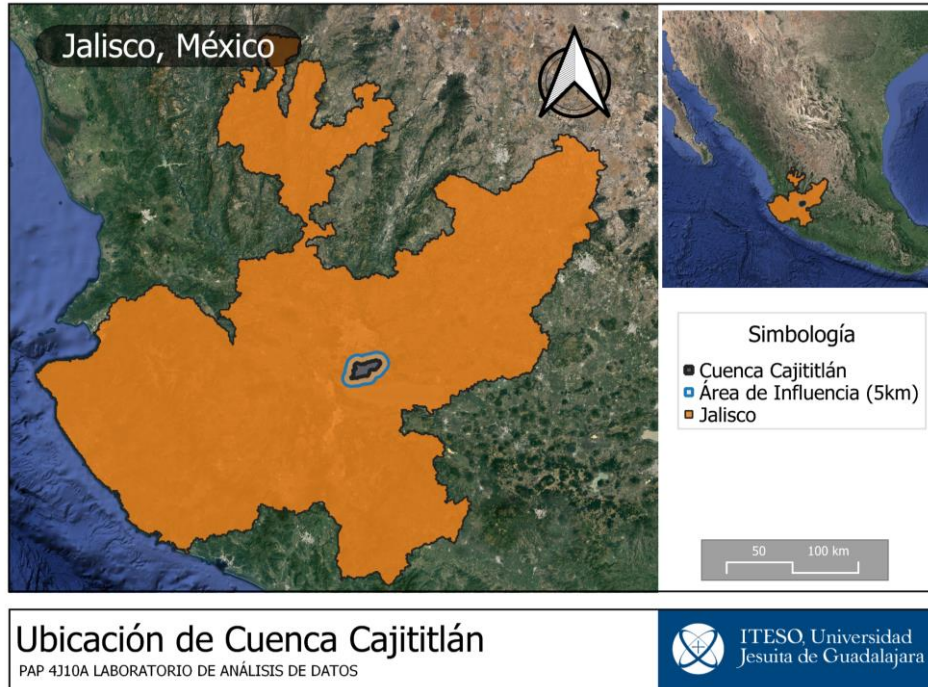
Se utilizó el modelo de rendimiento de agua estacional de InVEST ya que brinda orientación con respecto a la contribución de las parcelas de terreno a la generación de flujo base y flujo rápido. El modelo calcula índices espaciales que cuantifican la contribución relativa de una parcela de terreno a la generación de flujo base y flujo rápido.

### 2.1.2 Capas para modelo de InVEST

A continuación, se describen las capas utilizadas en el modelo de rendimiento de agua estacional de InVEST y se muestran representadas en mapas de la zona de estudio.

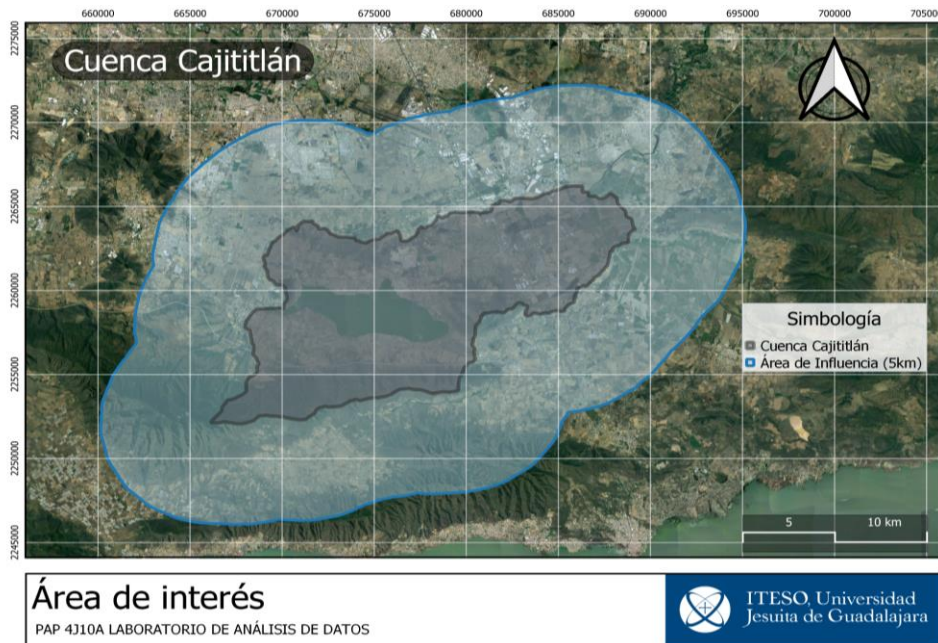
#### *a) Área de interés*

El área de interés para este proyecto es la cuenca de Cajititlán, ubicada en el estado de Jalisco, México, ver figura 1. Esta cuenca contiene el lago de Cajititlán.



**Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca de Cajititlán. Elaboración propia.**

Para fines del proyecto, se generó un área de influencia con un buffer de 5 kilómetros alrededor de la cuenca, utilizando la herramienta QGIS. (Ver figura 2). La capa del área de interés es un archivo vectorial.



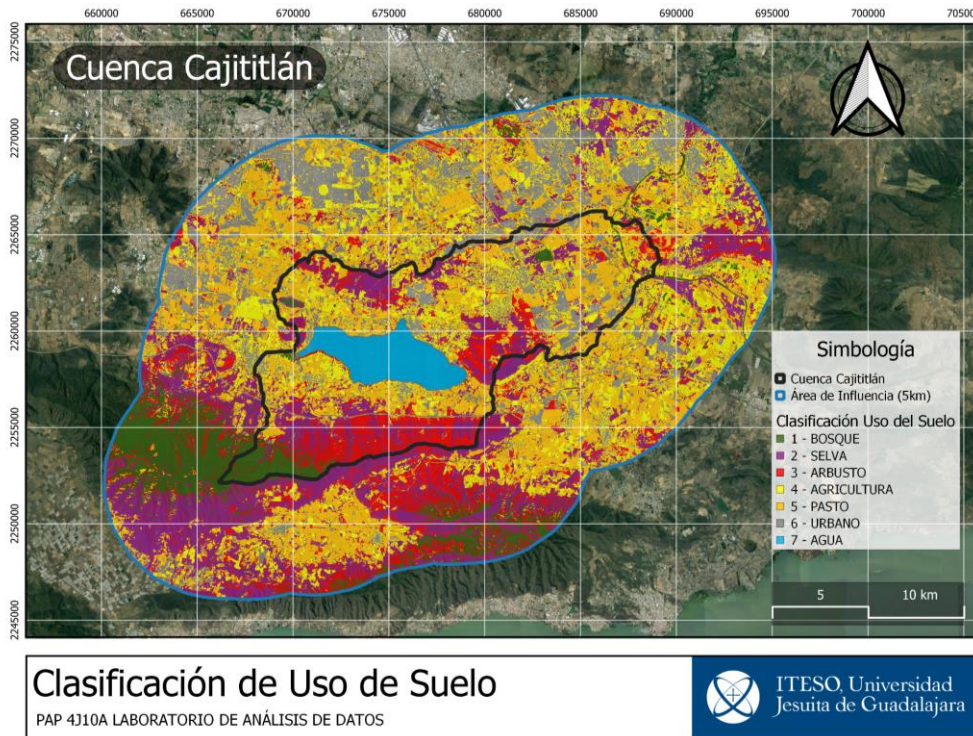
**Figura 2. Mapa de área de interés del proyecto. Elaboración propia.**

## b) Uso de Suelo

El mapa de uso de suelo es un archivo ráster. Los píxeles del ráster se clasificaron de acuerdo con los usos de suelo de la tabla 2, donde cada uno corresponde a un número entero. En el mapa de la figura 3 se muestra la “Clasificación de uso de suelo” del archivo ráster.

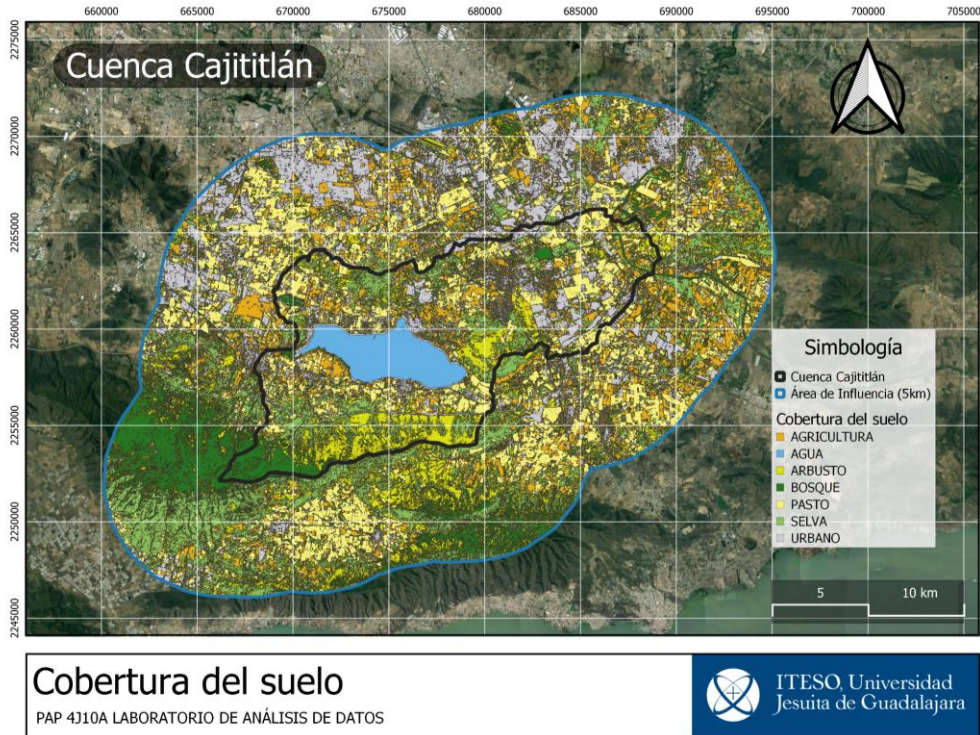
**Tabla 2. Clasificación de Uso de Suelo.**

ID	Uso de Suelo
1	BOSQUE
2	SELVA
3	ARBUSTO
4	AGRICULTURA
5	PASTO
6	URBANO
7	AGUA



**Figura 3. Mapa de Clasificación de Uso de Suelo. Archivo ráster. Elaboración propia.**

Posteriormente, el archivo ráster se convirtió en un archivo vectorial utilizando la herramienta “Poligonizar (ráster a vectorial)” de QGIS, obteniendo la capa de “Cobertura del suelo” que se muestra en el mapa de la figura 4.



