



## GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS:

Guía práctica para la elaboración de proyectos con enfoque de Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas

### Módulo 3:

Uso de la tecnología para la Gestión Sostenible de Cuencas Hidrográficas





# GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS:

Guía práctica para la elaboración de proyectos con enfoque de Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas

## Módulo 3:

Uso de la tecnología para la Gestión Sostenible de Cuencas Hidrográficas

# CRÉDITOS

## Financiado por:

El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (BMUV) de la República Federal de Alemania como parte de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI), en el marco del Programa Regional Escalando medidas de adaptación basadas en ecosistemas en América Latina rural (EbA LAC).

Banco de Desarrollo del Ecuador B.P., institución financiera de la Banca Pública de Desarrollo en el marco de fortalecimiento de seguridad hídrica en el país.

## Publicado por:

**Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit  
(GIZ) GmbH**

Av. Amazonas y Eloy Alfaro, Edif. MAG,  
piso 2  
Quito - Ecuador  
giz-ecuador@giz.de  
www.giz.de

**Banco de Desarrollo  
del Ecuador B.P.**

Av. Amazonas y Unión Nacional de  
Periodistas, Plataforma Gubernamental  
de Gestión Financiera  
Quito – Ecuador  
<https://bde.fin.ec/>

**Programa regional Escalando medidas  
de adaptación basadas en ecosistemas  
en América Latina rural (EbA LAC)**

<https://ebalac.com/es/>

## GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: GUÍA PRÁCTICA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS CON ENFOQUE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO BASADA EN ECOSISTEMAS

### Directora del Programa EbA LAC:

Dra. Astrid Michels

### Autores:

#### Equipo EbA LAC (Cooperación Alemana para el Desarrollo GIZ)

Paola Valenzuela Cárdenas (Consultora)  
Carla Gavilanes Garzón  
Erik Camelos Larrea  
Sheyla Cahueñas Iguago (Consultora)  
Alexandra Vásquez Farez (Consultora)

#### Equipo BDE

Alejandra Valdivieso Camacho  
Omar Ramírez Parra  
Marco De La Torre Bravo

ISBN: 9789942647047

Diseño e impresión: AQUATTRO

Mapas: Paola Valenzuela (Consultora)

En colaboración con: Diana Ramírez Chaves, Ileana Ávalos, Sebastián De La Cruz

**Cómo citar:** Valenzuela Cárdenas, P., Gavilanes Garzón, C., Camelos Larrea, E., Cahueñas Iguago, S., Vásquez Farez, A., Valdivieso Camacho, A., Ramírez Parra, O., De La Torre Bravo, M. (2025). GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: GUÍA PRÁCTICA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS CON ENFOQUE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO BASADA EN ECOSISTEMAS. Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), Banco de Desarrollo del Ecuador B.P.

Nº total de ejemplares físicos: 250

Versión electrónica en Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA):

Quito, Ecuador, junio 2025



Gestión sostenible de cuencas hidrográficas © 2025 by Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) y Banco de Desarrollo del Ecuador B.D.E. is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



# CONTENIDO

---

<b>SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO VI. HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS</b>	<b>9</b>
Herramientas para captura de datos para el manejo de cuencas hidrográficas	10
Sistemas de información geográfica para el manejo de cuencas	16
Caracterización del caudal ecológico	24
Estimación/evaluación de la pérdida de suelo mediante la aplicación de modelos de erosión	27
Análisis de cambio de uso de suelo en la cuenca hidrográfica	29
Áreas de conflictos de uso del suelo	31
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>32</b>

# SIGLAS Y ACRÓNIMOS

---

<b>AbE</b>	Adaptación basada en Ecosistemas
<b>ACUS</b>	Áreas de Conservación y Uso Sostenible
<b>APH</b>	Áreas de Protección Hídrica
<b>BDE B.P.</b>	Banco de Desarrollo del Ecuador B.P.
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>BM</b>	Banco Mundial
<b>CATIE</b>	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
<b>CDB</b>	Convenio sobre la Diversidad Biológica
<b>COA</b>	Código Orgánico del Ambiente
<b>COIP</b>	Código Orgánico Integral Penal
<b>CONALI</b>	Comité Nacional de Límites Internos
<b>COOTAD</b>	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización
<b>CRE</b>	Constitución de la República del Ecuador
<b>DEM</b>	Modelo Digital de Elevaciones (por sus siglas en inglés)
<b>DH</b>	Demarcación Hidrográfica
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (por sus siglas en inglés)
<b>FEBA</b>	Amigos de la Adaptación basada en Ecosistemas (por sus siglas en inglés)
<b>GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>GIRH</b>	Gestión Integral de los Recursos Hídricos
<b>GIZ</b>	Cooperación Alemana para el Desarrollo (por sus siglas en alemán)
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global (por sus siglas en inglés)
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
<b>KFW</b>	Banco de Desarrollo de Alemania

<b>LOOTUGS</b>	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo
<b>LORHUyA</b>	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua
<b>MAATE</b>	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
<b>MbE</b>	Mitigación basada en Ecosistemas
<b>MAE</b>	Ministerio del Ambiente (Autoridad Ambiental de Ecuador hasta el 2020)
<b>MAG</b>	Ministerio de Agricultura y Ganadería
<b>MNUCC</b>	Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>ODS</b>	Objetivo de Desarrollo Sostenible
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>PDOT</b>	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
<b>PND</b>	Plan Nacional de Desarrollo
<b>SbN</b>	Soluciones basadas en la Naturaleza
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>SINAT</b>	Sistema Nacional para la Administración de Tierras
<b>TdC</b>	Teoría del Cambio
<b>TPRH</b>	Tarifas de Protección al Recurso Hídrico
<b>UAV</b>	Vehículos aéreos no tripulados (por sus siglas en inglés)
<b>UICN</b>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>UNDP</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (por sus siglas en inglés)
<b>UNEP</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (por sus siglas en inglés)
<b>UPHL</b>	Unidad de Planificación Hidrológica Local







## CAPÍTULO VI

# Herramientas tecnológicas para la Gestión Sostenible de Cuencas Hidrográficas

Como ya se mencionó a lo largo de esta guía, la gestión integrada de los recursos hídricos es un conjunto de estrategias, decisiones y acciones encaminadas al manejo coordinado de los recursos naturales, para asegurar el uso sostenible y equitativo del agua, tanto en su disponibilidad como en calidad. Esta gestión se torna imprescindible considerando la problemática actual de los recursos hídricos que se manifiesta en la creciente escasez de agua, impulsada por el aumento de la demanda debido al crecimiento poblacional y la expansión agrícola, junto con el impacto del cambio climático que

provoca periodos de sequía más extensos y lluvias más intensas. Enfrentar esta problemática puede implicar hoy en día, ir más allá de las soluciones tradicionales para echar mano de la nueva era de las tecnologías como la Geoinformática, Big Data, Machine Learning e Inteligencia Artificial, aunque estos enfoques también demandan de un esfuerzo significativo para recopilar y disponer de datos de calidad y válidos.

La geoinformática está relacionada con tres herramientas de extensa aplicación: los sistemas de posicionamiento global (GPS), la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG).

## HERRAMIENTAS PARA CAPTURA DE DATOS PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

### Sistemas de Posicionamiento Global

El sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés) es un sistema de navegación y localización conformado por un conjunto de satélites de propiedad del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo. Cada satélite transmite una señal única que son captadas por equipos receptores (conocidos también como GPS) los cuales decodifican la información y calculan la ubicación del usuario.

Si bien hoy en día esta tecnología está incorporada en todo tipo de dispositivos y su uso primordial es en el cálculo de rutas, distancias y tiempos de viaje, su capacidad para proporcionar datos de ubicación en tiempo real con una precisión que puede llegar a los centímetros (si se utiliza GPS diferencial), o de unos pocos metros con el uso de GPS navegador, los convierte en herramientas versátiles con aplicaciones en múltiples áreas. Por ejemplo, dentro del manejo de cuencas hidrográficas, los receptores GPS pueden ser utilizados con los siguientes fines:

- Permiten generar mapas de la cuenca, sobre todo si no se cuenta con cartografía. Esto incluye límites, caminos de acceso y características topográficas, facilitando la planificación y el análisis espacial.
- Se pueden utilizar para la localización y posterior monitoreo de cuerpos de agua, fuentes de agua, pozos u otros puntos de interés, como infraestructuras hídricas (canales, presas, sistemas de riego, etc.).
- Pueden ser requeridos para la identificación y mapeo de fuentes de contaminación, contribuyendo a la gestión de la calidad del agua.
- Pueden ser de utilidad al momento de identificar áreas críticas para la conservación y la restauración de ecosistemas, áreas con cambios de uso del suelo, así como zonas vulnerables a la erosión o a la pérdida de hábitats.

Es recomendable considerar que la toma de puntos mediante un sistema receptor GPS se realice en el mismo sistema de coordenadas para garantizar la consistencia en los datos, de tal forma que estos sean comparables y compatibles, evitando confusiones y errores en la interpretación.

## Tipos de coordenadas

### Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas son un sistema que se utiliza para ubicar un punto específico en la superficie terrestre. Para ello, estas coordenadas se expresan mediante dos valores numéricos: la latitud y la longitud. Por un lado, la latitud indica la posición de un punto en la superficie de la Tierra en relación a las líneas horizontales llamadas paralelos que van de este a oeste y se mide en grados, minutos y segundos. Por otro lado, está la longitud, que indica la posición de un punto en la superficie de la Tierra en relación a las líneas verticales llamadas meridianos que van de norte a sur y también se expresa en grados, minutos y segundos.

