# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

# UNIDAD CC: CAMBIO CLIMÁTICO, EL FENÓMENO EL NIÑO (ENSO) Y EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS

## ACTIVIDAD 3.2 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES QUE PODRÍAN LLEGAR A REGISTRAR EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS.

## LECTURA DE UN DOCUMENTO

*"El fenómeno Niño ya está firmemente establecido y se intensificará hasta convertirse en un episodio muy fuerte durante los próximos meses, aumentando el riesgo de inundaciones, sequías y calor extremo en distintas partes del planeta, advirtió la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Los pronósticos muestran una probabilidad cercana al 100% de que el fenómeno persista hasta febrero de 2027, un nivel de certeza sin precedentes en las actualizaciones de la agencia.*

*Las aguas excepcionalmente cálidas del Pacífico tropical están alimentando el fenómeno, que previsiblemente seguirá fortaleciéndose hasta alcanzar su máxima intensidad hacia finales de 2026, aunque sus repercusiones climáticas continuarán bien entrado 2027. Un episodio de esta magnitud puede provocar cambios importantes en los patrones de precipitaciones y temperaturas y en la circulación atmosférica, con consecuencias potenciales para la agricultura, la salud, la energía, los recursos hídricos y la gestión de desastres " . El articulo completo se encuentra en este link https://news.un.org/es/story/2026/09/1541857*

### 1.1. Como contribuimos desde nuestra profesión ante este fenómeno ?

#### Propósito y Objetivo:

Nuestro propósito es contribuir **a la identificación de los sectores de la Quebrada de Humahuaca susceptibles de verse afectados por procesos de remoción en masa y crecidas súbitas durante eventos hidroclimáticos extremos**, y que los estudiantes aprendan a aplicar el procedimiento mediante el uso de nuevas tecnologías geoespaciales, como GEE.

#### Marco conceptual:

- **Susceptibilidad:** predisposición del terreno a un proceso según sus condiciones propias (relieve, suelo, cobertura, posición en la cuenca). Indica dónde, no cuándo.
- **Peligrosidad:** susceptibilidad más el disparador que puede ser un evento de precipitaciones intensas.
- **Riesgo:** peligrosidad × exposición × vulnerabilidad.

Con GEE y las capas propias se llega a la susceptibilidad. Para hablar de probabilidad hace falta un inventario de eventos.

## 1.2. Insumos necesarios a partir de disponer de una cuenta activa en GEE

- **Archivos vectoriales** (Shapefile): Límite de la cuenca de la Quebrada de Humahuaca y Red de drenajes. (Disponibles en el aula virtual)
- Modelo Digital de Elevación (SRTM a 30m o ALOS PALSAR a 12.5m, **disponibles en el catálogo de GEE**).

- Deben s**ubir solo dos capas**. Todo lo demás (elevación, lluvia, vegetación, HAND) ya se encuentra en el catálogo de GEE.

| Capa | Geometría | Contenido mínimo |
|---|---|---|
| **Cuencas** | **Polígonos** | Una entidad por cuenca o subcuenca, con un campo id o nombre |
| **Red de drenaje** | **Líneas** | Cauces de la misma área y una escala parecida |

✓ **Requisitos de formato:** Shapefile en .zip, que contenga los archivos .shp, .shx, .dbf y .prj

✓ **En WGS84 (EPSG:4326).** Si disponen de las capas en otros sistemas **DEBEN** reproyectar.

✓ **Nombres en minúsculas, sin acentos, sin ñ y sin espacios**, por ejemplo cuencas_grupo1

✓ **Geometrías** corregidas y sin coordenada Z**.**

✓ **Capas coherentes entre sí:** si la red de drenaje está a otra escala que las cuencas, la densidad de drenaje no se puede comparar entre cuencas.

✓ **Área acotada:** una cuenca es lo recomendable

## 1.3. Insumos propios de GEE

✓ Copernicus DEM GLO-30 (pendiente, morfometría).

✓ MERIT Hydro v1.0.1 (área de aporte upa, HAND hnd, TWI).

✓ CHIRPS diario 1991–2020 (Rx1day medio).

✓ Sentinel-2 SR 2024–2025 (NDVI mediano).

# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

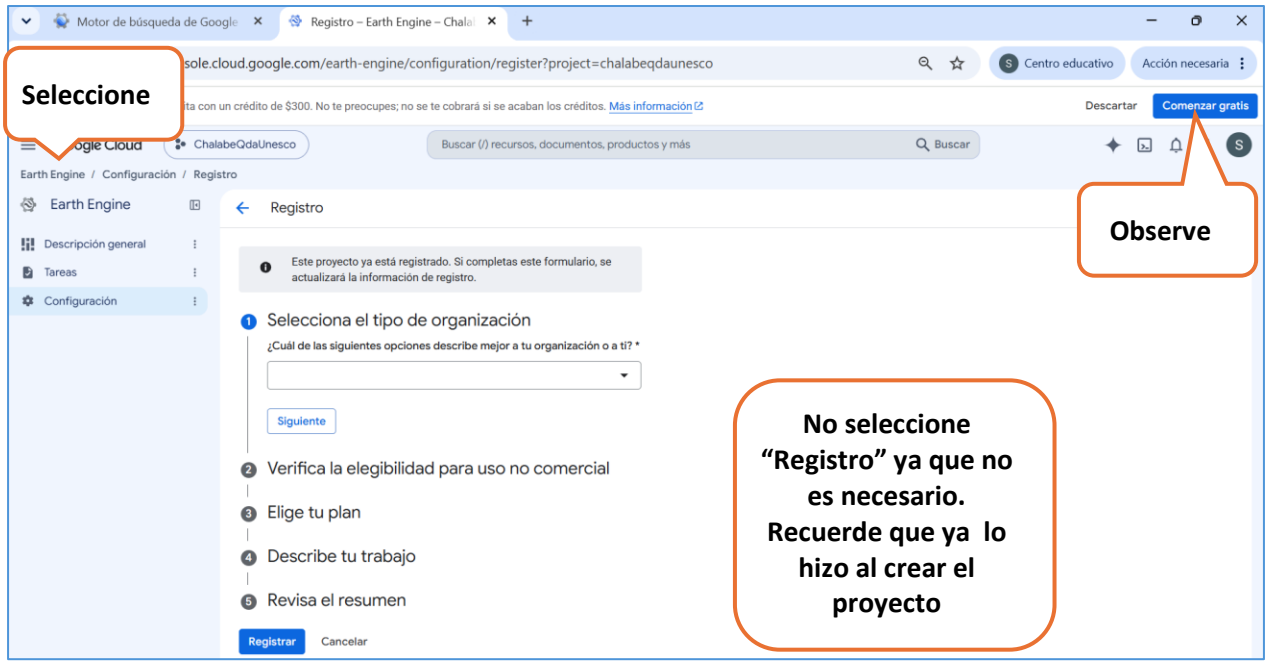
Facultad de Ingeniería

## SI HA GENERADO SU PROYECTO (GUÍA 1) SIGA ESTOS PASOS PREVIOS PARA COMENZAR A TRABAJAR EN LA APLICACIÓN

**Condición: Debe estar en el perfil de Google que corresponde al correo donde registró su cuenta de GEE**




**Se abre esta página:**




Está en condiciones de comenzar...

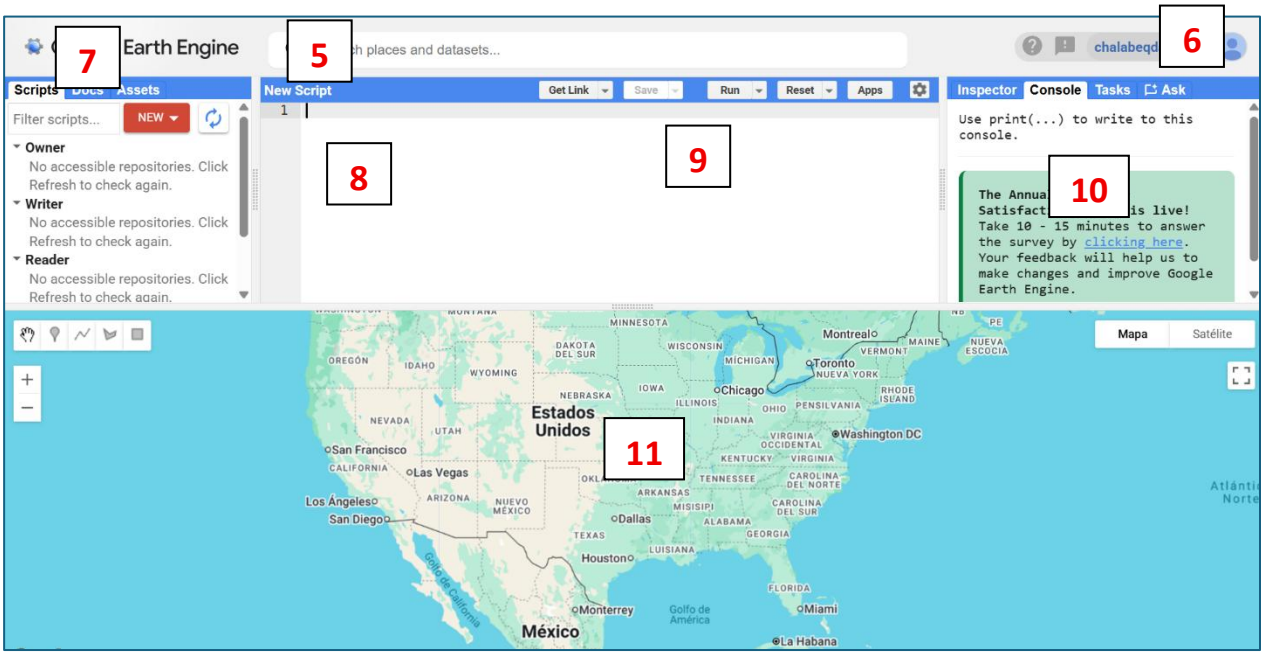
# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