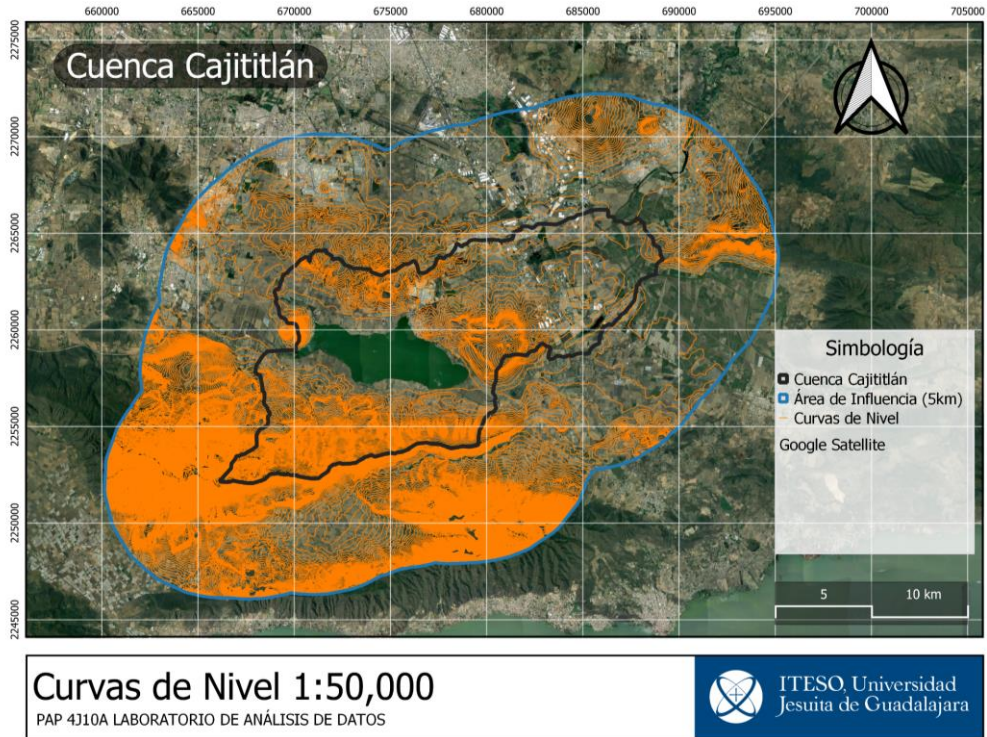
**Figura 4. Mapa de cobertura de suelo. Archivo vectorial. Elaboración propia.**

*c) Modelo Digital de Elevación (MDE)*

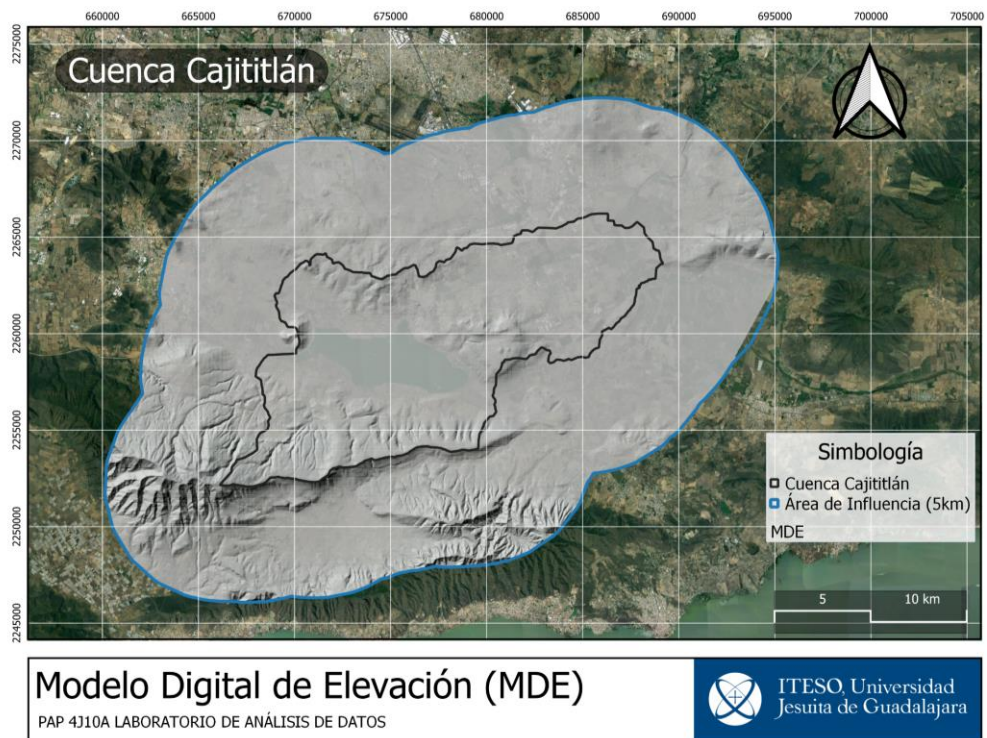
El modelo digital de elevación (MDE) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. (INEGI, 2018).

Para elaborarlo se utilizó como capa base las curvas de nivel 1:50,000 (figura 5), las cuales se procesaron con la herramienta de Interpolación TIN de Qgis y después se convirtieron en MDE con la herramienta TIN to Raster. Ver figura 6.





**Figura 5. Mapa de Curvas de Nivel 1:50,000. Archivo vectorial. Elaboración propia.**



**Figura 6. Mapa de Modelo Digital de Elevación (MDE). Archivo ráster. Elaboración propia.**

#### d) Hidrología

Para la parte de hidrología del modelo, se utilizan varios factores de entrada, entre ellos se encuentran el umbral de acumulación del flujo, parámetro beta, parámetro gamma y grupos hidrológicos del suelo.

##### i. Valores numéricos

###### i.i Umbral de acumulación del flujo

Esta entrada representa un número de píxeles ascendentes que deben fluir en un píxel antes de que se clasifique como flujo.

###### i.ii Parámetro Beta

Esta entrada representa la proporción del subsidio de gradiente ascendente que está disponible para la evapotranspiración de gradiente descendente. El valor por defecto que se utiliza es 1, sin embargo, para este modelo se utilizó el valor 0.5.

###### i.iii Parámetro Gamma

Esta entrada representa la proporción de recarga local de píxeles que está disponible para los píxeles degradados. El valor por defecto que se utiliza es 1, representando la máxima demanda de agua. Sin embargo, para este modelo se utilizó el valor 0.5 para indicar condiciones intermedias.

##### i. Grupos hidrológicos del suelo

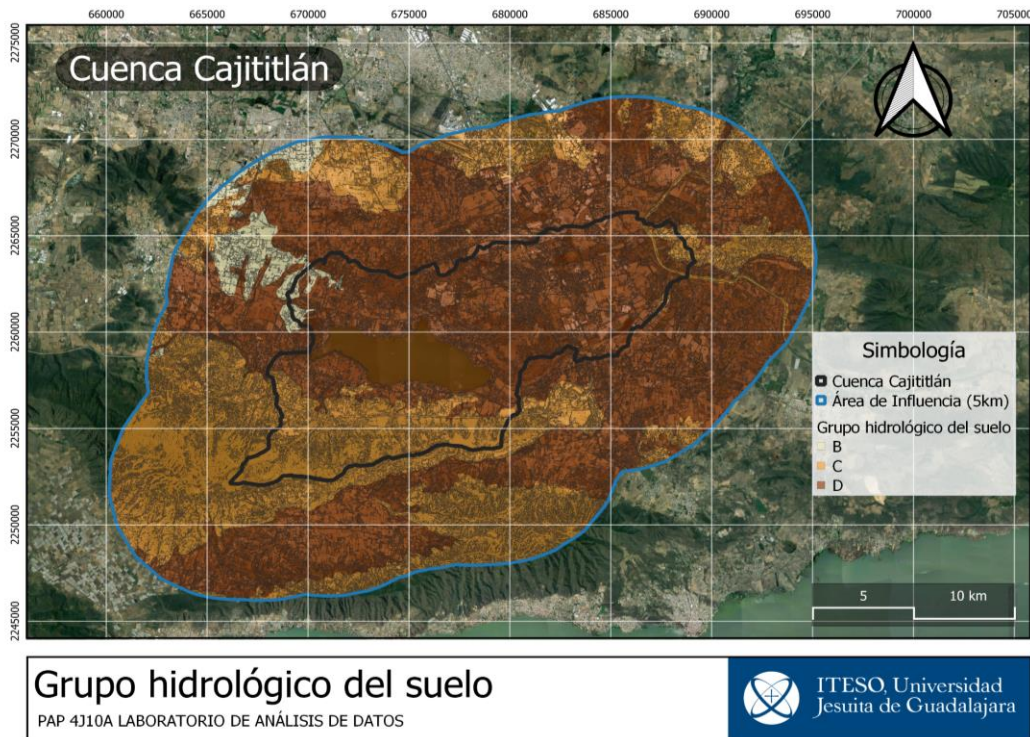
Los grupos hidrológicos del suelo describen el potencial de escorrentía de lluvia de diferentes tipos de suelo. Hay cuatro grupos: A, B, C, D, donde A tiene el menor potencial de escorrentía y D tiene el mayor. (InVEST, 2021). Estos grupos fueron definidos por el “Soil Conservation Service (SCS)”, que clasificó hidrológicamente más de 4000 suelos basándose en su potencial de escurrimiento y agrupándolos en los 4 grupos antes mencionados. En la siguiente tabla se describe a que se refiere cada tipo de suelo:

**Tabla 3. Clasificación de grupos hidrológicos del suelo (Suárez Pérez, 2004).**

<b>Suelo tipo A</b>	Potencial de escurrimiento bajo. Suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.
<b>Suelo tipo B</b>	Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua.
<b>Suelo tipo C</b>	Suelos con capacidad de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.
<b>Suelo tipo D</b>	Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están

completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

En la figura 7, se muestran los grupos de suelo para el área de estudio. Como se observa, la mayor parte tiene grupo hidrológico D seguido del grupo C y con una muy pequeña porción de grupo B. Esto quiere decir que en general, el área de interés tiene suelos con infiltraciones bajas.



