Balance hidrológico de largo plazo para estimación de caudales medios usando SIG

(Long-term water balance)

https://github.com/

[1. Introducción y fundamentos generales 2](#_Toc107044000)

[1.1. Bienvenida, introducción general y objetivos 2](#_Toc107044001)

[1.2. ¿Qué es un balance hidrológico de largo plazo – LTWB? 2](#_Toc107044002)

[1.3. Utilidad y campo de aplicación de los LTWB en ingeniería 2](#_Toc107044003)

[1.4. Caso de estudio 2](#_Toc107044004)

[1.5. Requerimientos 2](#_Toc107044005)

[2. Descarga y procesamiento de modelos de terreno 2](#_Toc107044006)

[2.1. Creación de usuario NASA Earthdata 2](#_Toc107044007)

[2.2. Descarga de modelo digital de elevación - DEM - NASA ASTER GDEM v2, v3 (30m) 2](#_Toc107044008)

[2.3. Descarga de modelo digital de elevación - DEM - ALOS PALSAR (12.5m) 3](#_Toc107044009)

[2.4. Descarga de modelo digital de elevación - DEM - SRTM v3.0 1 arcsec (30m), SRTM v3.0 3 arcsec (90m) 3](#_Toc107044010)

[2.5. Creación, reproyección de mosaicos y visualización 3D 3](#_Toc107044011)

[2.6. Sombreado de colinas – Hillshade 3](#_Toc107044012)

[2.7. Descarga de GDB nacional del IGAC en escala 1:25.000 y fotorrestitución de redes de drenaje 3](#_Toc107044013)

[2.8. Relleno de sumideros – Fill Sinks – FIL 3](#_Toc107044014)

[2.9. Reacondicionamiento de terreno - DEM Reconditioning – AgreeDEM 3](#_Toc107044015)

[2.10. Direcciones de Flujo – Flow Direction – FDR 3](#_Toc107044016)

[3. Descarga, procesamiento y análisis de datos hidroclimatológicos 3](#_Toc107044017)

[3.1. Obtención de series de datos discretos climatológicos de estaciones terrestres 4](#_Toc107044018)

[3.2. Obtención de series de datos discretos climatológicos satelitales 4](#_Toc107044019)

[3.3. Representación gráfica de series 4](#_Toc107044020)

[3.4. Identificación y marcación de datos atípicos - outliers 4](#_Toc107044021)

[3.5. Completado y extendido de series 4](#_Toc107044022)

[3.6. Correlación de datos terrestres vs. datos remotos 4](#_Toc107044023)

[3.7. Análisis de cambio climático y segmentación de series 4](#_Toc107044024)

[4. Análisis espacial de variables climatológicas 4](#_Toc107044025)

[4.1. Interpolación espacial de variables climatológicas 4](#_Toc107044026)

[4.2. Mapa de evapotranspiración potencial - ETP 5](#_Toc107044027)

[4.3. Mapa de evapotranspiración real - ETR 5](#_Toc107044028)

[5. Balance hidrológico de largo plazo - LTWB 5](#_Toc107044029)

[5.1. Balance distribuido utilizando ArcGIS y QGIS 5](#_Toc107044030)

[5.2. Localización de puntos para lectura de caudales y áreas de aportación 5](#_Toc107044031)

[5.3. Obtención de caudales y áreas de aportación por puntos de localización 5](#_Toc107044032)

[5.4. Cálculo y creación del mapa de isorendimiento medio 6](#_Toc107044033)

[5.5. Balance hidrológico a partir de cuencas delimitadas 6](#_Toc107044034)

[6. Automatización de procesos geográficos 6](#_Toc107044035)

[6.1. Automatización a través de modeladores de procesos geográficos 6](#_Toc107044036)

[6.2 Automatización usando Python 6](#_Toc107044037)

[7. Modelos de pronóstico 6](#_Toc107044038)

[6.1. Modelos de correlación lineal múltiple 6](#_Toc107044039)

[6.2. Modelos de inteligencia artificial. 6](#_Toc107044040)

[Convenciones en este documento 6](#_Toc107044041)

[Referencias 6](#_Toc107044042)

# Introducción y fundamentos generales

Es este curso aprenderá a generar grillas de caudales medios acumulados distribuidos de largo plazo a partir de modelos de terreno y de grillas interpoladas de precipitación media y evaporación real utilizando sistemas de información geográfica.