## PASO 1: RECONOCER EL ENTORNO DE TRABAJO




1. **Compruebe** que se encuentra en la sesión de Google que corresponde al correo con el cual se registró.
2. En el selector de proyecto debe **elegir** su proyecto. En este caso se ubica por defecto.
3. Esta comenzando a trabajar con GEE, lea la pagina de bienvenida para identificar claramente para que sirve esta herramienta.
4. Seleccione el **editor** de código para comenzar a trabajar. Se abre otra ventana de trabajo.



# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

**Code Editor de Google Earth Engine** se compone de **4** paneles y **1** barra de herramientas superior:

## Barra Superior (Barra de Búsqueda)

5. **Buscador de lugares y datos (`Search places and datasets...`):**Permite localizar regiones geográficas en el mapa o buscar y agregar conjuntos de datos del catálogo espacial (imágenes Sentinel, Landsat, datos climáticos, elevación, etc.).
6. **Menú de usuario y ayuda:** Ubicado a la derecha, incluye el perfil de la cuenta activa, botones de retroalimentación y acceso a la ayuda.

## Panel Izquierdo (Gestor de Proyectos y Documentación)

7. **Scripts:** Organiza y administra tus archivos de código. Se divide en scripts propios (*Owner*), compartidos con permisos de edición (*Writer*) o solo de lectura (*Reader*), además de dar acceso a scripts de ejemplo.

   **Docs**: Lista completa con la documentación oficial de las funciones, clases y métodos de la API de JavaScript de Earth Engine para su consulta rápida.

   **Assets**: Gestión de recursos personales cargados a tu cuenta.

## Panel Central (Editor de Código)

8. **Área de desarrollo:** Espacio para escribir **los scripts**, modificar y depurar código.
9. **En la barra de acciones** encontramos que podemos realizar:

   **Get Link:** Genera un enlace ejecutable para compartir la versión actual del código.

   **Save:** Guarda los cambios en el script activo.

   **Run:** Ejecuta el código escrito y renderiza las capas o análisis en el mapa y la consola.

   **Reset:** Limpia el área de trabajo o reinicia el entorno de ejecución.

   **Apps:** Permite publicar la visualización como una aplicación web interactiva independiente.

## Panel Derecho:

10. **Depuración y Salida o exportación de resultados**

    **Inspector:** Al activar esta pestaña y hacer clic sobre cualquier punto del mapa, muestra la información de los píxeles, bandas y metadatos de las capas en esa coordenada.

    **Console:** Muestra la salida de texto, valores numéricos, gráficos o listas generadas mediante el comando `print()`, así como los errores de sintaxis o ejecución.

    **Tasks:** Monitorea y ejecuta tareas complejas de procesamiento de larga duración, como la exportación de imágenes o tablas hacia Google Drive o Google Cloud Storage.

    **Ask:** Pestaña de asistencia para acceder a la comunidad de desarrolladores y soporte tec.

**11.** **Panel Inferior (Visor de Mapa)**

**Mapa interactivo:** Despliega el resultado de los scripts y las capas generadas sobre el motor cartográfico de Google Maps.