**Figura 7. Mapa de Grupos Hidrológicos del Suelo. Archivo vectorial. Elaboración propia.**

*e) Tabla de datos biofísicos*

La tabla de datos biofísicos se asigna código LULC (por sus siglas en inglés) a las propiedades biofísicas de la clase de uso de suelo correspondiente. Las entradas de la tabla corresponden a las capas de:

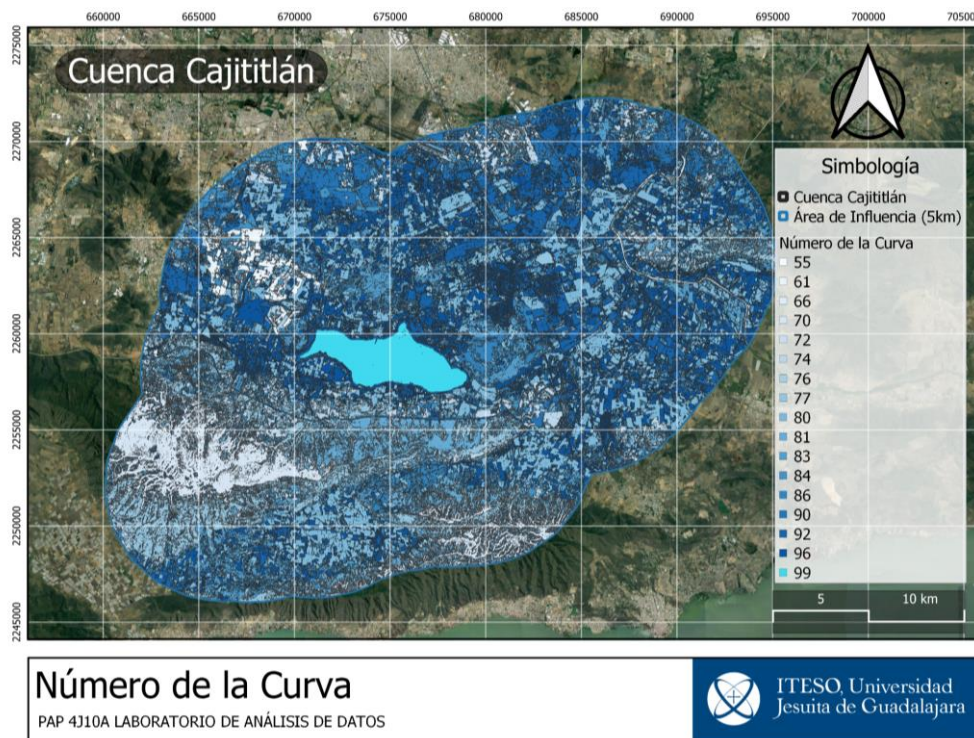
- Clasificación de uso de suelo
- Número de la curva
- Valores de coeficiente de cultivo/vegetación (Kc)

### *i. Número de la Curva (NC)*

El número de la curva (NC) es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico del suelo. (NRCS, 2004). Este método está basado en el “Natural Resources Conservation Service” (NRCS), y busca evaluar la transformación de la lluvia a escorrentía.

El NC toma valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Para cuerpos de agua y humedales que están conectados a la corriente, el NC se puede establecer en 99 (es decir, suponiendo que esos pixeles transmitan rápidamente el flujo rápido).

También, sirve para calcular el flujo rápido, ya que es una forma de capturar las propiedades de suelo + cobertura del suelo: los valores más altos del número de la curva tienen un mayor potencial de escorrentía, los valores más bajos tienen más probabilidades de infiltrarse (ej. Suelos arenosos y cubierta vegetal denso). (InVEST, 2021).



**Figura 8. Mapa de Número de la Curva. Archivo vectorial. Elaboración propia.**

### *f) Precipitación y Evapotranspiración*

#### *i. ET0 Directorio*

Esta entrada es un directorio que contiene mapas de evapotranspiración de referencia para cada mes, los mapas sólo deben de estar en formato ráster (archivos .tif).

En la figura 9, se observa un ejemplo de la evapotranspiración que hubo en Agosto del 2018 para el área de interés. Este es un ejemplo de los datos registrados en el Directorio ET0.



**Figura 9. Mapa de Evapotranspiración para el mes de Agosto con estaciones meteorológicas. Archivo ráster. Elaboración propia.**

### *i. Directorio de precipitación*

Esta entrada es un directorio que contiene mapas de precipitación mensual para cada mes, los mapas sólo deben de estar en formato ráster (archivos .tif).

En la figura 10, se observa un ejemplo de la precipitación que hubo en agosto del 2018 para el área de interés. Este es un ejemplo de los datos registrados en el Directorio de precipitación.



**Figura 10. Mapa de Precipitación para el mes de agosto con estaciones meteorológicas. Archivo ráster. Elaboración propia.**

## 2.2 Programa de trabajo

**Tabla 4. Programa de trabajo para primavera de 2023.**

Tema	Contenido a desarrollar	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Definir objetivos	Conocer antecedentes del PAP, conocer modelo InVEST, definir equipos de trabajo y plantear objetivos.	X				
Uso de la tierra	Cobertura del suelo (ráster, requerido): Mapa de los códigos de uso de la tierra/cobertura del suelo.		X			
Tabla biofísica	Tabla biofísica con la clasificación de la cobertura del suelo, el número de la curva (NC) y Valores de coeficiente de cultivo/vegetación (Kc).		X	X		
Modelo digital de elevación	Mapa de elevación sobre el nivel del mar.		X	X		
Área de interés	Área de interés. Un mapa de áreas sobre el cual agregar y resumir los resultados finales. Microcuenca Cajititlán	X				
ET0 Directory	Evapotranspiración, Doce archivos, uno para cada mes.		X	X		

Directorio de precipitación	Precipitación. Doce archivos, uno para cada mes.			X	X	
Grupo hidrológico del suelo	Grupo hidrológico del suelo			X	X	
Visita de campo	Visita a la microcuenca de Cajititlán				X	
Correr el modelo InVEST	Correr el modelo de producción estacional de agua, corregir posibles errores				X	X
Elaboración y presentación del reporte	Texto en extenso y presentación en Power Point					X

### 3. Resultados del trabajo profesional

Los resultados del presente proyecto de aplicación profesional se pueden identificar en tres líneas:

1. Elaboración de los datos necesarios para el modelo de Producción Estacional de Agua.
2. Resultados del modelo de producción estacional de agua para la microcuenca de Cajititlán.
3. Elaboración de guías de estudio.

#### 3.1 Datos necesarios

El modelo de Producción Estacional de Agua de InVEST tiene dos modalidades una que podría considerarse como básica y otra avanzada, en este proyecto PAP se logró la modalidad básica para lo que se elaboraron los siguientes temas:

**Tabla 5. Datos necesarios para el modelo (básico) de Producción Estacional de Agua de InVEST.**

Tema	Qué es	Parámetro
<b>Espacio de trabajo</b>	Espacio de trabajo (directorío, obligatorio)	InVest
<b>Sufijo</b>	Sufijo de archivo (texto, opcional)	Cajititlán
<b>Uso de la tierra</b>	Cobertura del suelo (ráster, requerido): Mapa de los códigos de uso de la tierra/cobertura del suelo.	Sentinel 2, mayo de 2018
<b>Tabla biofísica</b>	Tabla biofísica (CSV, obligatorio): una tabla que asigna cada código LULC a las propiedades biofísicas de la clase LULC correspondiente, número de la curva (NC) y Valores de coeficiente de cultivo/vegetación (Kc)	
<b>Modelo digital de elevación</b>	(ráster, unidades: m, obligatorio): Mapa de elevación sobre el nivel del mar.	INEGI, pixel 30x30
<b>Área de interés</b>	Área de interés (vector, polígono/multipolígono, requerido): Un mapa de áreas sobre el cual agregar y resumir los resultados finales.	Microcuenca Cajititlán, fuente FIRCO
<b>Acumulación de flujo umbral</b>	Acumulación de flujo umbral (número, unidades: número de píxeles, obligatorio)	Parámetro de 500

<b>Alpha_m</b>	Alpha_m Parámetro (texto, condicionalmente requerido): La proporción de recarga local anual disponible en pendiente ascendente que está disponible en cada mes. Obligatorio si no está seleccionada la opción Usar tabla alfa mensual.	Valor predeterminado: 1/12=0.083
<b>Beta_i</b>	Beta_i Parámetro (ratio, requerido): La proporción de la subvención de gradiente que está disponible para la evapotranspiración de gradiente descendente.	Valor predeterminado: 1.
<b>Gamma</b>	Parámetro gamma (ratio, obligatorio): la proporción de recarga local de píxeles que está disponible para los píxeles de degradado descendente.	Valor predeterminado: 1.
<b>ET0 Directory</b>	Evapotranspiración (ráster, unidades: mm, obligatorio), Doce archivos, uno para cada mes.	Estaciones climáticas CONAGUA
<b>Directorio de precipitación</b>	Precipitación (ráster, unidades: mm/año, obligatorio): Doce archivos, uno para cada mes.	Estaciones climáticas CONAGUA
<b>Grupo hidrológico del suelo</b>	Grupo hidrológico del suelo (ráster, condicionalmente requerido): Mapa de grupos hidrológicos del suelo. Los píxeles pueden tener valores 1, 2, 3 o 4, correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo A, B, C o D, respectivamente.	NASA Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling
<b>Tabla de eventos de lluvia</b>	La tabla de eventos de lluvia es una entrada del modelo en CSV, Junto con el campo de mes requerido, se requiere una columna adicional con el número de eventos de lluvia por cada mes.	Un evento de lluvia se define como > 0.1mm

De acuerdo con la tabla anterior se prepararon los datos necesarios para el modelo básico de producción estacional de agua para el año 2018, esto fue así por dos razones una de ellas es para lograr el objetivo de contar con una línea base antes del inicio del proyecto Charco Bendito y la otra razón es porque en las estaciones meteorológicas de la CONAGUA o hay información de estadísticas diarias más allá del año 2019 por lo que el modelo se corrió con datos de 2018 tanto para climatología como para cobertura del suelo a través de imágenes de Sentinel 2. Hay que considerar que todas las entradas SIG están en el mismo sistema de coordenadas proyectadas (UTM zona 13 norte) y en unidades lineales métricas.