## Bienvenida, introducción general y objetivos

En esta primera actividad se presenta una introducción general al curso y se definen los objetivos generales a desarrollar durante las clases y talleres del curso.

## ¿Qué es un balance hidrológico de largo plazo – LTWB?

Explicación general de la metodología para la realización de balances hidrológicos e identificación de información base requerida.

## Utilidad y campo de aplicación de los LTWB en ingeniería

En esta clase se listan algunas de las aplicaciones generales de los caudales medios de largo plazo en la realización de estudios de ingeniería y estudios ambientales.

## Caso de estudio

Definición de la zona de estudio para la aplicación de la metodología y el desarrollo de las diferentes actividades y talleres.

## Requerimientos

En esta actividad se listan los requerimientos académicos y computacionales para el desarrollo de las diferentes actividades del curso y se realiza la instalación y configuración de las herramientas requeridas.

# Descarga y procesamiento de modelos de terreno

## Creación de usuario NASA Earthdata

Para la descarga de los modelos de terreno y la información climatológica obtenida mediante sensores remotos, es necesaria la creación de una cuenta de usuario en el servidor EarthData de la NASA o Agencia Nacional de Aeronáutica y Administración Espacial de los Estados Unidos de América. Para la descarga de imágenes de modelos de terreno ASTER GDEM con resolución 12.5m, no es necesaria la creación de una cuenta independiente en el servidor Vertex de la Universidad de Alaska, se utiliza la misma cuenta del servicio EarthData.

## Descarga de modelo digital de elevación - DEM - NASA ASTER GDEM v2, v3 (30m)

Los sensores remotos japoneses Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer o ASTER, proveen imágenes de alta resolución del Planeta Tierra y las capturas están compuestos por 14 diferentes bandas del espectro electromagnético en el rango visible de la luz termal infrarroja. Las imágenes son capturadas en resoluciones entre 15 y 90 metros permitiendo crear mapas detallados de la temperatura y elevación de la tierra.

## Descarga de modelo digital de elevación - DEM - ALOS PALSAR (12.5m)

ALOS Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar, es uno de los instrumentos de observación avanzada de la superficie terrestre, que permite entre otros, obtener un modelo digital de la tierra en alta resolución.

## Descarga de modelo digital de elevación - DEM - SRTM v3.0 1 arcsec (30m), SRTM v3.0 3 arcsec (90m)

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), dispone de mapas topográficos de alta resolución para uso público desde el año 2015 y pueden ser utilizados para la creación de los mapas de dirección y acumulación de flujo.

## Creación, reproyección de mosaicos y visualización 3D

Luego de los procesos de obtención de las imágenes satelitales, es necesaria la construcción de un mosaico único a partir de las imágenes individuales obtenidas para cada modelo de terreno. El balance hidrológico de largo plazo podrá ser realizado utilizando diferentes modelos de terreno y permitirá comparar la oferta hídrica obtenida utilizando diferentes superficies.

## Sombreado de colinas – Hillshade

A través de la generación del Hillshade, se crea un mapa de relieve sombreado teniendo en cuenta el ángulo de la fuente de iluminación y sombras. Es utilizado frecuentemente para interpretar el relieve del terreno de una forma visualmente clara o como mapa base en la representación espacial de otros fenómenos.

## Descarga de GDB nacional del IGAC en escala 1:25.000 y fotorrestitución de redes de drenaje

Para los procesos de reacondicionamiento del modelo de terreno que garantice el flujo de todas las celdas del modelo hacia las celdas específicas de la red de drenaje, es necesaria la descarga y complementación de las líneas de drenaje pertenecientes a la zona de estudio.

## Relleno de sumideros – Fill Sinks – FIL

Cuando una celda se encuentra rodeada por celdas de mayor elevación la escorrentía es almacenada y no fluye, este procedimiento eleva estas celdas, utilizando como referencia los valores de altura en celdas laterales, garantizando que las celdas de la superficie del terreno drenen hacia una localización más baja.