Además del formato tradicional en grados, minutos y segundos, las coordenadas geográficas pueden expresarse en formato decimal. La diferencia es que en el formato tradicional, cada grado tiene minutos y segundos, mientras que en el formato decimal se representa la latitud y la longitud como números decimales únicos.

Ejemplo:

*Punto en la presa Poza Honda; cuenca del río Portoviejo:*

Latitud: 1°06'46,96" ® 1°06,7826' ® 1,11304°

Longitud: 80°12'08,26" ® 80°12,1376' ® 80,20229°



## Coordenadas Proyectadas

Las coordenadas proyectadas son un sistema de referencia que permite representar puntos de la superficie terrestre en un plano bidimensional. A diferencia de las coordenadas geográficas, que utilizan latitud y longitud, las coordenadas proyectadas convierten la curvatura de la Tierra en una representación plana. En lugar de usar grados (como en latitud y longitud), las coordenadas proyectadas se expresan en metros.

**Sistema de Proyección:** Se utilizan diferentes tipos de proyecciones (como la proyección de Mercator o UTM) para transformar las coordenadas geográficas. Cada proyección tiene sus propias características y distorsiones.

**Referencias Locales:** Las coordenadas proyectadas están basadas en un datum específico (un modelo matemático de la Tierra), lo que ayuda a garantizar la precisión en una región determinada.

Ejemplo:

*Punto en la presa Poza Honda; cuenca del río Portoviejo. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 1984 – Zona 17 Sur.*

Este: 588.751,18 metros

Norte: 9.876.963,52 metros



## Teledetección

En muchos países, incluyendo Ecuador, la recopilación de datos suele representar una de las limitaciones para la adecuada gestión de los recursos hídricos, pues la falta de información actualizada, oportuna o completa puede comprometer la toma de decisiones, dificultar la planificación estratégica y reducir la capacidad

para enfrentar problemas como la escasez de agua, la contaminación y los impactos del cambio climático.

Existen varios criterios que sugieren que los datos provenientes de la teledetección son una alternativa a los datos obtenidos mediante mediciones en campo (GIZ, 2020). La teledetección es una técnica que permite obtener información

de la superficie de la Tierra sin necesidad de estar en contacto directo con ella. Utiliza sensores montados en satélites artificiales para capturar datos a través de diferentes longitudes de onda de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo, para posteriormente transmitir esta información a estaciones y realizar el procesamiento que da lugar a una imagen satelital. Existen varios tipos de imágenes las cuales dependen de la clase de sensor, de la finalidad de captación con la cual fue construido el satélite y sus tipos de resoluciones:

- **Espacial:** se refiere a la relación que existe entre el tamaño del elemento de la imagen y el tamaño real del mismo; es decir, el área real que representa un píxel en el terreno. La resolución espacial puede ser expresada en kilómetros, metros o centímetros, lo cual determina el tamaño mínimo de un objeto que puede ser detectado.
- **Temporal:** se refiere al tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes del mismo sitio. Una alta resolución temporal es útil para el monitoreo de cambios rápidos, como inundaciones o sequías.
- **Espectral:** se refiere a la capacidad de un sensor para captar diferentes longitudes de onda de la luz. Sensores con mayor resolución espectral pueden capturar más bandas de luz, lo que permite un análisis más detallado de la superficie, como la identificación de tipos de vegetación o la detección de contaminantes en el agua.
- **Radiométrica:** se refiere a la capacidad de un sensor para detectar diferentes niveles de luz en cada píxel de la imagen. Una mayor resolución radiométrica permite capturar más matices en la intensidad de la

luz lo que mejora la calidad de la imagen y la posibilidad de análisis detallados.

Las imágenes de satélite ofrecen múltiples beneficios para la gestión del agua, proporcionando datos de alta cobertura espacial y detalle sobre la distribución de los recursos hídricos. La gran variedad de plataformas a las que se puede acceder para la descarga de imágenes satelitales ofrece grandes conjuntos de datos disponibles en línea, muchos de ellos gratuitos, con un amplio rango temporal, lo cual puede ser ventajoso para estudios que requieran escenarios comparativos entre dos o más períodos de tiempo, por ejemplo, cambios de uso del suelo o la cartografía de daños después de inundaciones.

Muchos productos de origen satelital (imágenes o modelos digitales de elevación -DEM, por sus siglas en inglés-) están disponibles en servidores ftp/https para permitir descargas de rutina utilizando scripts de procesamiento y descarga automatizados. La posibilidad de automatizar los procedimientos, desde la captura y descarga de datos hasta su procesamiento y análisis, mejorará la calidad de la información, facilitando el proceso de planificación y toma de decisiones informadas en el manejo de la cuenca hidrográfica. Junto con una rápida disponibilidad de datos en línea (en cuestión de horas o un día), estas características constituyen un fuerte argumento a favor de los parámetros de detección remota (GIZ, 2020).

No obstante, el uso de imágenes satelitales puede presentar algunas desventajas que limitan su efectividad en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, el intervalo de recorrido de un satélite puede no permitir tomar registros con la resolución temporal necesaria; la presencia de nubes, niebla u otras condiciones atmosféricas pueden obstruir las imágenes, inhabilitando su uso; la resolución

espacial gruesa de las imágenes de satélite (las resoluciones varían de 20 metros a 500 km para los datos disponibles gratuitamente) puede impedir la localización precisa de un problema, mientras que la adquisición de imágenes de alta resolución puede ser costosa, especialmente para proyectos a gran escala. No se debe perder de vista que el uso de imágenes satelitales requiere de tecnología y software específico para procesar y analizar las imágenes, lo que puede ser una barrera para algunos usuarios. En el mercado se puede encontrar una variedad de paquetes de software gratuitos disponibles; sin embargo, es posible que no ofrezcan la misma integridad en cuanto a funciones, soporte u operatividad que los paquetes de software comerciales (GIZ, 2020).

## Vehículos aéreos no tripulados

El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés), conocidos coloquialmente como drones, se ha convertido en una alternativa para la generación de información cartográfica en algunos campos de estudio, en donde la teledetección no resulta del todo óptima.

Los dos tipos principales de drones son los multirrotor (aquellos que tienen varios rotores, generalmente cuatro, seis u ocho) que tienen la capacidad de permanecer estáticos en el aire y son muy maniobrables, por lo que son destinados generalmente para toma de fotografías aéreas e inspecciones, sobre todo en áreas urbanas, debido a su capacidad para volar en espacios reducidos; y los drones de ala fija (en forma de avión), que pueden volar a más altitud y sirven para aplicaciones de mayor alcance, como levantamientos topográficos y la generación de

cartografía de grandes regiones o infraestructuras largas como canales.

La utilización de los UAV para el monitoreo ambiental se registra desde hace algunas décadas, debido a la disminución de los costos y a la accesibilidad de esta tecnología, lo que ha permitido el desarrollo de investigaciones y la toma de decisiones a corto tiempo. El uso de aviones no tripulados permite que las operaciones se planifiquen de manera flexible y rápida, lo que garantiza que los productos de imagen están disponibles en un tiempo relativamente prudente. Gracias a su baja altitud de vuelo, los aviones pueden volar incluso bajo las nubes.

Pero, al igual que la teledetección, esta tecnología también presenta desventajas que pueden limitar su efectividad, que deben ser consideradas al momento de evaluar la viabilidad del uso de drones en el manejo de cuencas hidrográficas. Las condiciones climáticas como la lluvia, el viento fuerte o la neblina, pueden afectar la capacidad de los drones para volar y capturar imágenes de calidad; los drones más avanzados, que pueden ser necesarios para tareas específicas, suelen ser costosos y requieren personal capacitado para su operación y mantenimiento; la autonomía limitada de la batería de los drones puede restringir el tiempo de vuelo y la cobertura del área, especialmente en cuencas extensas; y, el uso de algunos drones puede perturbar la fauna local, especialmente en áreas sensibles, lo que podría tener un efecto negativo en los ecosistemas. Estas limitaciones pueden superarse combinando esta tecnología con otras herramientas y metodologías para obtener una gestión más integral.

De forma general, el procedimiento para la generación de productos fotogramétricos con drones tiene tres etapas:

## Etapa preparatoria

En esta fase es esencial establecer claramente el propósito de la misión, como el tipo de imágenes a capturar y el área específica a cubrir. Esto permitirá preparar adecuadamente la logística para el vuelo, así como asegurar los equipamientos técnicos necesarios como el tipo de dron a utilizar, equipos GPS de precisión, equipos de computación, entre otros.

De igual manera, en la etapa preparatoria se debe elaborar el plan de vuelo que consiste en establecer de manera previa la ruta por donde navegará el UAV. Algunos de los parámetros que se determinan en el plan de vuelo son: distancia focal de la cámara, escala de foto, altura de vuelo, superficie de área por fotografía, velocidad de vuelo, tiempo entre el disparo y el vuelo total. Sin embargo, como lo señala Araque, 2019, es importante tener en cuenta que lo ideal es que en el vuelo fotogramétrico, el UAV vuele a una altura constante y recorra el terreno disparando el obturador de la cámara a intervalos regulares con el fin de que dos fotogramas consecutivos tengan el recubrimiento adecuado y distribuya sus pasadas por el terreno de forma paralela (Araque, M. [Coord.], 2019).