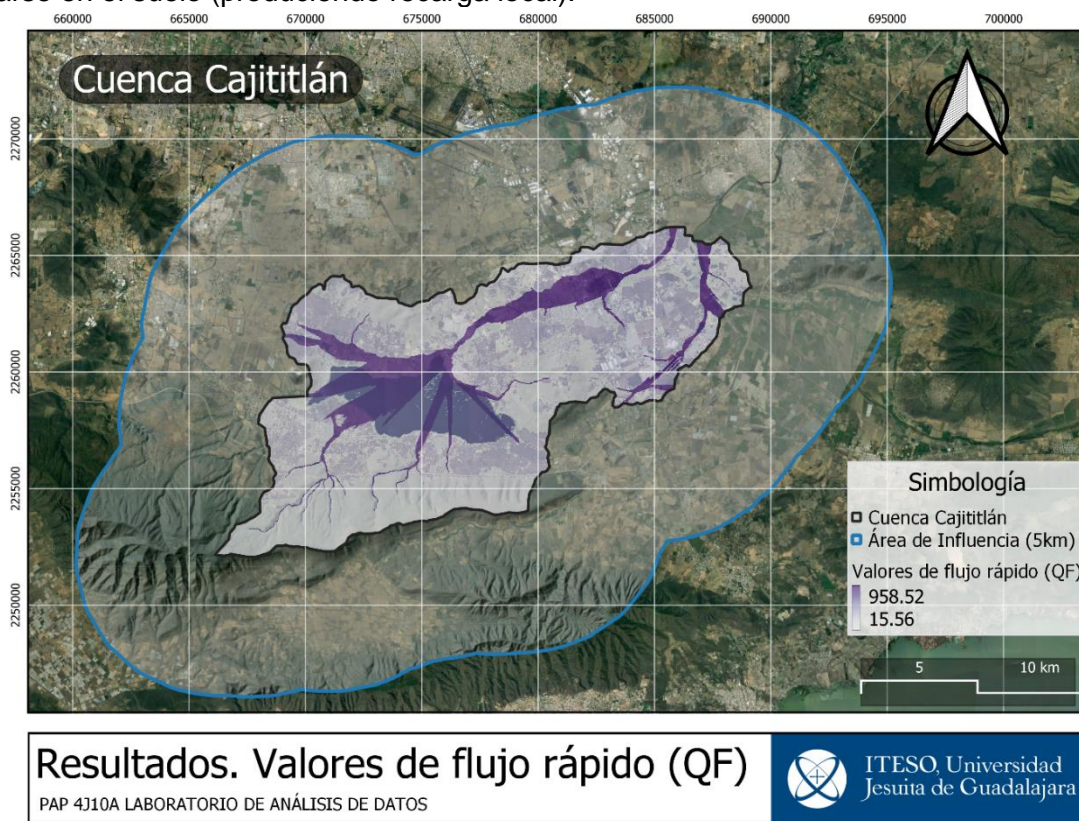
### 3.2 Resultados del modelo de producción estacional de agua para la microcuenca de Cajititlán

En el caso del modelo de producción estacional de agua de InVEST para la microcuenca de Cajititlán año 2018 se obtuvieron nueve (9) capas de información, algunas de las más relevantes son el mapa de valores de número de curva (CN), el mapa de precipitación acumulada (P), el mapa de valores de flujo rápido (QF) o escurrimiento y el Mapa de los valores de recarga (L) y el mapa de evapotranspiración (ET). Estos resultados se pueden observar en la Tabla 6.



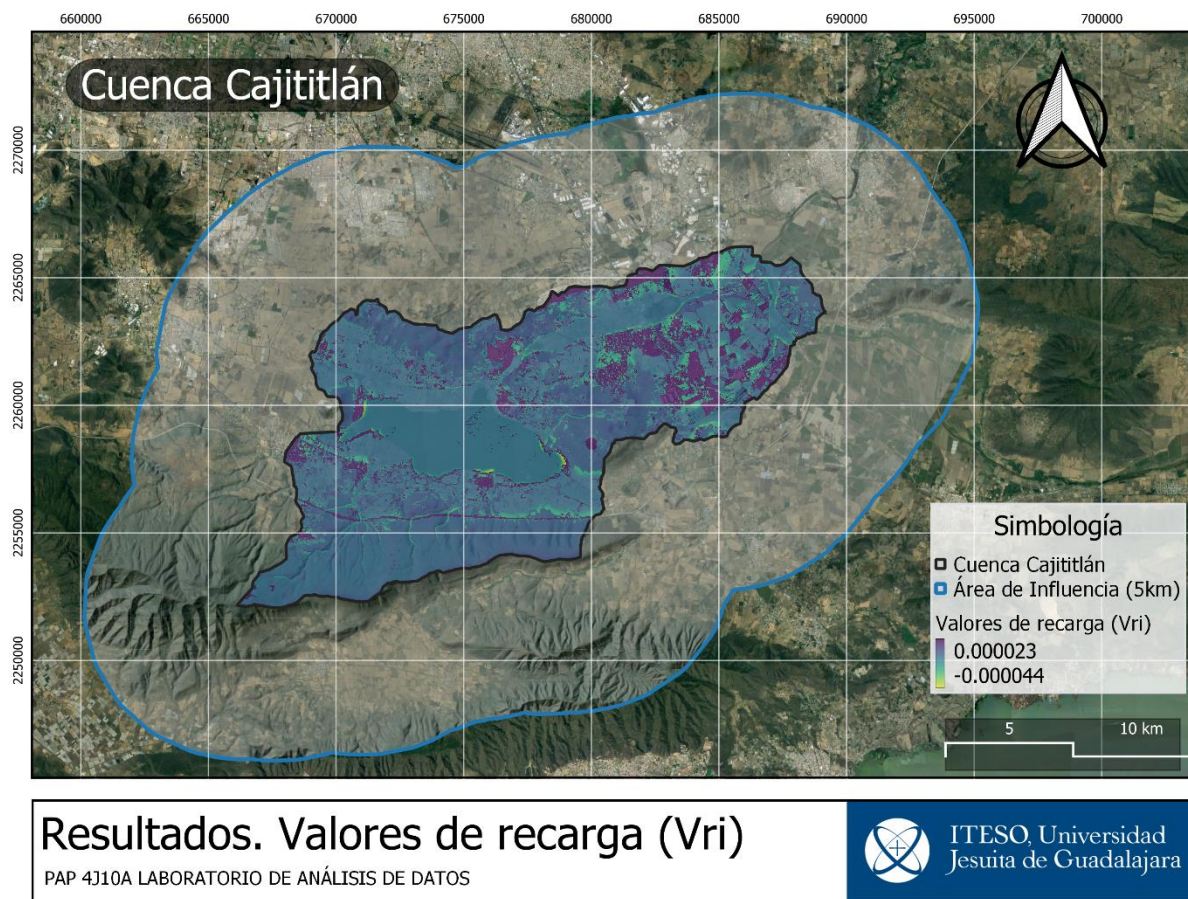
El Mapa de precipitación acumulada (P), es la suma de las precipitaciones de cada uno de los 12 meses del año, el resultado se presenta en milímetros (MM).

Mapa de valores de flujo rápido (QF), en el modelo de producción estacional de agua de InVEST el Flujo Rápido (Quickflow (QF)) se calcula con un enfoque basado en el número de curva (CN). Se considera que los eventos de lluvia mensuales causan precipitaciones sobre el paisaje. Las propiedades de la cobertura del suelo y las propias características del suelo determinan la cantidad de lluvia que se escurre rápidamente (lo que produce un flujo rápido) en lugar de infiltrarse en el suelo (produciendo recarga local).



**Figura 11. Valores de flujo rápido (QF) para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.**

Mapa de los valores de recarga local (L), la recarga local, o la contribución potencial al flujo base, de un píxel se calcula a partir del balance hídrico local. Las precipitaciones que no se escurren como flujo rápido, y no son evapotranspiración por la vegetación en un píxel, pueden infiltrarse en el suelo para convertirse en una recarga local. La recarga local puede ser negativa si un píxel no recibe suficiente agua para satisfacer sus requisitos de vegetación (determinado por su factor de cultivo  $K_c$ ), por lo que también utiliza el agua generada pendiente arriba del píxel (lo que se conoce como un "subsidio por la pendiente".)



**Figura 12. Mapa de los valores de recarga (contribución, positiva o negativa), a la recarga total para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.**

El mapa de evapotranspiración (ET), es el agua disponible a un píxel, aportada por todos los píxeles pendiente arriba, que está disponible para la evapotranspiración de este píxel.

Lo que se obtiene como resultado práctico para la cuenca de Cajititlán es que los bosques de pino y bosques mixtos de pino-encino son las coberturas que menor escurrimiento generan y se van incrementado los volúmenes de escurrimiento conforme van cambiando los usos del suelo hacia agricultura, urbano y suelos desnudos provocados por incendios agrícolas o forestales, véase la Tabla 2.

**Tabla 6. Valores de flujo rápido promedio por tipo de cobertura para la cuenca de Cajititlán para el año 2018. Fuente: Modelo InVEST de producción estacional del agua.**

Ecosistema	Precipitación (P) (mm)	Escurrimiento (QF) (mm)	Recarga (L) (mm)	Evapotranspiración (ET) (mm)
Bosque (Cerro viejo)	833	40	47	670
Selva (Cerro viejo)	830	79	72	1035
Matorral (San Lucas Evangelista)	866	125	89	2,439
Agricultura (maíz)	869	868	-38	77

Pasto (Cajititlán)	903	72	98	3,796
Urbano (Arvento)	922	280	314	2,852
Agua (Lago)	893	893	-1	3
Suelo desnudo (Incendio 2018 Cerro Viejo)	855	312	542	10,270

Llama la atención un par de datos, por un lado, el lago de Cajititlán registra valores altos de escurrimiento, así como todos los cauces de ríos y arroyos de la cuenca, entre ellos el arroyo grande de San Lucas y el arroyo el Copalito ambos afluentes del Lago de Cajititlán.

Otro dato relevante es que con los incendios forestales o agrícolas el suelo queda normalmente desnudo y los niveles de escurrimiento pasan de valores 40 mm en el caso de bosques o 79 mm en el caso de selvas o de 125 mm en el caso de matorrales a valores de hasta 312 mm por año cuando se pierde la vegetación natural y el suelo queda desnudo.

Se observa además que para suelos desnudos el agua para recarga esté más disponible que para otros ecosistemas como bosques y selvas, esto podría ser porque en general, las áreas con suelo desnudo pueden tener una mayor disponibilidad de agua para la recarga de acuíferos debido a una mayor infiltración y percolación del agua en el suelo, lo que permite una recarga más efectiva del acuífero subyacente.