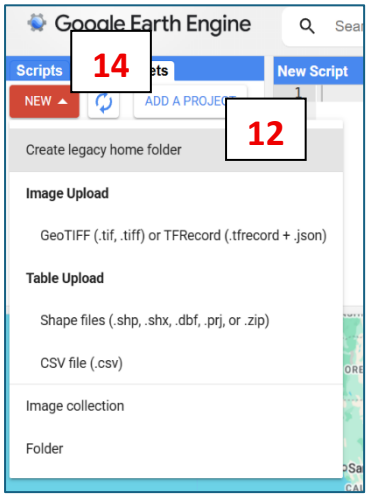
**Herramientas de geometría (esquina superior izquierda del mapa):** Botones para dibujar puntos, líneas, polígonos o rectángulos. Al dibujar una forma, esta se convierte automáticamente en una variable vectorial de entrada dentro del código.

**Controles del visor:** Permite alternar entre capa de *Mapa* y *Satélite*, usar los botones de zoom (`+` / `-`) y ampliar el mapa a pantalla completa.

## PASO 2: CARGA DE DATOS (ASSETS)

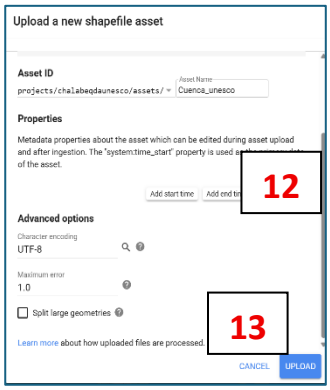
En recursos necesarios se indicó que es recomendable disponer de shapefiles propios y estos es mejor que estén comprimidos (zip)

### Subir a la nube:



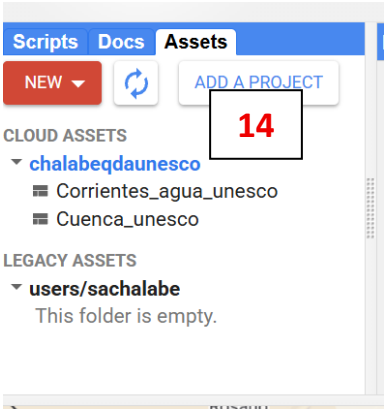

En el **Code Editor de GEE**, ir a la pestaña **Assets** que gestiona los recursos personales cargados a la cuenta.

**12.** Dispone de varios formatos disponibles y al seleccionar, en este caso shp, se despliega otra ventana, se debe subir uno por vez. El archivos zip que se ha subido es “Cuenca_unesco)




**13.** Accione upload para que el archivo suba a la nube GEE

**14.** Refresque la vista y observe que el archivo se ha subido correctamente.




**Repita el procedimiento para subir los archivos necesarios, en este caso, cuenca y la red de drenaje.**

**Ya dispone de la información necesaria para analizar en función del modelo digital de elevación.**

# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

## PASO 3: SUSCEPTIBILIDAD, PELIGROSIDAD Y RIESGO

Antes de continuar, revisemos algunos conceptos

- **Susceptibilidad:** qué tan predispuesto está el terreno a que ocurra un proceso, según sus condiciones propias (relieve, suelo, cobertura, posición en la cuenca). **Indica *dónde* puede pasar, no *cuándo*. (Factores condicionantes)**
- **Peligrosidad:** la susceptibilidad más un evento como una lluvia intensa de cierto período de retorno, con una probabilidad en el tiempo. **(Factor desencadenante).**

  En este caso, para estimar la probabilidad de ocurrencia mencionada en el artículo que da origen a esta clase, sería necesario contar con un inventario de eventos que registre su frecuencia y los lugares donde se produjeron aluviones o anegamientos.
- **Riesgo:** la peligrosidad multiplicada por lo expuesto y su vulnerabilidad (población, infraestructura).

Asimismo, podemos diferenciar:

| | **Procesos aluvionales (crecidas repentinas, flujos de detritos)** | **Anegamientos** |
|---|---|---|
| **Dónde** | Cuencas de montaña, conos y abanicos aluviales, quebradas. | Llanuras, fondos de valle, zonas deprimidas y de pendiente muy baja |
| **Mecanismo** | Escorrentía rápida por lluvia intensa y corta sobre pendientes fuertes con poca vegetación; se moviliza sedimentos aluvionales | Se acumula agua porque drena mal: poca pendiente, napa cerca de la superficie, suelos poco permeables |

**Pregunta 1:**

**Podemos diferenciar, no necesariamente utilizando GEE zonas susceptibles a la erosión?**

## PASO 4: QUE VAMOS A CALCULAR CON GEE

Para evaluar la susceptibilidad a la erosión en una cuenca hidrográfica o clasificar según su prioridad de conservación, un script de geoprocesamiento extrae parámetros morfométricos a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM).