## Reacondicionamiento de terreno - DEM Reconditioning – AgreeDEM

Para garantizar que la acumulación del flujo se realice sobre las celdas del modelo de terreno y por los cauces o drenajes obtenidos o digitalizados, es necesario reacondicionar el terreno incrustando los drenajes. Este procedimiento es especialmente requerido en zonas predominantemente planas o en zonas donde no puedan ser identificadas las celdas correspondientes a los drenajes.

## Direcciones de Flujo – Flow Direction – FDR

Esta grilla define la dirección de la máxima pendiente del terreno para cada celda utilizando el modelo FIL posteriormente reacondicionado y nombrado como AgreeDEM. Esta capa es utilizada para a través del algoritmo de acumulación, crear el mapa discreto de acumulación de celdas que convergen a una celda más baja.

# Descarga, procesamiento y análisis de datos hidroclimatológicos

## Obtención de series de datos discretos climatológicos de estaciones terrestres

Para la creación de los mapas requeridos para la realización del balance hidrológico, es necesario identificar y seleccionar el conjunto de estaciones que serán utilizadas para obtener las series de valores discretos de precipitación diaria total, temperatura y evaporación potencial.

## Obtención de series de datos discretos climatológicos satelitales

Para la validación o el contraste de información terrestre se pueden obtener datos satelitales de precipitación diaria total, temperatura y evapotranspiración sobre las localizaciones específicas de la red climatológica utilizada.

## Representación gráfica de series

Durante el proceso de revisión, validación y comprensión de los datos, es necesario utilizar diferentes técnicas gráficas que permitan identificar discontinuidades, cambios en el comportamiento temporal y en general revisar los paramétricos de cada serie.

## Identificación y marcación de datos atípicos - outliers

En esta actividad se obtienen los parámetros estadísticos de cada variable climatológica, se identifican y marcan los datos atípicos que luego serán ajustados o reemplazados por valores sintéticos obtenidos a través de métodos de completado o imputación.

## Completado y extendido de series

Este procedimiento se realiza a partir de la generación de datos sintéticos utilizando diferentes métodos estadísticos y espaciales y busca la conformación de series homogéneas y continuas para las diferentes variables en estudio.

## Correlación de datos terrestres vs. datos remotos

A partir de la información recopilada y validada para la red estaciones a utilizar en la zona de estudio y la conformación de series a partir de datos satelitales en las localizaciones específicas de la red, se correlacionan estos datos para evaluar si existe correspondencia y homogeneidad entre los datos terrestres y los obtenidos mediante sensores remotos.

## Análisis de cambio climático y segmentación de series

En esta actividad se realiza la identificación de años asociados a fenómenos climatológicos de Niño, Niña y Neutro; luego se estiman los estadísticos medios multianuales para cada fenómeno y se realiza la segmentación de las series para estudiar de forma compuesta la incidencia del cambio climático en diferentes épocas.

# Análisis espacial de variables climatológicas

Durante el proceso de conformación de información para el desarrollo del balance hidrológico, es necesaria la construcción de mapas continuos que representen espacialmente el comportamiento de las diferentes variables requeridas a nivel multianual.

## Interpolación espacial de variables climatológicas

En los procesos de interpolación de variables climatológicas a partir de la localización de estaciones terrestres y para los fenómenos asociados a cambio climático, se obtienen los siguientes mapas:

* Precipitación y Temperatura serie Compuesta completa.
* Precipitación y Temperatura serie Niño completa.
* Precipitación y Temperatura serie Niña completa.
* Precipitación y Temperatura serie Neutro completa.
* Precipitación y Temperatura serie Compuesta 1981-2000.
* Precipitación y Temperatura serie Compuesta 1981-2021.

## Mapa de evapotranspiración potencial - ETP

En esta actividad se evalúan las series terrestres de evaporación potencial obtenidas a partir de estaciones terrestres y se crean mapas interpolados a partir de métodos de regionalización como Cenicafé. Si bien, durante los procesos de recolección y análisis de información a partir de estaciones se obtienen series de evapotranspiración potencial, generalmente el número de estaciones y su localización no son suficientes para generar un mapa que cubra la totalidad de la zona de estudio.