## Etapa de campo

Previo al vuelo y dependiendo de la calidad de datos requeridos, puede ser necesario colocar puntos de control, que son objetos llamativos (objetos, marcas de pintura) identificables para ser fotografiados desde el aire, cuya ubicación

es tomada con GPS de alta precisión, mayor que la del UAV, para asegurar la fiabilidad de las imágenes y datos obtenidos de los drones.

La etapa de campo concluye con la puesta en marcha del plan de vuelo y la toma de las fotografías del territorio en estudio.

## Etapa de gabinete

Durante esta fase, se realiza el procesamiento de la información que se descarga desde el dron y desde los equipos GPS en caso de que se hayan tomado puntos de control. A través de un sistema de información geográfica, se procede con la georreferenciación de las imágenes capturadas (utilizando como referencia los puntos de control) y se corrigen errores en la captura de imágenes, como distorsiones ópticas y variaciones en la altitud, mejorando la calidad general del producto final.

A continuación, se generan las ortofotos que son mosaicos de alta resolución, que permitirán el análisis y caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica. Este proceso requiere de un procesamiento que puede realizarse en un software fotogramétrico como, por ejemplo, *Pixpro*, *ReCap Pro* de Autodesk, *PIX4Dmapper*, *Agisoft*, *MicMac*, entre otros. A partir de las ortofotos se pueden obtener otros productos cartográficos, como los modelos digitales de elevación o mapas temáticos que representen información específica, como uso del suelo, vegetación, infraestructuras o zonas de riesgo.



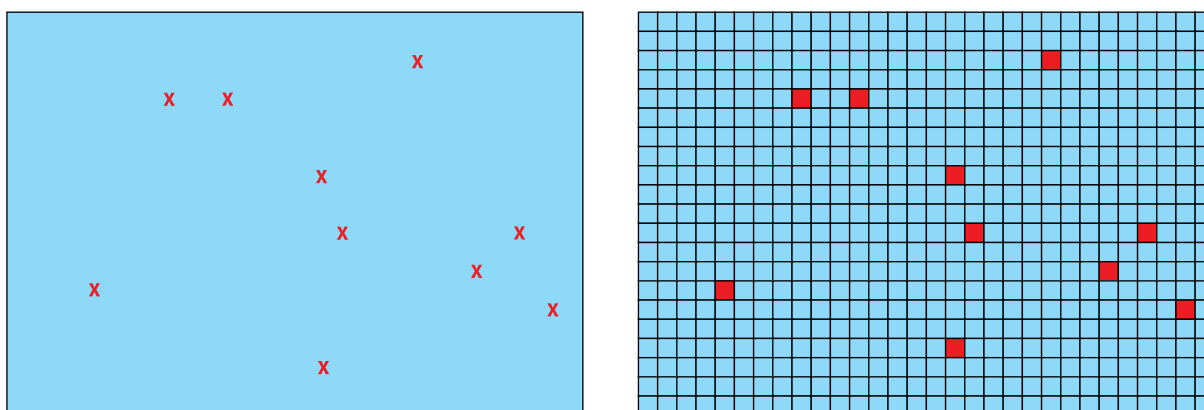
# SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL MANEJO DE CUENCAS

Un sistema de información geográfica, también conocido con el acrónimo SIG, es un sistema integrado (conformado por hardware, software y datos geográficos) que a través del análisis de información espacial, se convierte en un apoyo invaluable en la toma de decisiones. Esta herramienta permite representar, integrar, visualizar, gestionar y analizar grandes volúmenes de datos, lo cual es ventajoso para llevar a cabo estudios de procesos que ocurren en la naturaleza y que guardan relación con la gestión de los recursos hídricos. Entre las aplicaciones que pueden tener los SIG en el manejo de una cuenca hidrográfica se puede mencionar la caracterización ambiental, análisis de biodiversidad y mapas de distribución, identificación de zonas con riesgo de inundaciones, modelación y simulación de la erosión, creación de escenarios presentes y/o futuros, que simulen la respuesta hidrológica de la cuenca ante un cambio en el uso del suelo, hasta aplicaciones más complejas, como la visualización de gases de efecto invernadero.

Los sistemas de información geográfica utilizan fuentes de datos espaciales diversas, entre las que se encuentran: cartografía base o temática en formato vectorial (puntos líneas o polígonos); datos de campo, por ejemplo, los tomados con GPS también en formato vectorial; fotografías aéreas, imágenes satelitales u ortofotos provenientes de teledetección o de UAV, en formato ráster, también llamado de cuadrícula o grilla.

Los datos vectoriales de puntos son abstracciones de objetos que se presentan mediante coordenadas (x,y) específicas. Normalmente un punto representa una entidad geográfica demasiado pequeña para ser trazada como una línea o como una superficie. En una imagen de formato ráster, ese mismo elemento se representa como una celda simple, la unidad más pequeña de un ráster. Por lo tanto, cuanto menor es el tamaño de celda, menor es el área y, por lo tanto, más próxima es la representación de la entidad de puntos. Por ejemplo, se asume que un pozo o un poste de teléfono ocupa toda el área cubierta por una celda.

**Figura 21.** Elementos representados por puntos en formato vector y en ráster



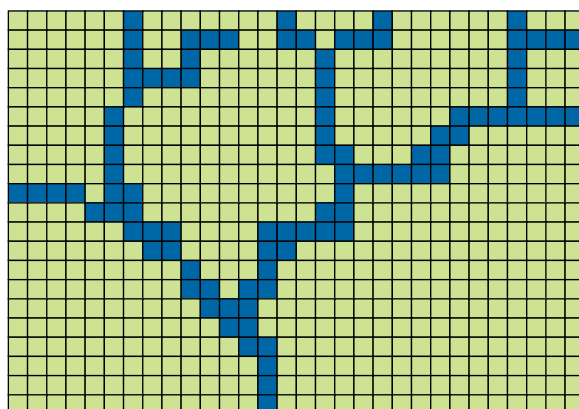
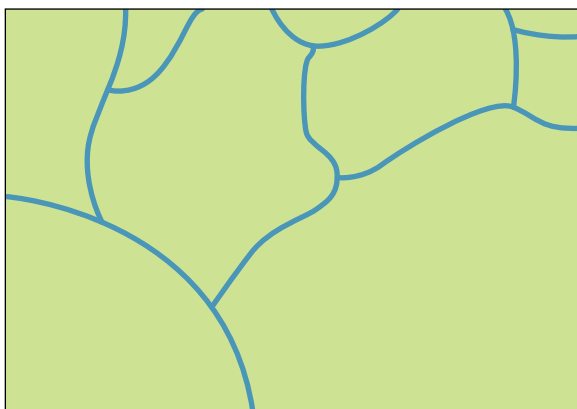
Fuente: <https://desktop.arcgis.com/>



Una línea, en formato vector, es un conjunto de pares de coordenadas ordenados que representan la forma de entidades geográficas demasiado finas para ser visualizadas como superficies a la escala dada, como las calles, los ríos o los canales. En formato ráster, se representa como una cadena

de celdas conectadas espacialmente con el mismo valor. Cuando hay un corte entre la cadena de celdas del mismo valor, representa un corte en la entidad de línea, que podría representar distintas entidades como dos carreteras o dos ríos que no se intersecan.

**Figura 22.** Elementos representados por líneas en formato vector y en ráster

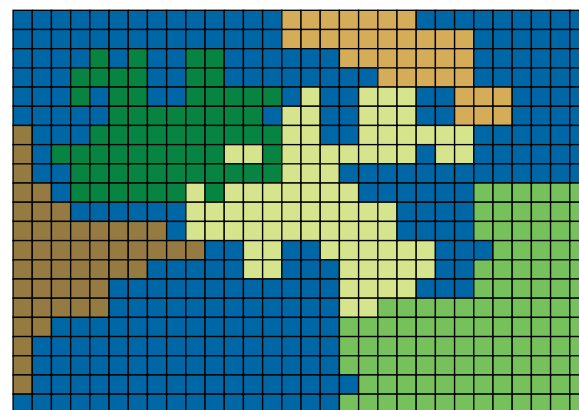
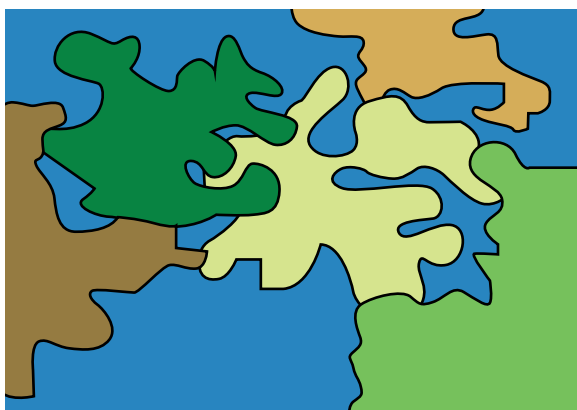


Fuente: <https://desktop.arcgis.com/>

Un polígono vectorial es un área acotada definida por una lista ordenada de coordenadas (x,y) en la que las primeras y las últimas coordenadas son las mismas, que representan el área. Los polígonos tienen atributos que describen al elemento geográfico que

representan, por ejemplo: zonas de vegetación y usos del suelo, fincas, cuencas hidrográficas, cantones, entre otros. En cambio, un polígono ráster es un grupo de celdas contiguas con el mismo valor que representan en forma más precisa la forma del área.