En áreas con suelo desnudo, la falta de vegetación puede aumentar la velocidad de infiltración del agua en el suelo, ya que no hay raíces u otros obstáculos que dificulten su movimiento hacia el subsuelo. Además, la falta de cobertura vegetal también puede reducir la evaporación del agua superficial, lo que aumenta la cantidad de agua disponible para la recarga.

Sin embargo, si el suelo es muy compacto o impermeable, la infiltración puede ser limitada y la recarga de acuíferos puede ser más difícil. Además, en áreas con suelo desnudo, la erosión del suelo debido a la lluvia o el viento puede reducir la capacidad del suelo para retener agua y aumentar la cantidad de sedimentos que se depositan en el acuífero, lo que puede afectar la calidad del agua.

Por lo que, si bien las áreas con suelo desnudo pueden tener una mayor disponibilidad de agua para la recarga de acuíferos debido a una mayor infiltración y percolación del agua en el suelo, la disponibilidad de agua para la recarga puede depender de varios factores y es necesario considerar las condiciones específicas de cada área para determinar su capacidad de recarga.

### 3.3 Elaboración de guías de estudio

Para producir la información que requiere Modelo InVEST de producción estacional del agua se realizaron o documentaron por parte de los alumnos de este PAP seis guías (anexas) de estudio para los temas de:

- Proceso de clasificación supervisada de imágenes de satélite sentinel 2 con el uso de semi-automatic classification plugin de QGIS para la creación de la capa de cobertura de la cuenca de la laguna de Cajititlán.
- Proceso de obtención del área de interés para la cuenca de la laguna de Cajititlán.
- Proceso de obtención y cálculo de los datos de precipitación, evapotranspiración, temperatura máxima y mínima de las estaciones climatológicas de la cuenca de Cajititlán

- Obtener el Número de la Curva para una Cuenca hidrológica utilizando capas de uso de suelo y edafología.
- Modelo de Precipitación. Kriging para interpolar una superficie de precipitación.
- Guía para la descarga y visualización de datos de climatología de la NASA. (<https://www.climatologylab.org>)

## 4. Conclusiones

Se ha aplicado el Modelo InVEST de producción estacional del agua en la microcuenca de Cajititlán, ubicada en el estado de Jalisco. Para llevar a cabo este proceso, fue necesario realizar un detallado procesamiento de datos sobre la cobertura del suelo utilizando imágenes de satélite Sentinel 2, así como procesar los datos de la red de estaciones climáticas de la CONAGUA.

Con los datos disponibles en la CONAGUA hasta 2019, es posible calcular una línea base para el proyecto Charco Bendito. Sin embargo, para realizar un seguimiento en años posteriores, será necesario esperar la publicación de datos más recientes o buscar otras fuentes de información, ya que se encontró que los datos climatológicos de la NASA (disponibles en <https://www.climatologylab.org>) difieren sustancialmente de los datos obtenidos de las fuentes oficiales en México.

¿Hay alguna alternativa con InVEST para resolver la falta de datos recientes que permitan medir la adicionalidad? Sí es posible ya que el modelo para el rendimiento estacional del agua de InVEST está diseñado también para representar promedios a largo plazo. Por lo tanto, utilizando la información de precipitación y temperatura de la CONAGUA de los últimos 69 años es posible analizar las condiciones de la cuenca al modificarse las coberturas del suelo, dato que puede ser medido con alta precisión con imágenes de satélite Sentinel 2.

La fórmula propuesta es que la variable independiente sean los datos promedio de muchos años de climatología, una vez calculados no varían durante el análisis y la variable dependiente se propone sea los cambios en la vegetación por procesos de restauración como el caso del proyecto Charco Bendito.

Los análisis realizados con el modelo para el rendimiento estacional del agua de InVEST permiten estimar el rendimiento total de agua para una cuenca y contribuyen a la comprensión del efecto de la gestión del paisaje en el flujo estacional, especialmente cuando se producen degradaciones de bosques y selvas debido a cambios en el uso del suelo o incendios forestales que dejan el suelo desnudo y expuesto a la erosión.

A través de la aplicación del modelo, se observa que la contribución de una parcela al flujo de las corrientes depende de diversos factores ambientales, como el clima, el tipo de suelo, la vegetación, la pendiente y la posición a lo largo de la trayectoria del flujo.

Se puede concluir que los bosques de pino y los bosques mixtos de pino-encino generan menor escurrimiento, mientras que los cambios en el uso del suelo hacia la agricultura, la urbanización y los suelos desnudos, debido a incendios agrícolas o forestales, incrementan los volúmenes de escurrimiento.

Es importante destacar que el lago de Cajititlán registra valores altos de escurrimiento, al igual que todos los cauces de ríos y arroyos de la cuenca. Además, los suelos desnudos presentan una mayor disponibilidad de agua para la recarga de acuíferos debido a una mayor infiltración y

percolación del agua en el suelo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la capacidad de recarga de agua en áreas con suelo desnudo puede depender de varios factores y es necesario considerar las condiciones específicas de cada área para determinar su capacidad de recarga.

Respecto a las reflexiones de los estudiantes se puede recuperar que este proyecto les ayudó a desarrollar habilidades técnicas y conocimientos relacionados con la sostenibilidad y la responsabilidad social y ambiental, y a ser más conscientes del impacto del medio ambiente.

Además, los estudiantes destacan que el proyecto no solo implicó trabajo de campo, sino también trabajo de análisis y recolección de datos. Asimismo, señala que el proyecto tiene un gran potencial y que se pueden obtener grandes resultados al incluir diferentes perfiles en el equipo.

Los estudiantes también reflexionan sobre la importancia de la preservación del agua y la restauración de áreas naturales, y señalan que esto debe ser una preocupación compartida por toda la humanidad. Finalmente, destacan que este proyecto fue una experiencia enriquecedora tanto a nivel profesional como social, y que le dejó varias reflexiones sobre cómo podemos contribuir a la preservación del medio ambiente.

En términos de análisis del discurso, los estudiantes utilizan un tono reflexivo y crítico al abordar la temática ambiental, y emplean un lenguaje claro y directo para expresar sus ideas. Además, los estudiantes utilizan frases y palabras relacionadas con la responsabilidad social y ambiental, la sostenibilidad, la preservación del medio ambiente y la conciencia ecológica. Estos términos indican que tienen un conocimiento sólido sobre estos temas y que se preocupan por ellos. En general, los textos de reflexión de los estudiantes muestran una actitud positiva hacia la participación en proyectos ambientales y destaca la importancia de la conciencia ecológica y el compromiso social para preservar el medio ambiente.

## 5. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

### **Christian Eduardo González Reyes**

#### **Aprendizajes Profesionales**

El proyecto Charco Bendito me ha ayudado a poder desarrollar un proyecto para promover la restauración de la microcuenca y poder enfrentar cambios climáticos, he podido utilizar la tecnología de las imágenes de satélite de sentinel-2 de la unión europea, software de uso abierto como QGIS para analizar y calcular la captura de carbono.

#### **Aprendizajes sociales**

El proyecto Charco bendito me ha ayudado a desarrollar la importancia de trabajar en equipo y tener conversaciones con los habitantes de la zona ya que he aprendido sobre sus necesidades y preocupaciones, lo que me ha llevado a tener una perspectiva más amplia sobre las consecuencias del impacto ambiental y social que el proyecto puede tener en la zona.

#### **Aprendizajes éticos**

El proyecto Charco Bendito me ha ayudado sobre la importancia de tomar decisiones éticas en el desarrollo de iniciativas para mejorar un bien social, especialmente cuando este tipo de proyectos se involucran la conservación y la restauración del medio ambiente, las implicaciones éticas me han ayudado a tomar cada decisión y actuar de manera responsable y transparente.

#### **Reflexión**

Este proyecto me ha ayudado a fomentar los valores éticos como la responsabilidad ambiental, social y sostenibilidad ya que me ha ayudado a motivarme y ser más consciente del impacto del

medio ambiente y poder reducir su huella ecológica, el proyecto Charco Bendito es algo extraordinario ya que pude desarrollar habilidades técnicas y conocimientos, así como adquirir valores éticos y sociales para así poder contribuir al bienestar de la comunidad y de la región en general.

### **Emilio Morán Hernández**

#### **Aprendizajes Profesionales**

Este proyecto, aunque no fue enfocado hacia mi área de estudio como son las finanzas, si me ayudo a aprender a utilizar algunas herramientas que en un futuro podría ligar al área financiera, como lo son las imágenes de satélite y cuestiones climatológicas que pudieran tener un impacto ambiental significativo, si necesito desarrollar algún proyecto inmobiliario el conocer con anticipación el terreno y cómo se comporta el clima en esa área durante el año, me podría ayudar a determinar si es viable o no y que costos podría conllevar el desarrollar medidas para contrarrestar posibles afectaciones naturales en esa área.

#### **Aprendizajes Sociales**

Al ser un proyecto relacionado con la captación del agua y el uso que se le da a la misma, aprendí que es posible brindar alternativas y crear proyectos que nos ayuden a nosotros como sociedad a aprovechar de mejor manera los recursos que tenemos disponibles y que todo esto se vuelve más sencillo al trabajar en equipo, unidos como sociedad podremos lograr que estas soluciones sean más eficaces y podamos ponerlas en marcha más rápido.

#### **Aprendizajes Éticos**

Con el paso del tiempo, el agua se vuelve cada vez más escasa y al ser un recurso indispensable para la vida humana, me amplió la perspectiva de que hay muchas cosas que se pueden hacer para aprovechar de mejor manera el recurso y que este pueda llegar a más personas que lo necesiten. Me hizo concientizar más acerca del propio uso que yo le doy y de qué acciones puedo tomar para contribuir.

#### **Reflexión**

Este proyecto me ayudó en gran manera a descubrir que hay un sinfín de trabajo e investigación detrás de un proyecto de este tipo, que aunque pueda parecer un trabajo de campo, hay mucho trabajo de análisis y recolección de datos que se tiene que hacer para poder llegar a tan siquiera poder simular los resultados que esperamos obtener con el trabajo físico que se realizará en el lugar en cuestión. Me agradó el haber trabajado en él ya que contribuí en un proyecto que tiene como finalidad el reducir el impacto ecológico que estamos causando en la naturaleza.