## Mapa de evapotranspiración real - ETR

En esta actividad se presentan diferentes metodologías para la obtención de mapas de evapotranspiración real a partir de métodos de regionalización tales como:

* Budyco
* Turc
* Dekop

# Balance hidrológico de largo plazo - LTWB

## Balance distribuido utilizando ArcGIS y QGIS

Los balances hidrológicos de largo plazo pueden ser realizados en ArcGIS a través de la herramienta de acumulación de flujo de Spatial Analyst Tools del ArcToolBox. Para cada una de las celdas del mapa de direcciones de flujo o FDR, se calcula el número de celdas de drenaje convergentes a las cuales se les puede acumular el valor del potencial de escurrimiento de cada celda obtenido a partir de los valores de precipitación media y evapotranspiración real.

## Localización de puntos para lectura de caudales y áreas de aportación

Luego de la obtención de los mapas continuos de caudales medios de largo plazo para los diferentes fenómenos climatológicos estudiados, es necesaria la lectura de valores discretos de caudal y número de celdas acumuladas en diferentes localizaciones de la red de drenaje, tales como, puntos unión y puntos de interés como captaciones, vertimientos o concesiones.

## Obtención de caudales y áreas de aportación por puntos de localización

Una vez construida la red de puntos de lectura, se procede a realizar la estadística zonal o la extracción de valores de mapas ráster a nodos para la obtención de los caudales y celdas acumuladas para el cálculo de áreas de aportación.

## Cálculo y creación del mapa de isorendimiento medio

Utilizando los valores de caudal medio y área obtenida para los diferentes puntos de interés de la red de drenaje, se construye el mapa de isorendimientos medios y una función de regresión que permite estimar los caudales en función del área de aportación requerida aplicable a la zona de estudio.

## Balance hidrológico a partir de cuencas delimitadas

Cuando existen zonas delimitadas a partir de polígonos tales como cuencas hidrográficas, es posible estimar manualmente mediante estadísticos zonales, el balance hidrológico a partir de los valores de precipitación media y evapotranspiración real.

# Automatización de procesos geográficos

## Automatización a través de modeladores de procesos geográficos

Luego de la ejecución de diferentes geo-procesos durante el desarrollo del balance hidrológico, se pueden identificar diferentes etapas que pueden ser automatizadas mediante modeladores de procesos, simplificando su aplicación en otros casos de estudio.

## 6.2 Automatización usando Python

Los procesos de descarga de información, análisis de series, aplicación de algoritmos para identificación de valores atípicos, completado o imputación, extensión de series y análisis estadístico descriptivo, puede ser automatizado a través de la implementación de scripts en Python.

# 7. Modelos de pronóstico

## 6.1. Modelos de correlación lineal múltiple

A través del conocimiento adquirido en los diferentes procesos realizados para la obtención de los mapas de balance y el estudio de las series utilizadas, se puede evidenciar la correlación entre las variables y los fenómenos evaluados, permitiendo entender su dinámica para la implementación de un modelo de pronóstico.

## 6.2. Modelos de inteligencia artificial.

Utilizando técnicas de inteligencia artificial para el análisis de series, implementar modelos que permitan realizar el pronóstico de las variables estudiadas para su posterior utilización en la realización de balances hidrológicos.

# Convenciones en este documento

[v] Clase en video.

# Referencias

* Evapotranspiración a partir de información satelital: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/mod16.php>

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Gestor | Nombre | Fecha (aaaa.mm.dd) |
| Elaboró | William Ricardo Aguilar Piña  [william.aguilar@escuelaing.edu.co](mailto:william.aguilar@escuelaing.edu.co)  Centro de Estudios Hidráulicos  Profesor asistente | 2022.06.24 |
| Revisó |  |  |
| Aprobó | Héctor Alfonso Rodríguez Díaz  [alfonso.rodríguez@escuelaing.edu.co](mailto:alfonso.rodríguez@escuelaing.edu.co)  Centro de Estudios Hidráulicos  Director |  |