**Figura 23.** Elementos representados por polígonos en formato vector y en ráster



Fuente: <https://desktop.arcgis.com/>

En la actualidad, existe una variedad de SIG disponibles en el mercado, que van desde programas gratuitos de código libre hasta aplicaciones avanzadas capaces de llevar a cabo análisis muy complejos, pero que pueden llegar a tener altos costos de licencia. Su elección deberá estar, pues, basada en el objetivo de los estudios, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos.

Los temas que se presentan a continuación constituyen algunas referencias de herramientas disponibles en los sistemas de información geográficas, que pueden ser utilizados para la gestión de recursos hídricos. No pretende, por tanto, constituirse en un manual de usuario, en cuyo caso se recomienda visitar algunos enlaces disponibles en la web con tutoriales básicos o avanzados de sistemas de información específicos.

No obstante, se recomienda profundizar en los conocimientos introductorios y explorar la

interfase del software QGIS en el siguiente enlace: [https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user\\_manual/](https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user_manual/)

## Aplicación de SIG en la caracterización de la cuenca

La caracterización de la cuenca hidrográfica se refiere al cálculo y análisis cuantitativo de las variables de superficie, relieve y drenaje, derivadas de su geomorfología, lo que permite, por una parte, conocer las características físicas de la cuenca y, por otra, entender la complejidad de su comportamiento hidrológico. Para determinar la morfometría de la cuenca se considerará como límite o divisoria de aguas, a las unidades hidrográficas establecidas en Ecuador, de acuerdo con la metodología Pfafstetter descrita en el Capítulo I de este manual. Una vez seleccionada la unidad hidrográfica en estudio, a través de un SIG, se determinarán los siguientes aspectos:

### Parámetros de Forma

**Tabla 19:** Cálculo de los parámetros de forma de la cuenca

Parámetro	Descripción o fórmula de cálculo	Herramienta sugerida en ArcGIS	Herramienta sugerida en QGIS
Perímetro (P)	Medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas, expresado en kilómetros.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calcular Geometría</i> , definir <i>perímetro</i> , las unidades en que se realizará el cálculo y aceptar.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo decimal, en la tabla de atributos seleccionar <i>calculadora de campo</i> (símbolo de un ábaco) y marcar la opción <i>actualizar campo existente</i> , en la sección de <i>Expresión</i> buscar la función <i>\$perimeter</i> , dar doble click en la opción y aceptar.
Área (A)	Superficie encerrada por la divisoria de aguas, en kilómetros cuadrados.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calcular Geometría</i> , definir <i>área</i> , las unidades en que se realizará el cálculo y aceptar.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo decimal, en la tabla de atributos seleccionar <i>calculadora de campo</i> y marcar la opción <i>actualizar campo existente</i> en la sección de <i>Expresión</i> buscar la función <i>\$area</i> , dar doble click en la opción y aceptar.

Parámetro	Descripción o fórmula de cálculo	Herramienta sugerida en ArcGIS	Herramienta sugerida en QGIS
Longitud axial (LA)	Distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca (medida en kilómetros).	Al ser una medición en línea recta, se puede utilizar la herramienta <i>Medir</i> (un ícono en forma de regla en la barra de herramientas, al hacer click se despliega una ventana donde al marcar un punto de inicio y final con el puntero se calcula la distancia de dicho tramo en las unidades elegidas).	Al ser una medición en línea recta, utilizar la herramienta <i>medir</i> en la barra de herramientas (símbolo de una regla) y en las pestañas desplegables seleccionar <i>Medir línea</i> , se abrirá una ventana emergente donde se presentarán las medidas hechas con el puntero al dar click en el mapa. (podemos añadir un campo en la tabla de atributos para añadirlo a ella manualmente).
Factor de forma (Rf)	Es una medida que describe la relación entre la longitud y el ancho de la cuenca. El factor o relación de forma indica cómo se regula la concentración de escorrentía superficial. Este factor manifiesta la tendencia de la cuenca a crecidas: cuando el factor forma (Rf) es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada; la cuenca con Rf bajo se caracteriza por ser una cuenca alargada, con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, sujeta a crecientes de menor magnitud. La fórmula es: $Rf = \frac{A}{LA^2}$	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calculadora de Campo</i> ingresar el nombre del campo que contiene el área de la cuenca, seleccionar el operador numérico / y luego seleccionar el nombre del campo que contiene la longitud axial y aceptar.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>calculadora de campo</i> ingresar el nombre del campo que contiene el área de la cuenca entre comillas dobles ("Nombre"), seleccionar el operador numérico / y luego ingresar el nombre del campo que contiene la longitud axial y aceptar.
Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)	Es un indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca, mediante la relación entre su perímetro y la circunferencia de un círculo cuya superficie es la misma que la del área de la cuenca. A medida que su Kc tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor y el tiempo de concentración es menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas. La fórmula utilizada es: $Kc = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calculadora de Campo</i> ingresar los campos de acuerdo con la fórmula señalada y aceptar.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>calculadora de campo</i> ingresar la fórmula en la descripción después del símbolo igual con los nombres correspondientes a los respectivos campos y aceptar.

Fuente: Elaboración propia.

## Parámetros de relieve

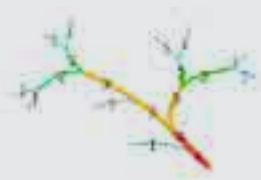
**Tabla 20:** Cálculo de los parámetros de relieve de la cuenca

Parámetro	Descripción o fórmula de cálculo	Herramienta sugerida en ArcGIS	Herramienta sugerida en QGIS
Altitud máxima (Hmáx) y altitud mínima (Hmín)	Estos datos permiten cuantificar los extremos de las cotas de la cuenca, medidos en metros.	Si se dispone de información en tipo vector de curvas de nivel o de puntos acotados, en la tabla de atributos de los archivos shape, ordenar de forma ascendente o descendente el campo que contiene el dato de altitud; de esta manera se puede obtener en los extremos de la tabla las altitudes máximas y mínimas.	Si se dispone de información en tipo vector de curvas de nivel o de puntos acotados, en la tabla de atributos de los archivos shape, dirigirse a la columna que contiene información sobre la altura y al dar click sobre el encabezado automáticamente se ordenarán los datos de manera ascendente y al dar otro click se ordenarán de manera descendente.
Pendiente media (Sc)	Se calcula mediante la fórmula: $Sc = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{La}$	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calculadora de Campo</i> , ingresar la ecuación y aceptar.	En la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calculadora de Campo</i> , ingresar la fórmula en la descripción después del símbolo igual con los nombres correspondientes a los respectivos campos y aceptar.
Pendiente del cauce principal (S)	En general, la pendiente de un tramo de cauce se considera como el desnivel entre los extremos del tramo, dividido entre la longitud horizontal de dicho tramo. Se diferencia de la pendiente media de la cuenca, en que la altitud máxima y mínima del cauce principal no necesariamente coinciden con las de la cuenca. Se calcula mediante la fórmula: $S = \frac{H}{L}$ Donde H es el desnivel del cauce principal y L su longitud total.	La altitud máxima y mínima del cauce principal se puede obtener siguiendo el mismo procedimiento utilizando la herramienta <i>Medir</i> . Para obtener la longitud del cauce principal, se deben seleccionar todos los elementos lineales que conforman el cauce, luego en la tabla de atributos, en el campo que tiene el dato de longitud, seleccionar la opción <i>Estadísticas</i> y se obtiene la suma de las longitudes de todos los tramos que conforman el cauce principal.  Luego, en la tabla de atributos del archivo tipo shape que contiene el polígono de la cuenca, agregar un nuevo campo de tipo numérico decimal y mediante la herramienta <i>Calculadora de Campo</i> , ingresar la ecuación y aceptar.	Hallar el desnivel entre los extremos del cauce restando la Hmáx y Hmín del tramo y crear un campo para almacenar este valor, después seleccionar los elementos lineales correspondientes al cauce con la herramienta <i>seleccionar objetos</i> , posteriormente en la barra de herramientas, dirigirse a <i>Estadísticas</i> y marcar la opción <i>Objetos seleccionados solamente</i> , seleccionar el campo que contiene la longitud de los elementos, finalmente crear un nuevo campo en la tabla de atributos de tipo numérico decimal y mediante la <i>calculadora de campo</i> insertar la fórmula en la descripción después del símbolo igual con los nombres correspondientes a los respectivos campos finalizando con click en aceptar.

Fuente: Elaboración propia.