### **Verónica Padilla Silva**

#### **Aprendizajes Profesionales**

Este proyecto me sirvió para conocer nuevas herramientas de análisis de información geográfica, como Google Earth Engine e InVEST. Además, conocer y entender la herramienta InVEST resulta muy útil ya que permite hacer análisis multicriterio de diferentes aspectos ambientales que son de suma importancia y aportan a mi formación como Ingeniera Ambiental. Específicamente, el proyecto de Charco Bendito me permitió entender mejor cómo se realiza un análisis de infiltración para una cuenca y todos los elementos que se ven involucrados, desde tipo de suelo hasta el valor de escorrentía que tiene la cuenca.

#### **Aprendizajes sociales**

Saber manejar estas herramientas permite hacer análisis de zonas que se encuentran en espacios más alejados a las ciudades y que también se ven afectados por las consecuencias del cambio climático, muchas veces a estas zonas no se les presta tanta atención o implica una alta demanda de recursos económicos poder hacer estudios para conocer sus situaciones geológicas, hidrológicas y ambientales. Es por eso que, al realizar estos estudios, es importante considerar las implicaciones, necesidades y beneficios que pueden implicar para este tipo de

comunidades, para que se puedan generar estrategias que ayuden realmente a las condiciones que viven y no alternativas sin fundamentos claros.

### **Aprendizajes éticos**

Este tipo de estudios permiten tener más información y datos específicos para poder influir en decisiones gubernamentales que beneficien a las comunidades, por lo que la ética ante estos trabajos es fundamental para que los resultados que se obtengan sean realmente útiles y tengan un impacto positivo en las comunidades y personas involucradas. En otras palabras, se debe tener ética desde que se están generando los datos, para utilizar información verídica y no inventada, así como ética al momento de la interpretación de los resultados y las decisiones que se toman con la información obtenida.

### **Reflexión**

Para mí, lo aprendido en este PAP es una invitación para conocer y desarrollar más mis habilidades en este tipo de herramientas, y empezar a generar más información clara y bien documentada sobre zonas que se encuentran vulnerables ante los riesgos que conlleva el cambio climático y que requieren de apoyo profesional para conocer mejor la situación en la que se encuentran. Además, saber hacer estos estudios me permitirá considerar más detalles específicos sobre las zonas que trabajé y poder implementar estrategias que apliquen realmente a sus condiciones y les permitan tener mejor aprovechamiento de sus recursos.

## **Efraín Gómez Tapia**

### **Aprendizajes Profesionales**

Este PAP tuvo como temática principal el uso de herramientas de datos geoespaciales en específico para un solo proyecto como lo fue el trabajo que se realizó para Charco Bendito y gracias a ello tuve la oportunidad de conocer con base al proyecto este tipo de tecnologías, herramientas y software que si bien tenía una idea de ello con el PAP pude conocerlos a profundidad y a pesar de no aplicar como tal el campo financiero durante el desarrollo del mismo logre irlo relacionando con el sector financiero fuertemente, desde los puntos en específico por proyecto y sus procesos, los entes o individuos involucrados así como las empresas y cual es el comportamiento o flujo del dinero dentro de este tipo de proyectos hasta la claridad sobre los requerimientos y procesos, para dado el caso, el emprendimiento de algún tipo de negocio relacionado a estas tecnologías que en su mayoría siempre llevan de la mano una aportación benéfica para la sociedad.

### **Aprendizajes sociales**

El proyecto en específico que se atacó, Charco Bendito, me dejó bastantes aprendizajes sociales, desde el conocimiento de este tipo de proyectos que se generan y son apoyados por las empresas y el bien que le hacen en primer plano a las comunidades y entornos cercanos y el en segundo y tercer plano el bien que le hacen a la población y alrededores en general, en términos ambientales. Este tipo de tecnologías pueden ser aplicadas en su mayoría para el beneficio de la población y medio ambiente, de una manera rápida y eficiente.

### **Aprendizajes éticos**

Me quedo mucho con el evento que le tocó vivir al proyecto durante el semestre con la quema de gran parte del trabajo que se había venido desarrollando durante los últimos años y como todo se dañó en un día, las personas involucradas en este proyecto aun así, aún con gente que atacan al proyecto y otro tipo de adversidades a las que se enfrentan aun así siguen viendo por el seguimiento y culminación del proyecto, perseverando. Siempre habrá adversidades en este tipo de proyectos y conflictos de intereses, y en general estos proyectos reflejan esa ética social y ambiental por la que las personas luchan y que deberíamos de tener todos en general.

### **Reflexión**

Me parece que el proyecto tiene bastante potencial y ya se ha avanzado bastante, con la ayuda de la inclusión de distintos perfiles al proyecto se puede enfocar y eficientar para irle dando cada vez más grandes aportaciones y a partir de ello derivarse otros proyectos paralelos que pueden

generar grandes resultados tanto para los proyectos como para los alumnos, se le puede sacar un excelente provecho a las habilidades de cada perfil y potenciarlas.

### **Blas César Sanchez Barba**

#### **Aprendizajes Profesionales**

A través de este Proyecto de Aplicación Profesional me he dado cuenta de que los aprendizajes pueden ser más que enriquecedores aun si el tema principal no es el de mi carrera (Ing. Financiera), fue importante conocer distintos campos profesionales que se pueden explorar y a la vez aportar conocimientos propios. A pesar de que el PAP es más bien relacionado con el medio ambiente, me sorprendió mucho todo lo que puedo aportar con lo que ya aprendí en la carrera, por ejemplo que puedo realizar valuaciones financieras para obtener cual es la ganancia económica al mantener una zona natural protegida, obtener un precio justo de recursos naturales como el agua o de emisiones de carbono de las empresas, ser capaz de valorar si un proyecto ambiental es rentable o no e indagar las diferentes posibilidades para llevar a cabo dicho proyecto de una manera económicamente sustentable

#### **Aprendizajes sociales**

El mundo no es solamente ganancia económica y ya está, los resultados no deberían medirse solamente en base a lo cuánto dinero puedo lograr hacer de un proyectos, sino que deben de tomarse en cuenta las variables ambientales, las cuales llevan consigo forzosamente una implicación social. Tenemos la oportunidad de tomar decisiones basándonos en los diferentes escenarios, tratando de ver la mayor parte de las posibles consecuencias, ya sean negativas o positivas, que una decisión implica. Para ello, es importante que esto se vea desde un punto de vista interdisciplinario, porque si bien es cierto que hay proyectos que son sumamente negativos para el medio ambiente, también es cierto que hay proyectos que se tienen que hacer para mantener la estabilidad del ser humano, ya sea económica o socialmente proyectos como la obtención de agua potable por ejemplo. Por lo tanto, para que el futuro nos pertenezca a todos, hay que tomar en cuenta las opiniones de todos, y así lograr el bien común.

#### **Aprendizajes éticos**

¿Hasta qué punto debemos llegar para obtener lo que queremos? ¿Hasta qué punto hay que aprovechar las situaciones que el mundo nos da? ¿Vale la pena que muchos pierdan para que unos pocos obtengan un beneficio increíble?

Vale la pena hacernos estas preguntas en todo momento de nuestras vidas y más aún en los momentos en los que hay que tomar acción para lograr algo para la comunidad, es decir, sabemos que existe la posibilidad de hacer las cosas de una manera más sencilla y así ahorrar tiempo y dinero, aunque esto en ocasiones signifique no ser tan éticos, pero si queremos lograr el bien común, tenemos que preocuparnos no solo de obtener una ganancia para uno mismo, sino pensar en los demás, preocuparse por la estabilidad de aquellos que no entran en la aplicación de una decisión pero si se ven afectados por esta decisión.

#### **Reflexión**

Como estudiantes tenemos la posibilidad de informarnos de lo que está pasando en el mundo, tenemos la información a nuestra disposición, podemos levantar la mano y opinar sobre los distintos temas que están afectando a nuestra vida. Este PAP ha logrado ayudarme a tener una visión mucho más clara de mi entorno, y a concientizar en muchos sentidos las situaciones que vivo y que estaba pasando por algo anteriormente. Me ha ayudado a reconocer los campos en los que puedo ayudar y como lo puedo hacer.

### **Galilea De La Torre Rojas**

#### **Aprendizajes Profesionales y Sociales**

Ha sido enriquecedor adentrarme en diversos campos profesionales y aportar mis conocimientos propios. Aunque el enfoque principal del proyecto se centra en el medio ambiente, me ha



sorprendido gratamente descubrir cómo puedo aplicar mis conocimientos financieros en diferentes aspectos.

Dentro de este contexto, he aprendido a realizar evaluaciones financieras para determinar la rentabilidad económica de mantener áreas naturales protegidas, así como establecer precios justos para recursos naturales, como el agua, o para las emisiones de carbono generadas por las empresas. Asimismo, he adquirido la capacidad de evaluar la viabilidad económica de proyectos ambientales y explorar diferentes posibilidades para llevarlos a cabo de manera sostenible desde una perspectiva económica.

Estos descubrimientos han ampliado mi visión y me han permitido apreciar cómo los conocimientos adquiridos en mi carrera pueden tener un impacto positivo en el ámbito ambiental. Me he dado cuenta de que puede desempeñar un papel relevante en la valoración de proyectos ambientales y en la búsqueda de soluciones económicamente sustentables. Este proyecto ha abierto nuevas puertas y ha demostrado la importancia de explorar diversas áreas profesionales para contribuir de manera significativa, incluso cuando no están directamente relacionadas con mi campo de especialización.

### **Aprendizajes Sociales**

Durante mi participación en este Proyecto de Aplicación Profesional, he adquirido una valiosa comprensión de que el mundo no se centra únicamente en la búsqueda de ganancias económicas. He aprendido que medir los resultados exclusivamente en términos monetarios es insuficiente y que es fundamental considerar las variables ambientales y sociales que están intrínsecamente relacionadas.

Este proceso de aprendizaje me ha llevado a tomar decisiones basadas en escenarios diversos, donde visualizó las posibles consecuencias, tanto negativas como positivas, que cada opción puede acarrear. Para lograr esto, he adoptado un enfoque interdisciplinario que me permite analizar la interrelación entre el medio ambiente, la economía y el bienestar social. He comprendido que algunos proyectos pueden tener impactos negativos en el medio ambiente, pero al mismo tiempo existen iniciativas esenciales para garantizar la estabilidad humana, ya sea desde un punto de vista económico o social, como el acceso al agua potable.

En este sentido, reconozco la importancia de considerar las opiniones y perspectivas de todas las partes involucradas en la toma de decisiones. Buscar el bien común requiere un enfoque inclusivo, donde se valore la participación de todos los actores relevantes. Solo a través de este enfoque colaborativo podremos construir un futuro sostenible y equitativo para todos.