En cuencas de montaña o piedemonte con pendientes pronunciadas —donde la dinámica torrencial, las crecidas repentinas y los procesos de remoción en masa (como flujos de detritos) son amenazas latentes—, este tipo de análisis hidrogeomorfológico es fundamental para la gestión del riesgo.

# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

El **script que luego utilizaremos automatiza el cálculo de tres categorías de parámetros morfométricos que inciden** directamente en la **energía cinética del agua y la capacidad erosiva**:

a) **Parámetros de la Red de Drenaje (Aspectos Lineales)**

   Controlan cómo el agua escurre y se concentra.

   **Densidad de Drenaje (Dd):** Es la longitud total de los cauces dividida por el área de la cuenca. Un valor alto de Dd indica escorrentía superficial rápida, baja infiltración y, por ende, alta susceptibilidad a la erosión.

   **Frecuencia de Cauces (Fs):** Número de cauces por unidad de área. Al igual que la densidad, una alta frecuencia suele asociarse a sustratos impermeables o rocosos, menor vegetación y mayor potencial erosivo.

   **Relación de Bifurcación (Rb):** Mide el grado de ramificación de la red. Valores anómalos o muy altos suelen indicar un fuerte control estructural (fallas, fracturas). Cuanto mayor es el escurrimiento directo sin retención, mayor es la capacidad de arranque de sedimentos.

b) **Parámetros de Forma (Aspectos Areales)**

   Determinan el "tiempo de concentración", es decir, cuánto tarda el agua en llegar desde el punto más lejano hasta la desembocadura.

   **Relación de Circularidad (Rc) y Factor de Forma (Rf):** Las cuencas más circulares (valores de Rc cercanos a 1 o Rf altos) concentran el volumen de agua de las precipitaciones casi al mismo tiempo en el cauce principal, generando picos de caudal (hidrogramas) agudos y muy destructivos. A mayor circularidad, mayor susceptibilidad erosiva.

   **Índice de Alargamiento (Re):** Las cuencas alargadas tienen tiempos de concentración mayores, lo que aplana el pico de crecida y reduce la energía erosiva general del flujo principal.

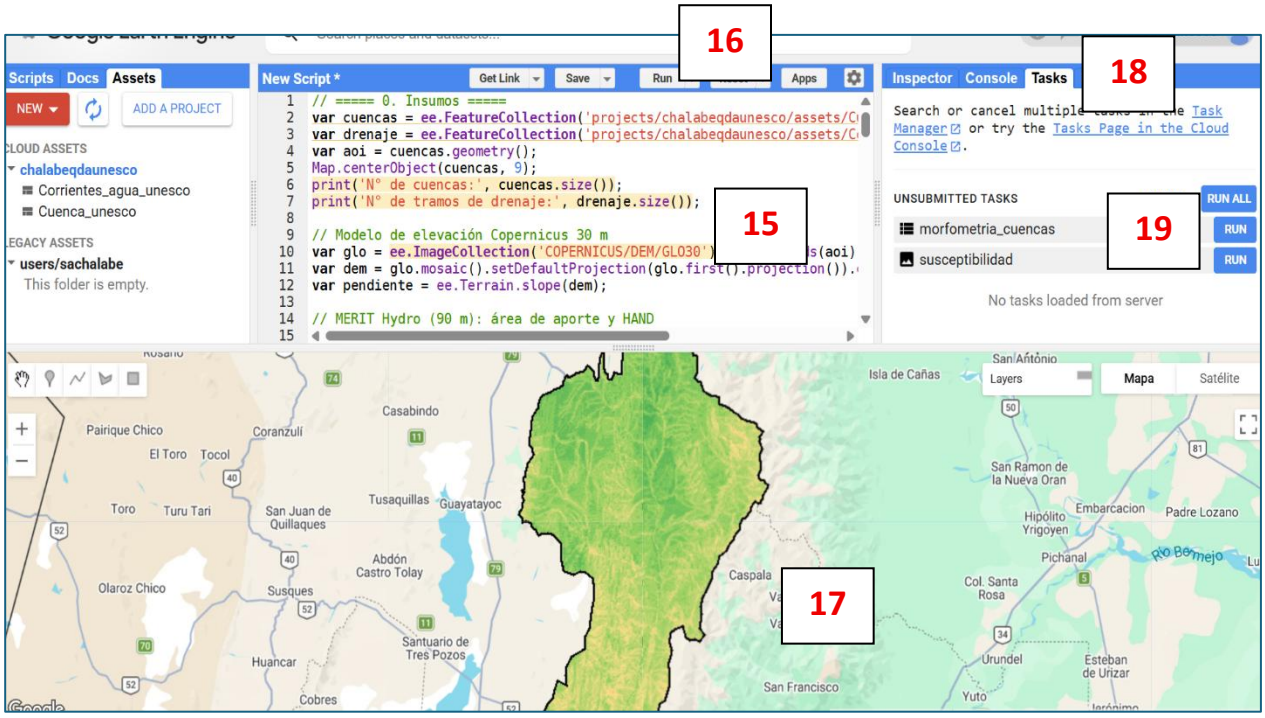
c) **Parámetros de Relieve:**

   Están directamente vinculados a la energía potencial y cinética del flujo hídrico.