## Parámetros de drenaje

**Tabla 21:** Cálculo de los parámetros de drenaje de la cuenca

Parámetro	Descripción o fórmula de cálculo	Herramienta sugerida en ArcGIS	Herramienta sugerida en QGIS
Longitud de drenaje (Ln)	Representa la suma de todas las longitudes pertenecientes a la red de drenaje, desde sus tributarios más pequeños hasta el curso principal.	Se obtiene al calcular la longitud de todos los elementos lineales pertenecientes a agua dentro de los límites de la cuenca, se obtiene fácilmente al ingresar en la tabla de atributos, dar click derecho en la columna correspondiente al campo que contiene la longitud y dirigirse a la opción <i>Visualizar estadísticas</i> , en la ventana emergente se encuentra un apartado llamado <i>suma</i> con el resultado de la longitud de drenaje.	Se obtiene fácilmente al calcular la longitud de todos los elementos lineales pertenecientes a agua dentro de los límites de la cuenca; en la barra de herramientas, dirigirse a <i>Estadísticas</i> y desmarcar la opción <i>Objetos seleccionados solamente</i> , seleccionar el campo que contiene la longitud de los elementos y en el apartado suma encontraremos el resultado de la longitud de drenaje.
Densidad de drenaje	Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de ésta: $Dd = \frac{\sum Lc}{A}$		Utilizar el plugin de QGIS <i>PCRaster</i> , inicialmente se convierte el DEM de la cuenca de estudio en formato <i>PCRaster</i> utilizando la herramienta <i>Convert to PCRaster Format</i> , a continuación utilizar la herramienta <i>Lddcreate</i> para generar el mapa de dirección de los drenajes, finalmente abrir la herramienta <i>accuflux</i> e introducir el archivo ldd y click en aceptar.
Orden de los cauces	Es un número que refleja el grado de ramificación del Sistema de Drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes premisas: - Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios. - Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden n se forman cuando dos cauces de orden n-1 se unen. - Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes. 		Para este proceso utilizar el plugin <i>ArcGeek Calculator</i> y abrir la herramienta <i>Stream Network With Order</i> donde se ingresa el DEM de la cuenca de estudio y el valor máximo de la densidad de drenaje, finalmente dar click en <i>Run</i> .

Fuente: Elaboración propia.

```

// Definir el área de interés: Provincia de Manabí, Ecuador
var manabi = ee.Geometry.Polygon([
  [-80.1857, -1.0893],
  [-80.1857, -0.4501],
  [-79.4127, -0.4501],
  [-79.4127, -1.0893]
]);

// Cargar el conjunto de datos de CHIRPS
var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD')
  .filterBounds(manabi)
  .filterDate('2023-10-01', '2023-12-31'); // Filtrar por fechas

// Calcular la precipitación total mensual
var monthlyPrecipitation = chirps.reduce(ee.Reducer.sum());

// Convertir la precipitación acumulada a milímetros (CHIRPS ya está en mm)
var monthlyPrecipitationInMM = monthlyPrecipitation;

// Visualizar los resultados
Map.centerObject(manabi, 7); // Centrar el mapa en Manabí
Map.addLayer(monthlyPrecipitationInMM, {min: 0, max: 300, palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'red']}, 'Precipitación Mensual');

// Imprimir a la consola
print('Precipitación Media Mensual:', monthlyPrecipitationInMM);

// Exportar la imagen resultante
Export.image.toDrive({
  image: monthlyPrecipitationInMM,
  description: 'PrecipitacionMensual_Manabi',
  scale: 500, // Ajusta la resolución según sea necesario
  region: manabi,
  maxPixels: 1e13
});

```

## Análisis de la distribución espacial de las precipitaciones

El análisis espacial de precipitaciones es crucial por varias razones que tienen un impacto directo en la gestión ambiental, la planificación territorial, el desarrollo agrícola y la respuesta ante desastres además de constituir un insumo fundamental para una amplia gama de estudios hidrológicos. Para este proceso es posible utilizar la herramienta *Google Earth Engine* ya que permite acceder a una amplia colección de imágenes satelitales de sensores enfocados en el estudio de la atmósfera e hidrósfera; esta herramienta funciona con lenguaje de programación basado en Javascript para lo cual utilizar el siguiente script como base para realizar las consultas y obtener la información acorde a las necesidades del estudio.



Modificando las líneas de código correspondientes al área de interés y a la fecha podemos acceder a los datos diferenciados los cuales se almacenarán en el espacio personal de la nube para su posterior descarga.

# CARACTERIZACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Para la Caracterización del Caudal Ecológico se han desarrollado una gran variedad de técnicas las cuales están adaptadas a la legislación y condiciones físicas de cada territorio.

No existe un método ideal para estimar el caudal ecológico. Pero existe una variedad de métodos para determinar el caudal ecológico, cada uno de ellos tienen sus objetivos y criterios de evaluación (Marraco et al., 2010).

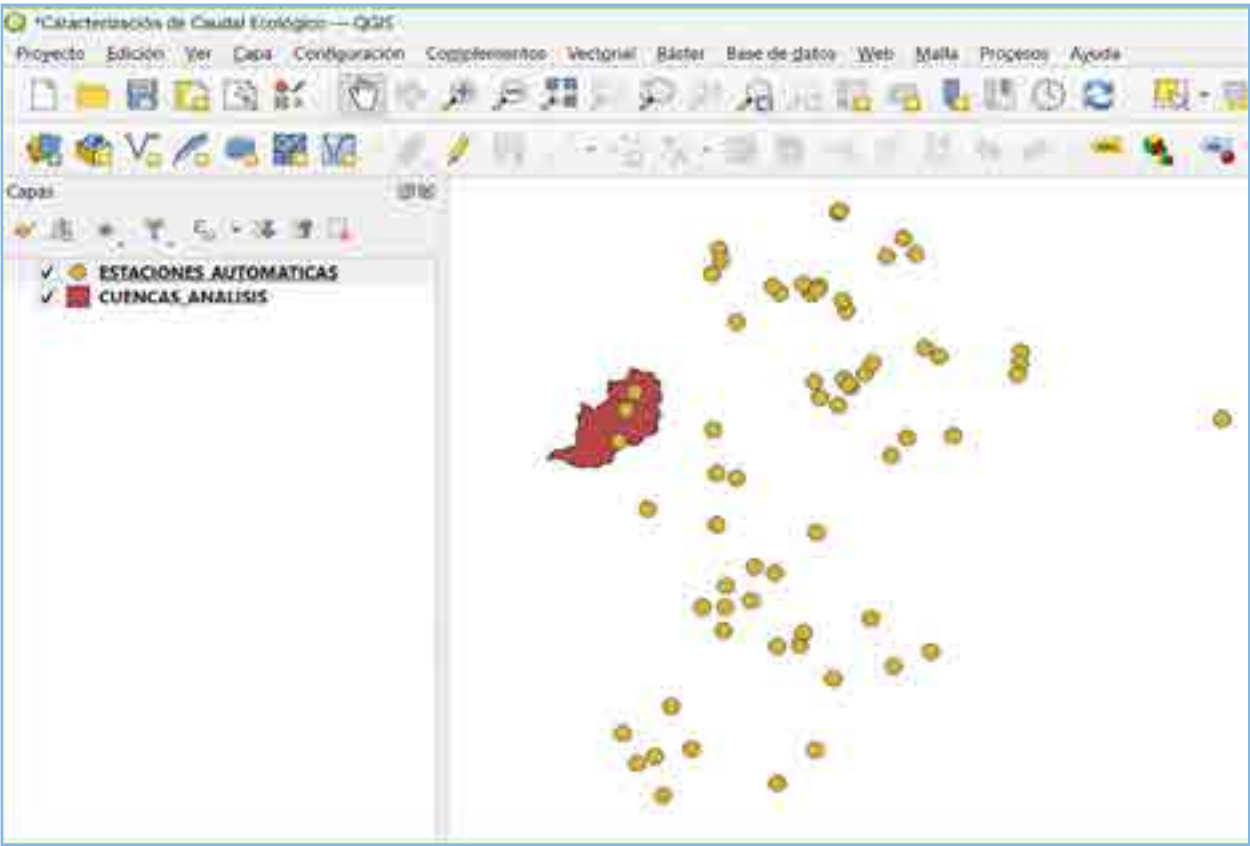
Entre estas técnicas se encuentra la caracterización de caudal ecológico por medio de métodos hidrológicos. Los métodos hidrológicos destacan por ser los más adecuados al momento de realizar la planificación de desarrollo de recursos hídricos, debido a que es práctico, económico y simple.

**Tabla 22:** Fuentes de datos para caracterización de caudal ecológico

Insumos necesarios	Fuente
Capa vector con los límites de la cuenca hidrográfica de estudio.	Ecuador (aquacoope.org)
Capa vector de estaciones hidrológicas.	Geoinformación Hidrometeorológica – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (inamhi.gob.ec)
Información del caudal medio en la Cuenca	Biblioteca – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (inamhi.gob.ec)