### **Aprendizajes Éticos**

Es comprensible que nos sintamos tentados a buscar la forma más fácil y rápida de lograr nuestros objetivos, incluso si eso significa actuar de manera poco ética. Sin embargo, si verdaderamente deseamos el bien común, debemos preocuparnos no solo por nuestros propios intereses, sino también por el bienestar de los demás y por la estabilidad de aquellos que se ven afectados por nuestras acciones, incluso si no están directamente involucrados.

Es importante recordar que nuestras decisiones y acciones tienen un impacto más allá de nuestro propio beneficio personal. Debemos considerar las consecuencias que nuestras elecciones pueden tener en la sociedad y en el entorno que nos rodea. Buscar el bien común implica tomar decisiones éticas, basadas en el respeto, la equidad y la responsabilidad hacia los demás.

Al reflexionar sobre estas cuestiones éticas, podemos cultivar una mayor conciencia de nuestras acciones y de cómo pueden influir en el mundo que compartimos. La búsqueda del bien común requiere un compromiso constante con la ética y una disposición a considerar los impactos sociales y ambientales de nuestras decisiones. Al hacerlo, contribuimos a la construcción de una sociedad más justa y sostenible, donde el beneficio individual se equilibra con el bienestar colectivo.

### **Reflexión**

Como estudiantes, tenemos la oportunidad de informarnos sobre lo que sucede en el mundo y de levantar la mano para opinar sobre los diversos temas que afectan nuestras vidas. Este PAP me ha brindado una visión más clara de mi entorno y me ha concientizado en muchos sentidos sobre las situaciones que vivo y que antes pasaban desapercibidas. También me ha ayudado a identificar los campos en los que puedo contribuir y cómo hacerlo.

En resumen, este PAP ha sido una experiencia enriquecedora tanto a nivel profesional como social.

## **Guillermo González Gutiérrez**

### **Aprendizajes Profesionales**

Este PAP se centró en el uso de herramientas de datos geoespaciales para un proyecto específico, en este caso, el trabajo realizado para Charco Bendito. Gracias a esta experiencia, tuve la oportunidad de conocer en profundidad las tecnologías, herramientas y software relacionados con este campo, y aunque no se aplicó directamente al sector financiero durante su desarrollo, puede establecer fuertes conexiones entre ambos ámbitos. Durante el proyecto, pude identificar los procesos específicos, entidades e individuos involucrados y las empresas implicadas, así como comprender el flujo de dinero dentro de este tipo de proyectos. Además, adquirí una mayor claridad en cuanto a los requerimientos y procesos necesarios para emprender un negocio relacionado con estas tecnologías, que generalmente tienen un impacto beneficioso para la sociedad.

### **Aprendizajes sociales**

Durante este proyecto pude reflexionar acerca de la importancia y relevancia que están tomando los temas ambientales, debido a que gran parte de la población aún no hace conciencia ni se concientiza realmente de la importancia de trabajar desde este momento para asegurarnos un futuro en mejores condiciones.

### **Aprendizajes éticos**

Quiero destacar el hecho que en el tiempo que se desarrolló el proyecto, éste se vio afectado por un incendio, lo cual nos hace reflexionar acerca de la poca conciencia y la falta de ética de gran parte de la sociedad al no valorar un área natural protegida. Por su contraparte, podemos ver cómo hay quienes dedican tiempo significativo de su día a día para trabajar en proyectos como el de Charco Bendito.

### **Reflexión**

En mi opinión, el proyecto tiene un gran potencial y ya ha avanzado significativamente. Si incluimos perfiles diversos en el equipo de trabajo, podemos enfocarnos y mejorar su eficiencia, lo que nos permitirá realizar contribuciones aún mayores. A partir de esto, podemos derivar otros proyectos paralelos que generarán excelentes resultados tanto para los proyectos como para los alumnos involucrados. Además, aprovechar las habilidades de cada perfil y potenciarlas nos permitirá obtener un gran beneficio en términos de resultados.

## **Fernando Dario Cordova Berrelleza**

### **Aprendizajes Profesionales**

En este proyecto de aplicación profesional pude aprender a utilizar varios programas los cuales son QGIS, Google Earth Engine e Invest y aunque no fue un proyecto directamente relacionado a mi carrera pude encontrar un poco de relación ya que tuvimos que descargar algunas imágenes satelitales de internet y luego poder modificarlas y entrenarlas con el programa de QGIS y que el mismo programa pudiera identificar cuáles son los diferentes biomas que se están encontrando dentro de la imagen como también utilizar diferentes herramientas que vienen integradas en el programa y así poderle sacar el mejor provecho a este programa dependiendo de los datos que quisieras sacar ya sea desde un simple recorte hasta poder entrenarla con un algoritmos de detección de biomas, lluvias, incendios, etc.

### **Aprendizajes Sociales**

Al realizar este proyecto me di cuenta que no solo es el análisis de datos y ver como poder reflejarlos y manejarlos sino que hay un propósito social detrás que al tratarse de el agua que es uno de los principales recursos naturales esenciales para cualquier ser vivo creo que debemos de tomar consciencia de este recurso que es de vital importancia y que este proyecto me ha enseñado a poder ver esta problemática desde otro punto de vista y ver que no solo estamos afectando a un sector de la población sino que nos está afectando a todos.

### **Aprendizajes Éticos**

Durante el trayecto de este proyecto yo no estaba consciente de todo lo que conllevaba y cuál era el área en donde íbamos a investigar, hasta que un día el profesor nos llevó al lugar que es justamente la laguna de Cajititlán no me lo imaginaba de esa manera hasta que lo ves con tus propios ojos pero es impactante todo lo que se había quemado y todas las afectación que puede tener que yo o como cualquier persona no logra ver pero personas que se dedican a eso saben que fue un desastres cuando se quemó esa parte de la laguna y saber que eso que se quemó se tardará en reconstruir unos 10 o 20 años es impactante ya que tu desde la casa no dimensionar todo lo que se puede ver afectado.

### **Reflexión**

Este PAP me deja bastantes reflexiones ya sea desde el ámbito profesional como el ámbito humano, ético y me deja más reflexionando esa parte de cómo vemos las noticias y decimos otro incendio o no hay agua en este lugar y no dimensionamos las consecuencias que puede tener esto pero hay gente que se dedica a este ámbito y entiende todo esto y trata de ayudar con su granito de arenas para que todo el estado esté en sus mejores condiciones y a hacer investigaciones para ayudar no solo a él sino que ayudarnos a todos y creo que vivir esto en carne propio me dejó bastante aprendizajes.

## **Rodolfo de Jesús López Álvarez**

### **Aprendizajes Profesionales**

Ya que mi carrera es ingeniería en sistemas computacionales, los aprendizajes profesionales con los que me quedo son más orientados a programas específicos que se utilizaron en el transcurso de este Proyecto de Aplicación Profesional, el aprender a utilizar QGIS fue algo nuevo e interesante sin duda, ya que nunca antes había tenido un acercamiento al procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Considero que el tener conocimiento sobre este ámbito y este tipo de herramientas brindan un enriquecimiento general y podrían ser de gran ventaja en un futuro en relación con la ingeniería en sistemas.

### **Aprendizajes Sociales**

Este proyecto como tal va dirigido hacia un bien común y una ganancia general ya que la preservación del agua y la restauración de zonas naturales es vital hoy en día y en un futuro. Al estar involucrado en este proyecto aprendí más sobre el entorno en el que estamos y el trasfondo que hay en cuanto a problemas y abusos que han existido gracias a distintas instituciones y distintas situaciones. El profundizar sobre la preservación de la laguna de Cajititlán dentro del proyecto Charco Bendito me ayudó a conocer más sobre el impacto en distintos sectores que esta laguna tiene en cuanto a sus alrededores.

### **Aprendizajes Éticos**

Considero que la postura ética de los integrantes del proyecto tiene una gran importancia ya que es necesario empatizar con el proyecto y con la situación que se nos muestra, todos los cambios por los que ha pasado la cuenca y la pérdida de agua, flora y fauna a través del tiempo. El profundizar en todo lo mencionado y el poder observar el área afectada en persona deja sin duda mucho que pensar y mucho a que aspirar en cuanto a la aportación que brindamos día con día hacia nuestro ecosistema.

### **Reflexión**

Toda la humanidad estamos en un punto en el que de verdad se debe de tomar muy en serio la preservación del agua y la restauración de múltiples áreas naturales se puede observar que en general el ser humano se centra en solo procesar, producir y acumular, muy pocas veces se centra en dar a cambio y en hacer que las verdaderas riquezas de este mundo puedan prevalecer. Podemos observar también los problemas que esto ha ido ocasionando día con día y hay múltiples predicciones a futuro sobre cómo este tipo de escasez y este tipo de problemas van a ir aumentando y aumentando. Es cierto que cada uno debemos de poner nuestro granito de arena, pero también es cierto que las grandes empresas e instituciones deben de poner el suyo, proyectos dedicados a la preservación del agua y la restauración de múltiples áreas naturales cada vez deben de ser más apoyados para que con el tiempo, se pueda lograr un mejor impacto.

### **Rosa María Almaraz Reynoso**

#### **Aprendizajes Profesionales**

El uso de herramientas como Google Earth Engine, QGIS e InVEST es algo que aprendí al cursar este PAP. A pesar de que ya tenía conocimiento previo sobre la teoría del funcionamiento de los SIG, hay varios conceptos que volví a descubrir y entendí de una manera más completa; como el uso de un juego de bandas infrarrojo para poder clasificar la vegetación. Utilizar softwares de licencia gratuita me permitió conocer nuevas funciones y aplicaciones que se le puede dar a cada uno de ellos; por ejemplo: usar las ventanas comparativas en Google Earth Engine para visualizar cómo la concentración de partículas en el aire cambia por periodos. A pesar de que este proyecto estuvo enfocado al uso de SIG en la gestión del agua, existen varias aplicaciones que se les puede dar a los instrumentos usados y que son fundamentales que yo reconozca como futura Ingeniera Ambiental.

#### **Aprendizajes Sociales**

El agua es un recurso social, así como lo son las 125 hectáreas que busca proteger y revitalizar el proyecto de “Charco Bendito”. Entendí la importancia que tienen los cálculos que estamos haciendo al visitar la zona del proyecto, al entender que es el trabajo diario de varias personas, y que se buscan objetivos de mejorar el lugar para el medio ambiente y para la recreación de los visitantes del Charco Bendito.