   **Relación de Relieve (Rh) y Número de Rugosidad (Rn): Relacionan** el desnivel máximo de la cuenca con su longitud o su densidad de drenaje. Valores altos (típicos de relieves accidentados y montañosos) implican pendientes fuertes, flujos veloces y máximo poder de arrastre de sedimentos y bloques.

**Índices morfométricos : Investigar que índice propone utilizar GEE- Lea el SCRIPT**

## PASO 5: SCRIPT PARA EL CÁLCULO CON GEE




**15.** Corresponde al panel central donde se escriben y editan los scripts en el lenguaje JavaScript. En este ejemplo, el área muestra la definición de variables e insumos, como colecciones de características de cuencas y la carga de un modelo de elevación digital (DEM Copernicus).

**16.** **"Run":** Es el botón principal de ejecución ubicado en la barra superior del editor. Al presionarlo, el motor de Google Earth Engine procesa y ejecuta las líneas de código del panel central.

**17.** **Visor de Mapa interactivo:** Es el panel inferior diseñado para la visualización espacial de los resultados del script. En la captura se observa una capa vectorial (el polígono verde) renderizada sobre el mapa base, permitiendo interactuar con la vista mediante zoom y paneo.

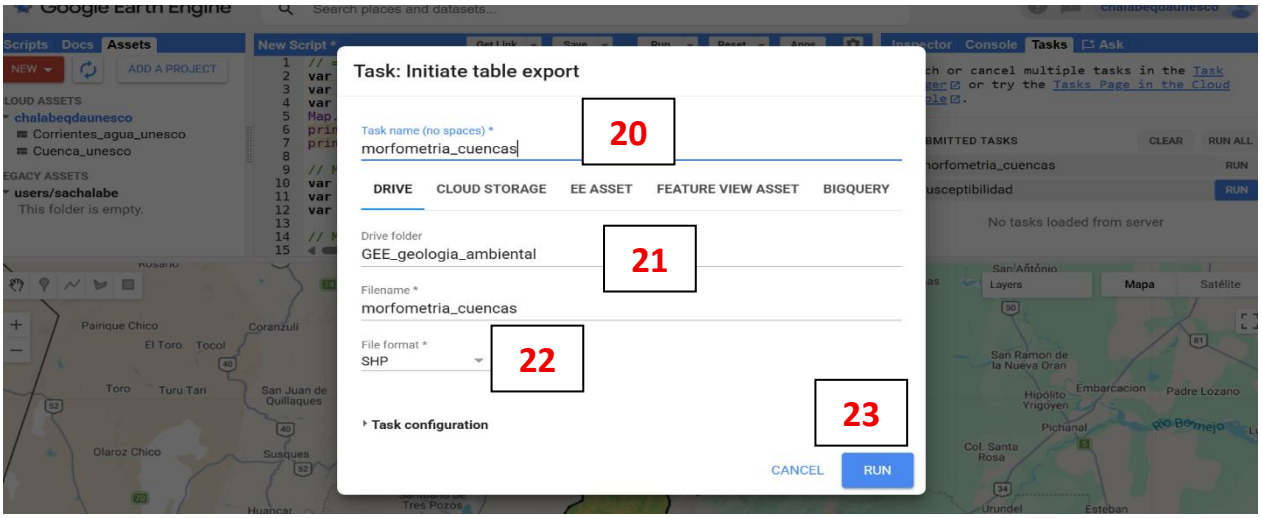
**18.** **"Tasks" o Tareas:** Ubicada en el panel derecho, es la sección encargada de gestionar los procesos de larga duración y las exportaciones de datos. Desde aquí se administran los envíos de información hacia Google Drive, Google Cloud Storage o a la sección de Assets.

**19.** **Tareas no enviadas / Unsubmitted Tasks:** Señala los procesos de exportación específicos (en este caso, "morfometria_cuencas" y "susceptibilidad") que el script ha generado pero que aún no han comenzado.