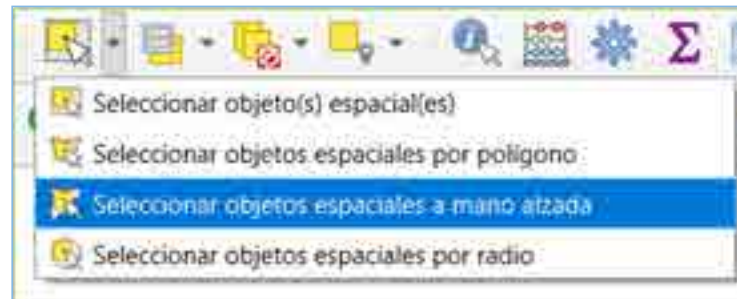
Fuente: Elaboración propia

1. Añadir las capas mencionadas a un nuevo proyecto de QGIS





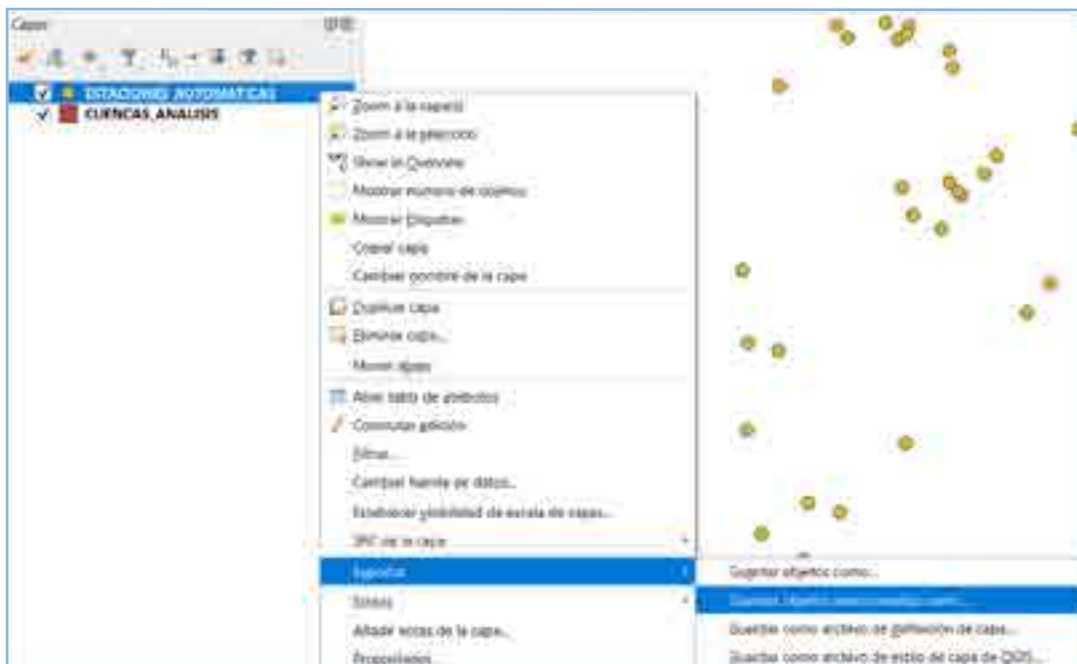
- Con la herramienta selección, escoger la opción *seleccionar objetos espaciales a mano alzada* y tomar las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca de estudio.



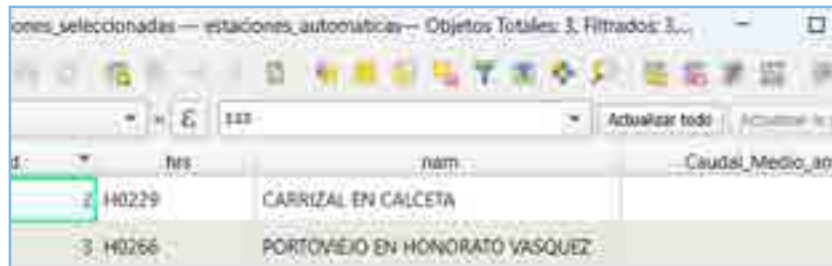
- Abrir la tabla de atributos del shape correspondiente a las estaciones hidrológicas y verificar el código de dichas estaciones, es un código alfanumérico cuyo primer término es una letra “H” seguido de 4 números y extraerlos en una nueva capa utilizando la siguiente secuencia *click derecho sobre la capa-> exportar -> guardar objetos seleccionados como*.

ESTACIONES\_AUTOMATICAS— Objetos Totales: 65, Filtrados: 65, Seleccionados: 3

	OBJECTID	FID	hrs	nam
1	16	15.0000000000	H0235	CHONE EN CHONE
2	61	60.0000000000	H0229	CARRIZAL EN CALCETA
3	62	61.0000000000	H0268	PORTO VIEJO EN HONORATO VASQUEZ

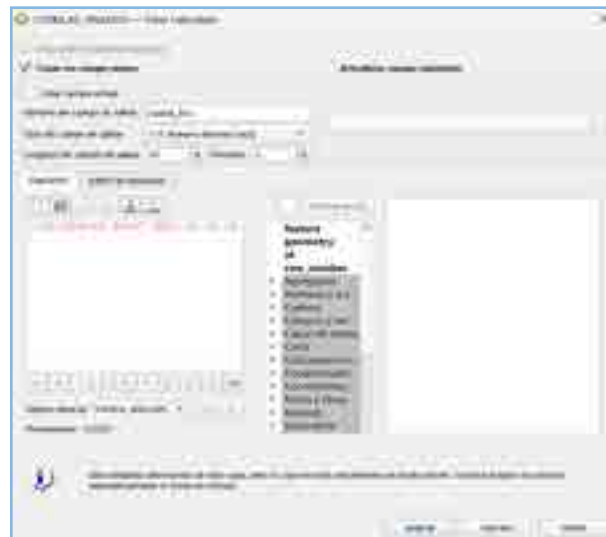


4. Obtener los informes de caudal medio diario de cada estación medidos en  $m^3/s$  y agregarlos como un nuevo campo de tipo *numérico decimal* a la capa exportada.

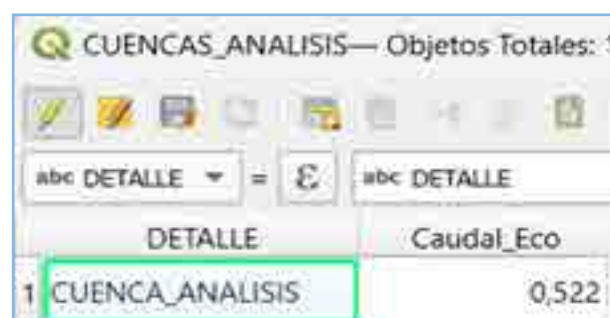


	id	res	nam	Caudal_Medio_anu
2	H0229	CARRIZAL EN CALCETA		
3	H0266	PORTOBEJO EN HONORATO VASQUEZ		

5. Por último ingresamos a la calculadora de campos en el shape de la cuenca de análisis y creamos un nuevo campo de tipo *numérico decimal* y aplicamos la fórmula de caudal ecológico por el *método ecuatoriano*,  $Q_e = 5\%Q_m$  donde  $Q_m = \text{Caudal medio anual}$



Finalmente nuestro resultado se mostrará en la tabla de atributos de la cuenca hidrográfica medidos en  $m^3/s$ .



	DETALLE	Caudal_Eco
1	CUENCA_ANALISIS	0,522

# ESTIMACIÓN/EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS DE EROSIÓN

La pérdida de suelo es un proceso degenerativo en el suelo que compromete la capacidad actual o futura del suelo para seguir cumpliendo con sus funciones inherentes a su tipo, este fenómeno puede tener causas naturales o antrópicas en las que influyen diversos factores, por lo cual se han desarrollado modelos estadísticos y matemáticos que se apoyan principalmente en los sistemas de información geográfica y programas de modelamiento.

Existen diversas variedades de técnicas y modelos para la estimación de erosión y pérdida de suelo en cuencas hidrográficas y cada una se aplica según el enfoque del estudio, diversos proveedores y programas de modelamiento han desarrollado plugins específicos para cada uno de los modelos según su complejidad.

## USLE (Universal Soil Loss Equation) y RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

USLE es uno de los modelos más comunes y antiguos para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica, basándose en factores como la lluvia, tipo de suelo, topografía, cobertura vegetal y prácticas de manejo.

RUSLE, una versión mejorada de USLE, incorpora ajustes en los factores para abarcar una mayor diversidad de condiciones.

Plugin o programa de modelamiento: Plugin SAGA en QGIS.

## WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Es un modelo avanzado que toma en cuenta características y procesos físicos del terreno para simular la erosión del suelo, es utilizado principalmente para estimar la escorrentía, erosión hídrica y sedimentación, se necesita información detallada para datos del suelo y datos meteorológicos.

## Modis Erosion Models

Estos modelos utilizan como insumos principales escenas capturadas por los sensores de las plataformas MODIS para estimar la pérdida de suelo y erosión a una escala regional. Su principal ventaja es la disponibilidad de datos ya que al ser datos satelitales podemos obtener la mayoría de los datos diarios.

## LISEM (Limburg Soil Erosion Model)

Un modelo dinámico diseñado para simular la erosión del suelo y el transporte de sedimentos durante eventos de lluvias intensas, útil para estudios a pequeña escala en cuencas hidrográficas.

## SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

SWAT es un modelo hidrológico que también incluye la pérdida de suelo como parte de un análisis más amplio de la calidad del agua y la escorrentía. Utiliza datos geoespaciales y climáticos para simular el comportamiento de cuencas hidrográficas a largo plazo.