Dentro del PAP conviví con compañeros maravillosos de distintas carreras. Cada uno me ayudó a comprender cómo se ven los temas ambientales desde enfoques profesionales diferentes; y, la manera en la que los saberes de las distintas carreras se juntan para llegar a un objetivo general. Aprendí sobre distintos temas: el mercado de los bonos de carbono (y el posible mercado de los bonos de agua que se proyecta en un futuro) y la aplicación de los cambios de moneda, usar la programación para generar códigos que faciliten el procesamiento de datos, y de compañeros ambientales, la importancia de gestionar la información de la cuenca como un conjunto de diversos factores.

#### **Aprendizajes Éticos**

Hay una rama que relaciona la ética con lo profesional. Habla sobre la importancia de ser profesionistas excelentes, es decir, virtuosos. En el PAP hicimos las cosas bien, trabajando con datos de fuentes confiables, procesados y estandarizados por el equipo para ser analizados en un rango de tiempo congruente, las capas se crearon con base en éstos por miembros distintos,

y al final, se pudo obtener un modelo en InVEST. Lo que me llevo es la honestidad y el esfuerzo de hacer las cosas bien.

### **Reflexión**

El tema que abordamos en el proyecto es uno que suele dejar un futuro tenso... pues no se sabe que va a pasar con el agua. Es un recurso que sí está sobreexplotado y se tienen que llevar a cabo diversos programas para garantizar que ésta continúe como un derecho gratuito. A pesar de esto, el trabajo del PAP me deja tranquila, pues he visto que nos volvemos más conscientes del tema y cómo se aplica el conocimiento de cada quien para lograr una proyección de modelos. Y estos modelos permiten que los administradores de “Charco Bendito” tomen decisiones sobre la gestión del territorio. Confío en que mis compañeros se convertirán en excelentes profesionistas, pues he trabajado con ellos. Quizá en un futuro estemos uniendo conocimiento para que el modelo se vuelva una realidad. El esfuerzo que damos hoy, es el que podemos dar día a día para garantizar un mejor mañana.

## **Ricardo Cuevas Rosas**

### **Aprendizajes Profesionales**

A pesar de que los aprendizajes profesionales que obtuve a lo largo del proyecto no son los que esperaba, me parece que estos han contribuido de manera significativa a expandir mis posibles opciones profesionales una vez que completé mi carrera. Me parece que los ingenieros en sistemas podemos contribuir significativamente a proyectos de conservación e investigación ambiental como este, algo que no había considerado como una opción laboral antes de participar en el proyecto. Haciendo uso de disciplinas como aprendizaje máquina en conjunto con software como InVEST y QGIS pueden beneficiar el monitoreo de zonas afectadas o en necesidad de apoyo de proyectos colaborativos como este PAP.

### **Aprendizajes Sociales**

Cuando decidí participar en este Proyecto de Aplicación Profesional sabía que iba a colaborar con compañeros de otras carreras y eso fue algo que ayudó a consolidar mi decisión. Para los alumnos del Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática es poco común trabajar con ingenieros de otros departamentos, pero creo que a pesar de esto no hubo dificultades para realizar las tareas del proyecto. También pienso que es importante dar una mención especial a nuestros compañeros de ingeniería ambiental, ellos eran los que estaban mejor familiarizados con las herramientas que utilizamos y nos apoyaron cuando teníamos dificultades con ellas. El impacto social del proyecto va de la mano con el impacto ambiental, lo que me lleva a mis siguientes aprendizajes.

### **Aprendizajes Éticos**

El impacto ético de este proyecto es muy importante, el objetivo de preservar la cuenca solo beneficia al medio ambiente y a la comunidad que se encuentra en Cajititlán. La salida de campo a la cuenca nos ayudó a entender mejor la importancia de preservar nuestras áreas naturales y a apreciar mejor el trabajo que realizan los miembros de Charco Bendito. Participar en el proyecto definitivamente me hizo más consciente de cómo mis acciones pueden afectar al medio ambiente y generó el deseo de apoyar directamente proyectos de preservación y/o restauración como este.

### **Reflexión**

Para concluir, me gustaría expresar que me quedo satisfecho con mi experiencia en el PAP, creo que es importante que el ITESO siga apoyando este tipo de proyectos, especialmente los que permiten alumnos de diversas áreas ya que permiten que se generen diferentes perspectivas y acercamientos para resolver situación que las requieren. Definitivamente me abrió los ojos a un campo laboral que no conocía y me dio las bases para crecer en esa área si así lo deseo.

Creo que se podría mejorar el PAP si se determinara un meta final en las primeras fases del curso, pero de todas maneras creo que hicimos un buen trabajo como equipo. La conservación de áreas naturales y el medio ambiente es algo que me parece de gran importancia,

especialmente después de presenciar en nuestra salida de campo como son afectadas estas zonas en tiempos de desastres naturales.

### **Narda Estefania Ibarra Delgado**

#### **Aprendizajes Profesionales:**

Durante este proyecto, pude interactuar con plugins y herramientas que utilizan aprendizaje máquina y descarga de imágenes desde una API, lo cual me permitió conocer herramientas que pueden ser útiles en el desarrollo de futuros proyectos relacionados a sistemas de información geográfica. Aunque no tuve suficientes aprendizajes en desarrollo y programación, pude aprender de manera autodidacta a utilizar el modelo InVEST para la evaluación estacional del agua en la cuenca de la laguna de Cajititlán, lo cual me permitió adquirir conocimientos sobre el uso de herramientas para la gestión ambiental.

#### **Aprendizajes Sociales:**

Este proyecto me permitió aprender sobre la importancia de involucrar a las comunidades locales en los proyectos ambientales, ya que son ellos quienes viven directamente en la zona y se ven afectados por las decisiones y acciones que se toman en el lugar. Además, aprendí sobre la importancia del trabajo en equipo y la colaboración con otras personas y organizaciones para alcanzar un objetivo en común. También aprendí sobre los recursos de datos abiertos que brinda mi país, aunque descubrí que hay irregularidades y limitaciones en los datos disponibles.

#### **Aprendizajes Éticos:**

Reflexioné sobre el impacto que tienen nuestras acciones en el medio ambiente, lo cual me llevó a cuestionarme cómo puedo contribuir a minimizar mi huella ecológica. Consideré la importancia de tomar en cuenta a la sociedad, los agricultores y los trabajadores que explotan la zona en la que se encuentra la laguna de Cajititlán, lo cual me llevó a pensar en la necesidad de trabajar en proyectos que busquen un beneficio mutuo y justo para todas las partes involucradas.

#### **Reflexión:**

Este proyecto me permitió tener un acercamiento a temas ambientales y conocer la importancia de la infiltración de agua y la reforestación. Sin embargo, descubrir que el área que estábamos estudiando fue quemada a propósito me hizo reflexionar sobre cómo estas acciones afectan el esfuerzo de años de muchas personas. También me di cuenta de que hay empresas interesadas en invertir en este tipo de proyectos y debemos seguir fomentando esto por el bien de todos. Por último, aprendí que a veces los aspectos culturales y económicos de las sociedades pueden perjudicar los esfuerzos ecológicos o la zona, como en este proyecto fue la recolección de piedras o de camote de cerro. En resumen, aunque fueron pequeñas acciones las que realizamos, estoy segura de que cualquier esfuerzo, aunque sea solo de estudio, puede servir para fomentar un cambio positivo en nuestro entorno.

## **6. Bibliografía**

- Natural Capital Project. (N/A). Carbon. Recuperado el 10 de Noviembre de 2022, del sitio: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest-models/carbon>

- Stanford University. (N/A). InVEST | Natural Capital Project. Recuperado el 10 de noviembre del 2022, del sitio:  
<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- INEGI. (2018). Modelos Digitales de Elevación (MDE) - Descripción. Obtenido de INEGI:  
<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- InVEST. (2021). Seasonal Water Yield. Obtenido de InVEST:  
[https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/seasonal\\_water\\_yield.html](https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/seasonal_water_yield.html)
- NRCS. (2004). Chapter 9. Hydrologic Soil-Cover Complexes. United States Department of Agriculture. Obtenido de  
<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba>
- Suárez Pérez, S. (04 de agosto de 2004). RESOLUCION 865 DE 2004. Diario Oficial. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de  
[https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865\\_20040722.html](https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.html)
- Chávez, V. (28 de marzo de 2021). Agua subterránea de la Zona Metropolitana de Guadalajara, escasa y altamente contaminada. Obtenido de El Occidental:  
<https://www.eloccidental.com.mx/local/agua-subterranea-de-la-zona-metropolitana-de-guadalajara-escasa-y-altamente-contaminada-6533240.html>
- IIEG. (21 de marzo de 2018). STRATEGOS. Obtenido de  
<https://iieg.gob.mx/strategos/uso-y-aprovechamiento-del-agua-en-jalisco/#:~:text=El%20agua%20es%20empleada%20de,de%20cada%20una%20de%20ellas>
- Prensa el Mar. (4 de abril de 2013). Situación de la Laguna de Cajititlán. Obtenido de Gobierno de Jalisco:  
<https://www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/3678>
- Rivera, A. (27 de septiembre de 2022). ESTE PAIS. Obtenido de  
<https://estepais.com/ambiente/crisis-agua-mexico/>
- Robledo, R. (10 de marzo de 2023). La Jornada. Obtenido de  
<https://www.jornada.com.mx/notas/2023/03/10/estados/todo-nuevo-leon-padece-sequia-alerta-la-conagua/>
- SIAPA. (2013). SIAPA, PLAN ESTATAL DE DESARROLLO JALISCO 2013-2033. Obtenido de  
[https://siapa.gob.mx/sites/default/files/entorno\\_y\\_vida\\_sustentable.pdf](https://siapa.gob.mx/sites/default/files/entorno_y_vida_sustentable.pdf)

- Strong, C., & Kuzma, S. (22 de abril de 2022). WRI México. Obtenido de WRI México: <https://wrimexico.org/bloga/resolver-la-crisis-del-agua-podr%C3%ADa-costar-s%C3%B3lo-el-1-del-pib-anual-para-ciertos-pa%C3%ADses>
- Zerega, G. (24 de marzo de 2023). EL PAÍS. Obtenido de <https://elpais.com/mexico/2023-03-25/la-falta-de-agua-castiga-a-mexico.html>

## 7. Acrónimos

PAP: Proyecto de Aplicación Profesional.