Es necesario hacer clic en el botón azul **"RUN"** contiguo a cada uno para abrir el cuadro de diálogo de configuración final e iniciar la tarea de exportación. En la imagen siguiente se observa la ventana que se abre.

# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería

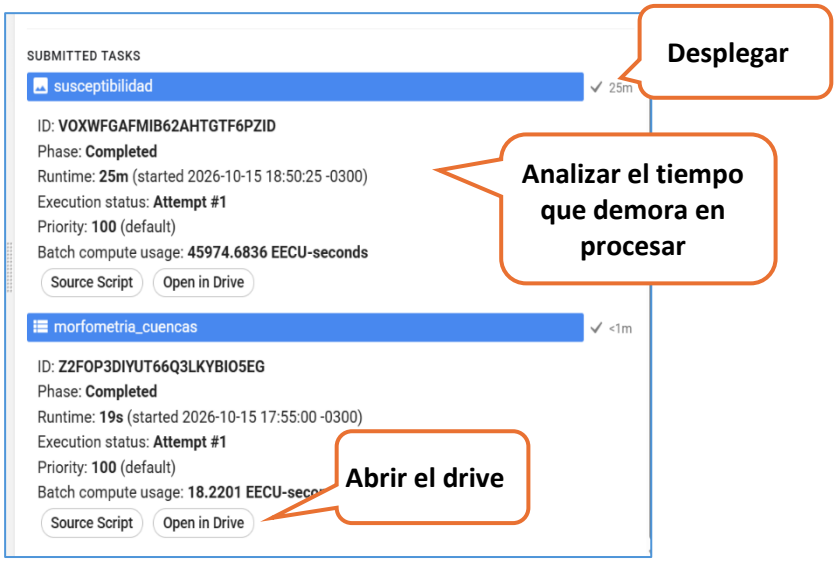



**20.** **Nombre de la tarea / Task name:** Corresponde al campo donde se define un nombre identificatorio para el proceso de exportación. Este nombre servirá para hacerle seguimiento en la pestaña "Tasks" y tiene como **requisito estricto no contener espacios en blanco.** En la imagen, se le asignó el nombre "morfometria_cuencas".

**21.** **Carpeta de destino / Drive folder:** Señala el campo donde se especifica el nombre de la carpeta de Google Drive en la que se guardarán los resultados

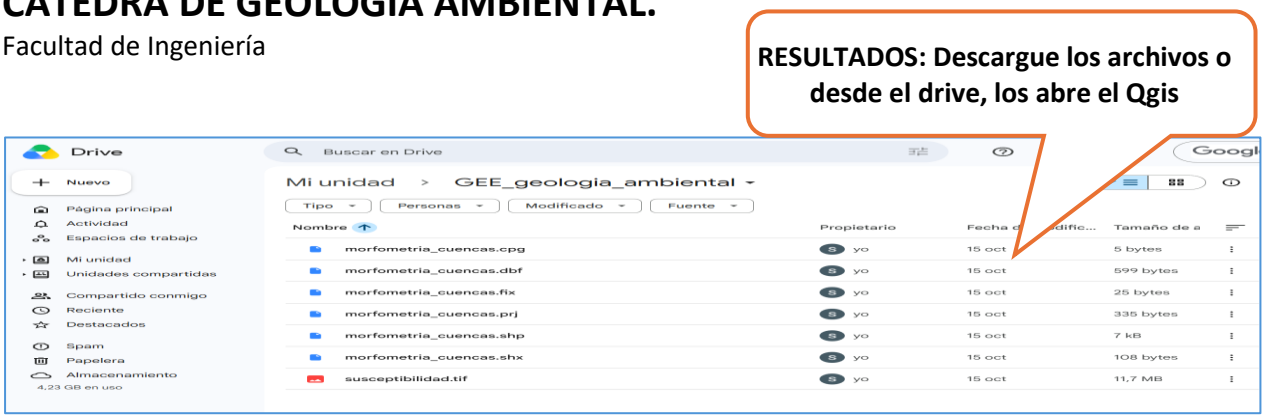
**22.** **Formato de archivo / File format:** Es el menú desplegable que permite seleccionar la extensión o formato del archivo de salida. En el ejemplo se ha seleccionado "SHP", que corresponde a un archivo Shapefile,

**23.** **Botón Run:** Indica el botón de **confirmación final** ("RUN") Al presionarlo, se aprueban los parámetros configurados y la tarea se envía a los servidores de Google Earth Engine para que comience la **exportación real de los datos.**