**Tabla 23:** Opciones de modelos para la estimación de erosión y pérdida de suelo en cuencas hidrográficas

Modelo	Plugin/Software	Uso adecuado
USLE/RUSLE	<b>RUSLE2:</b> Es una versión mejorada y disponible públicamente del modelo RUSLE. Se trata de un software desarrollado por el Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) para su uso en la evaluación de erosión en terrenos agrícolas.	Ideal para estudios en agricultura, bosques y áreas naturales. Optimizado para uso en sistemas de información geográfica (SIG).
WEPP	<b>WEPP Online:</b> El USDA proporciona un acceso en línea para el modelado de pérdida de suelo a través del proyecto WEPP, con una interfaz web fácil de usar.	Ideal para simulaciones de cuencas hidrográficas y escenarios de manejo de suelos con acceso a datos detallados.
MODIS Erosion Model	<b>QGIS (con plugins MODIS):</b> QGIS, con complementos que permiten la integración de datos MODIS, facilita el uso de estos datos para la estimación de pérdida de suelo.	Ideal para análisis regionales y grandes áreas geográficas.
LISEM	<b>LISEM GUI:</b> Un software especializado que incluye una interfaz gráfica y herramientas para simular la erosión en áreas pequeñas, especialmente a nivel de cuencas hidrográficas.	Especialmente optimizado para simulaciones detalladas de erosión durante eventos de lluvia en cuencas hidrográficas pequeñas.
SWAT	<b>SWAT (con ArcSWAT):</b> Un modelo ampliamente utilizado, disponible como una extensión para ArcGIS (ArcSWAT) y compatible con QGIS (QSWAT). Se utiliza para simulaciones a largo plazo en cuencas hidrográficas.	Perfecto para el modelado de cuencas hidrográficas a largo plazo, simulando la interacción entre la erosión, la escorrentía y el uso del suelo.

Fuente: Elaboración propia

Las principales fuentes de datos para estos modelamientos podemos encontrarlos en:

**Tabla 24:** Fuentes de datos para modelación de sedimentación y erosión en cuencas hidrográficas

Insumos necesarios	Fuente
Capa raster de precipitación media anual	Biblioteca – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (inamhi.gob.ec)
Capa raster de textura del suelo	Mapa Geopedológico del Ecuador continental, versión editada 2019, escala 1:25.000, año 2009-2015 - Conjunto de datos - Datos Abiertos Ecuador
Capa raster del modelo digital de elevación	Modelo Digital del Terreno (MDT) de Ecuador - Conjunto de datos - Datos Abiertos Ecuador
Capa raster de uso de suelo	Mapa de Cobertura y uso de la tierra y Sistemas productivos agropecuarios versión editada 2020 - Conjunto de datos - Datos Abiertos Ecuador

Fuente: Elaboración propia

# ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA

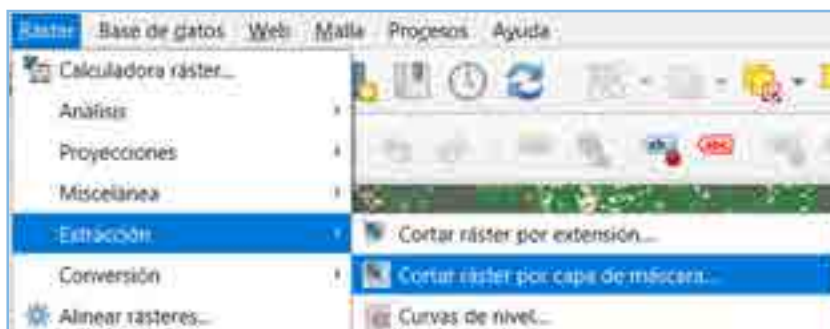
Para el análisis de cambio de uso de suelo en la cuenca hidrográfica de estudio necesitaremos los insumos correspondientes al uso y cobertura de suelo en clasificación *Corine Land Cover*.

**Tabla 25:** Fuentes de datos para análisis de cambios de uso de suelo

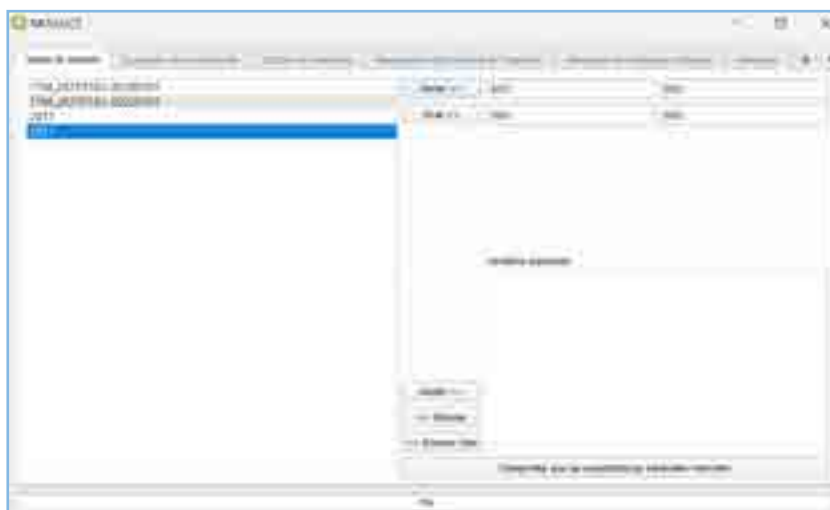
Insumos necesarios	Fuente
2 o más capas raster del área de estudio en clasificación Corine Land Cover	Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Timeseries Downloader (Mature Support) (arcgis.com)
Capa vector con los límites de la cuenca hidrográfica de estudio.	Ecuador (aquacoope.org)

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente hacemos un recorte de raster en 2 épocas diferentes utilizando como máscara la capa vector de los límites de la cuenca de estudio con la barra de herramientas siguiendo la ruta *Raster -> Extracción -> Cortar ráster por capa de máscara*.



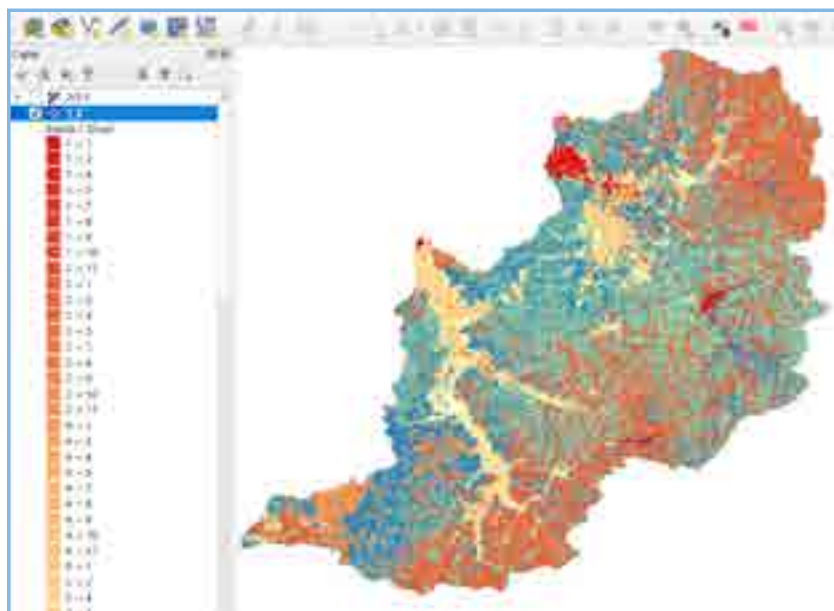
Al contar con los rasters recortados utilizar el módulo *Molusce* de QGIS e ingresar las capas en orden cronológico, en este caso 2017 y 2021.



A continuación dirigirse a la pestaña *Cambio de Territorios* y seleccionar la opción *Actualizar Tablas*, lo cual nos arrojará una matriz de transición indicando qué porcentaje de superficie de cada clase cambió de uso y que porcentaje se mantuvo.

Código de la zona	2007	2011	2015
1	100.00	100.00	100.00
2	100.00	100.00	100.00
3	100.00	100.00	100.00
4	100.00	100.00	100.00
5	100.00	100.00	100.00
6	100.00	100.00	100.00
7	100.00	100.00	100.00
8	100.00	100.00	100.00
9	100.00	100.00	100.00
10	100.00	100.00	100.00
11	100.00	100.00	100.00
12	100.00	100.00	100.00
13	100.00	100.00	100.00
14	100.00	100.00	100.00
15	100.00	100.00	100.00
16	100.00	100.00	100.00
17	100.00	100.00	100.00
18	100.00	100.00	100.00
19	100.00	100.00	100.00
20	100.00	100.00	100.00
21	100.00	100.00	100.00
22	100.00	100.00	100.00
23	100.00	100.00	100.00
24	100.00	100.00	100.00
25	100.00	100.00	100.00
26	100.00	100.00	100.00
27	100.00	100.00	100.00
28	100.00	100.00	100.00
29	100.00	100.00	100.00
30	100.00	100.00	100.00
31	100.00	100.00	100.00
32	100.00	100.00	100.00
33	100.00	100.00	100.00
34	100.00	100.00	100.00
35	100.00	100.00	100.00
36	100.00	100.00	100.00
37	100.00	100.00	100.00
38	100.00	100.00	100.00
39	100.00	100.00	100.00
40	100.00	100.00	100.00
41	100.00	100.00	100.00
42	100.00	100.00	100.00
43	100.00	100.00	100.00
44	100.00	100.00	100.00
45	100.00	100.00	100.00
46	100.00	100.00	100.00
47	100.00	100.00	100.00
48	100.00	100.00	100.00
49	100.00	100.00	100.00
50	100.00	100.00	100.00
51	100.00	100.00	100.00
52	100.00	100.00	100.00
53	100.00	100.00	100.00
54	100.00	100.00	100.00
55	100.00	100.00	100.00
56	100.00	100.00	100.00
57	100.00	100.00	100.00
58	100.00	100.00	100.00
59	100.00	100.00	100.00
60	100.00	100.00	100.00
61	100.00	100.00	100.00
62	100.00	100.00	100.00
63	100.00	100.00	100.00
64	100.00	100.00	100.00
65	100.00	100.00	100.00
66	100.00	100.00	100.00
67	100.00	100.00	100.00
68	100.00	100.00	100.00
69	100.00	100.00	100.00
70	100.00	100.00	100.00
71	100.00	100.00	100.00
72	100.00	100.00	100.00
73	100.00	100.00	100.00
74	100.00	100.00	100.00
75	100.00	100.00	100.00
76	100.00	100.00	100.00
77	100.00	100.00	100.00
78	100.00	100.00	100.00
79	100.00	100.00	100.00
80	100.00	100.00	100.00
81	100.00	100.00	100.00
82	100.00	100.00	100.00
83	100.00	100.00	100.00
84	100.00	100.00	100.00
85	100.00	100.00	100.00
86	100.00	100.00	100.00
87	100.00	100.00	100.00
88	100.00	100.00	100.00
89	100.00	100.00	100.00
90	100.00	100.00	100.00
91	100.00	100.00	100.00
92	100.00	100.00	100.00
93	100.00	100.00	100.00
94	100.00	100.00	100.00
95	100.00	100.00	100.00
96	100.00	100.00	100.00
97	100.00	100.00	100.00
98	100.00	100.00	100.00
99	100.00	100.00	100.00
100	100.00	100.00	100.00

Finalmente hacemos click en *Crear mapa de cambios* y se nos genera un nuevo raster con los valores correspondientes de cambio.



# ÁREAS DE CONFLICTOS DE USO DEL SUELO

La pérdida del suelo por una inapropiada utilización de este recurso es un problema a nivel mundial. La degradación y la desertificación son importantes efectos adversos muchas veces irreversibles. En Ecuador es posible estudiar este tema a profundidad gracias a la disponibilidad de cartografía como el potencial de uso de los suelos y el uso actual de la tierra.

Para determinar las áreas de conflicto de uso de suelo, al tratarse fundamentalmente de una comparación podemos seguir el mismo proceso para el análisis de cambio de uso de suelo, la principal diferencia con el proceso anteriormente mencionado corresponde a los insumos de entrada.

**Tabla 26:** Fuentes de datos para análisis de conflictos de uso de suelo

Insumos necesarios	Fuente
Capa con información del uso de suelo	Mapa de Cobertura y uso de la tierra y Sistemas productivos agropecuarios versión editada 2020 - Conjunto de datos - Datos Abiertos Ecuador
Capa de uso potencial del suelo	Mapa Geopedológico del Ecuador continental, versión editada 2019, escala 1:25.000, año 2009-2015 - Conjunto de datos - Datos Abiertos Ecuador

Fuente: Elaboración propia



# BIBLIOGRAFÍA

- A. Lhumeau, D. Cordero. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. Quito, Ecuador: UICN.
- Amend, T. 2019. Governance for Ecosystem-based Adaptation: Understanding the diversity of actors & quality of arrangements. Bonn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Araque Arellano, Miguel (Coordinador). Michelle Vásconez, Andrea Mancheno, César Álvarez, Claudia Prehn, Carina Cevallos y Liliana Ortiz. 2019. Cuencas Hidrográficas. Editorial Abya-Yala. Quito-Ecuador.
- Avilés Castro, G. J. & García Rodríguez, R., 2022. Sobreexplotación de pozos profundos y perforación irregular en acuíferos costeros. RECIMUNDO, Saberes del Conocimiento. Revista Científica.
- Benegas Negri Laura, Watler Reyes, William, Ríos Ramírez José, Vega Isuhuaylas, Diana. 2024. Guía nacional para la elaboración de planes de manejo de cuencas hidrográficas en Costa Rica. EbA LAC. GIZ.
- CBD. 2009. Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Informe del Segundo Grupo Ad Hoc de Expertos Técnicos sobre Biodiversidad y Cambio Climático. Montreal. Montreal, Canadá: Convenio sobre Biodiversidad Biológica – CBD. Serie Técnica No. 41.  
<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-41-en.pdf>
- Cobo, E. Piñeiros L. 2020. Infraestructura Natural: Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos. Quito, Ecuador: UICN.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008)
- Ferrer Alessi, Vicente; Torrero, Mariana P. 2015. Manejo integrado de cuencas hídricas: Cuenca del río Gualjaina, Chubut, Argentina. Boletín Mexicano de Derecho Comparado.
- Friends of Ecosystem-based Adaptation (FEBA). 2017. Hacer que la adaptación basada en ecosistemas sea eficaz: un marco para definir criterios de cualificación y estándares de calidad Bertram, M., Barrow, E., Blackwood, K., Rizvi, A.R., Reid, H. y von Scheliha-Dawid, S. (autores y autoras). GIZ, Bonn, Alemania, IIED, Londres, Reino Unido, y UICN, Gland, Suiza.
- Fundación para el Desarrollo de la Ecología (FUND-ECO) y Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). 2022. Guía para la incorporación del enfoque de adaptación basada en ecosistemas en proyectos socioambientales. La Paz, Bolivia: Cooperación Alemana a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Proyecto de Gestión Integral con Enfoque de Cuenca–PROCUECA.
- GIZ, UNEP-WCMC and FEBA. 2020. Guía para Monitoreo y Evaluación de Intervenciones de Adaptación Basada en Ecosistemas. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn, Alemania.
- GIZ. 2018. Finance options and instruments for Ecosystem-based Adaptation. Overview and compilation of ten examples. Authors: Kiran Hunzai, Thiago Chagas, Lieke 't Gilde, Tobias Hunzai, Nicole Krämer. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn.
- GIZ. 2019. Hacia una adaptación basada en ecosistemas con enfoque de género: ¿Por qué es necesaria y cómo conseguirla? Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. <https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2022/08/AbE-con-enfoque-de-genero.pdf>
- GIZ. 2020. Remote Sensing Data in Water Resources Monitoring. Part A: Orientation for Water Experts. As a part of the series “Digital Change in Water Resources Monitoring”.
- GIZ, EURAC & UNU-EHS. 2018: Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation – A guidebook for planners and practitioners. Bonn: GIZ.
- González, J. 2021. Guía de Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE) y Fondos de Agua. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua.
- Hernández-Blanco, M. 2020. Modelo general de un nuevo programa de pago por servicios ecosistémicos para Costa Rica. BIOFIN-PNUD. San José, Costa Rica.
- Hesch, Gunnar. 2020. Remote Sensing Data in Water Resources Monitoring. Part A: Orientation for Water Experts. GIZ.
- IPCC. 2014: Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014:



Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza

- IPCC. 2022. Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)
- Lhumeau, A., Cordero D. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN: Quito, Ecuador.
- Martínez, G., Drion, B., Gladstone, J., y Vidal, A. 2024. Soluciones basadas en la naturaleza para metas climáticas corporativas. Opiniones sobre el uso corporativo de soluciones basadas en la naturaleza para alcanzar metas de cero emisiones netas. Gland, Suiza: UICN.
- Martínez-Moscote, A. & Abril Ortiz, A. (2020). Las guardianas del agua y su participación en la gestión comunitaria de los recursos hídricos: Un análisis de la normativa ecuatoriana. FORO, Revista de Derecho, 34(4). <https://doi.org/10.32719/26312484.2020.34.4>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). 2023. Atlas Geográfico y Estadístico Ambiental y de los Recursos Hídricos. Primera ed. Quito - Ecuador.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). 2023. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador (2022 – 2027).
- Ministerio del Ambiente. 2019. Herramienta para la integración de criterios de Cambio Climático en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. 2012. Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025.
- Olaya Ospina, Edgar; Tosse Luna, Oscar Darío; [et al.]. 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes

de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Coordinador: Pineda González, Claudia Patricia. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2015. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Proyecto “Gestión Integrada de Recursos Hídricos de las Cuencas Transfronterizas y Acuíferos de Puyango-Tumbes, Catamayo-Chira y Zarumilla” (Proyecto GIRHT). (2020). Estrategia para la transversalización del enfoque de género en la gestión integrada de recursos hídricos: Estudio de caso: Proyecto GIRHT. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Quito, Ecuador.
- UNDP. 2024. Designing a Digital System to Enable Payment for Ecosystem Services (PES) at Scale – Taking a Digital Public Good (DPG) Approach to Enhance Nature and Climate Action. New York, New York.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2024. Martínez, G., Drion, B., Gladstone, J., y Vidal, A. Soluciones basadas en la naturaleza para metas climáticas corporativas: opiniones sobre el uso corporativo de soluciones basadas en la naturaleza para alcanzar metas de cero emisiones netas.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2020. El ABC de la Adaptación basada en Ecosistemas. Proyecto AVE (Adaptación, Vulnerabilidad y Ecosistemas).
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2016. Programa Intersesional 2016-2020. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCC-6th-001-Es.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP); Climate Technology Centre & Network (CTCN). 2023. Manual de Soluciones basadas en la Naturaleza. Asistencia Técnica para el diseño de soluciones basadas en la naturaleza con enfoque étnico y de equidad de género para aumentar la resiliencia de comunidades rurales de montaña en áreas naturales protegidas afectadas por episodios climáticos extremos. Honduras.







BANCO DE DESARROLLO DEL ECUADOR B.P.



ISBN: 978-9942-647-04-7