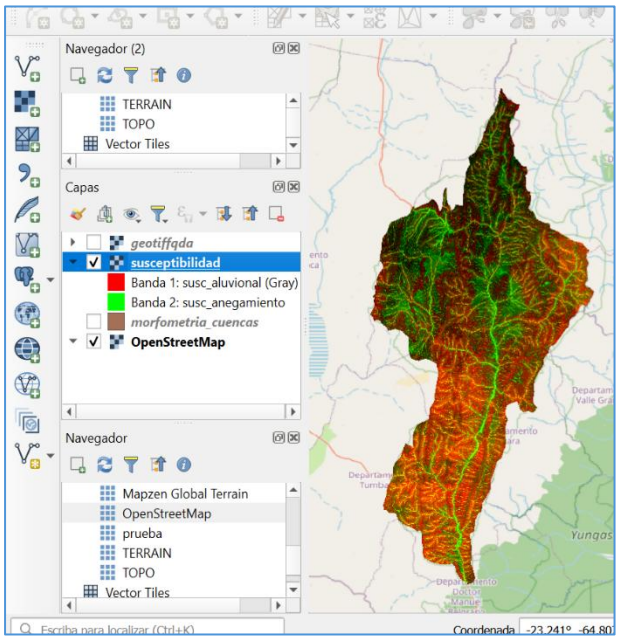


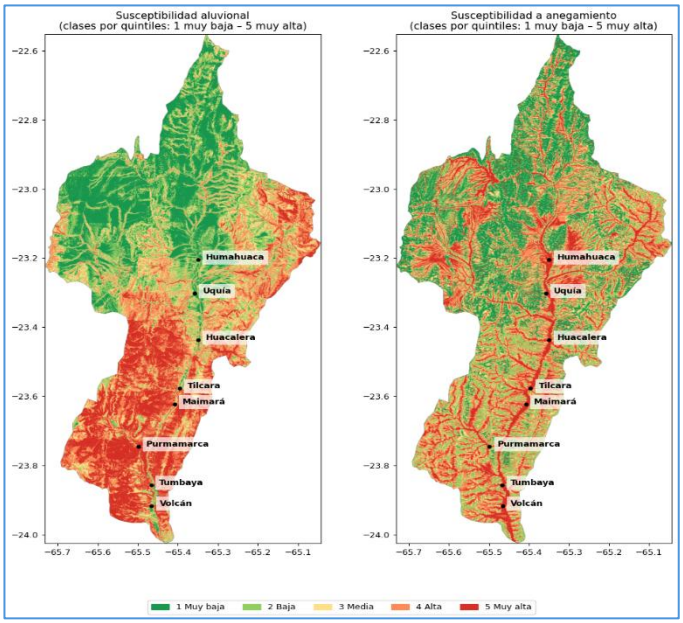
# CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería




## RESULTADO:




Consulte la guía de buenas prácticas en “Símbolos en una capa raster” disponible en el aula virtual

## 1RAS CONCLUSIONES

Los dos mapas son complementarios:

- El mapa de susceptibilidad aluvional indica dónde se generan los procesos: cabeceras y laderas de mayor pendiente, escasa cobertura vegetal y mayor lluvia máxima diaria. La susceptibilidad aumenta claramente hacia el sur de la cuenca (Huacalera–Volcán) y en el flanco oriental.

- El mapa de susceptibilidad a anegamiento indica por dónde circulan y se depositan el agua y los sedimentos: el fondo de valle del río Grande, los cauces de las quebradas laterales y los conos de deyección. En la Quebrada, más que anegamiento en sentido estricto, representa las zonas de tránsito y acumulación de los flujos.

- Las zonas más críticas surgen de la lectura conjunta: son los conos y fondos de valle que reciben el aporte de cuencas con alta susceptibilidad aluvional. Es allí donde se asientan las localidades de Purmamarca, Maimará, Tumbaya, Volcán entre otras.

- Los resultados son relativos y orientativos. Las clases se definieron por quintiles, es decir, comparan sectores dentro de esta cuenca. Además, describen la predisposición del relieve y su interacción con la red de drenaje, no la probabilidad de ocurrencia de un evento.

- Para obtener resultados que puedan usarse como insumo en planes de prevención o mitigación, sería necesario:

    - trabajar a escala de subcuenca, con una red de drenaje de mayor detalle;

    - contar con un modelo de elevación de mayor resolución y con datos de lluvia de estaciones locales;

    - validar el modelo con un inventario de eventos registrados.

**Éxitos con la aplicación de esta guía, se dispone del scrpt en el archivo adjunto.**