



NASCA HBD SIMA Development Award F103363
ARCT070116-SavingGreatRivers

Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL



THE NATURE CONSERVANCY – COLOMBIA

Producto E.1

MANUAL DE USUARIO

CONTRATO NASCA 00047/2018

DESARROLLAR UN CONJUNTO DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS QUE PERMITAN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN VECTORIAL, RÁSTER Y ALFANUMÉRICA, ORIENTADAS A REALIZAR LOS ANÁLISIS, DE MANERA AUTOMATIZADA, PARA LA DEFINICIÓN DE UNIDADES TIPOLOGICAS TRAMO LADERA ASOCIADAS A LOS CUERPOS DE AGUA LÓTICOS DE COLOMBIA, ASÍ COMO EL CÁLCULO DE FACTORES DE COMPENSACIÓN DE ECOSISTEMAS DULCEACUÍCOLAS

“NASCA HBD SIMA Development Award F103363 ARCT070116-SavingGreatRivers”

Presentado por:

John Alexander Chavarro Díaz, I.A., M.Sc.

VERSIÓN 1.0

Fecha: agosto de 2018



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento se refiere al producto E.1 Manual de Usuario de la herramienta informática para la estimación de los factores de compensación en ecosistemas de agua dulce por pérdida de biodiversidad para proyectos que requieren de licenciamiento ambiental desarrollado por Grupo HTM, Gotta Ingeniería y The Nature Conservancy. La herramienta desarrollada sigue en gran medida el documento Anexo A: Técnico y Metodológico (Grupo HTM, Gotta Ingeniería Ltda., & TNC, 2017). El objetivo de la herramienta es la estimación de cuánto compensar por pérdida de biodiversidad en ecosistemas de agua dulce y se basa en el cálculo de la extensión de los ecosistemas impactados, tanto por efecto en la superposición con la actividad del proyecto, como los ecosistemas interconectados a través del flujo hídrico. Esta extensión debe calcularse de acuerdo con las características físicas y biológicas de los ecosistemas dulceacuícolas que son afectados por la actividad, de esta manera las afectaciones sobre los ecosistemas en el corredor fluvial se deben calcular en extensión lineal, mientras que las afectaciones sobre ecosistemas de áreas inundables se calcularán en superficie. Como mínimo, las compensaciones por pérdida de biodiversidad deben ser proporcionales a la magnitud de los impactos residuales del proyecto a licenciar y lo ideal es entregar resultados que aseguren al menos la no pérdida neta de biodiversidad. Para lograr esto, se calcula la extensión final a compensar a partir del producto entre el área de ecosistema léntico o longitud de tramo impactado por factores, o multiplicadores de compensación. Los factores de compensación actúan como un mecanismo para obtener una estimación de aproximación por compensación al sostenimiento de la no pérdida neta de biodiversidad a partir de un procedimiento que evalúa integralmente componentes abióticos y bióticos. Los ecosistemas dulceacuícolas por su misma complejidad, carácter dinámico e interacción con procesos hidroclimáticos, incluso con los mismos ecosistemas terrestre y ecotónicos, resultan en muchos casos difíciles de abordar desde los aspectos más claves de su estructura; composición, procesos y funcionalidad, por lo cual la compensación se justifica en la existencia de incertidumbre sobre la no-pérdida neta de biodiversidad de los ecosistemas afectados por la actividad (Grupo HTM et al., 2017). El esquema general de la metodología en su mayoría implementada se presenta en la figura a continuación.

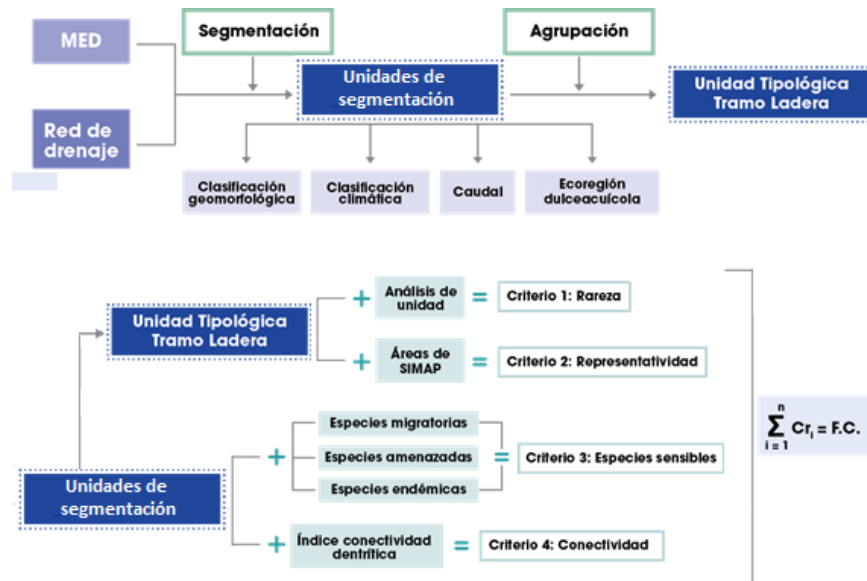


Figura 1. Esquema metodológico para la determinación final de los factores de compensación.

Fuente: (Grupo HTM et al., 2017)

La automatización de la metodología fue desarrollada en la plataforma ArcGIS de ESRI para las versiones 10.4 o superiores mediante la construcción de las ampliamente conocidas cajas de herramientas (ToolBoxes). El esquema anterior fue acoplado para elaborar el diagrama de flujo de la herramienta informática como se muestra a continuación. Estratégicamente la herramienta ha sido dividida en tres hitos: i) segmentación, ii) caracterización y iii) estimación de factores de



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

compensación. La primera fase de segmentación corresponde a la delimitación de las unidades tipológicas tramo-ladera (en adelante UTTL). El segundo hito realiza la caracterización biofísica de dichas unidades UTTL delimitadas anteriormente y las agrupa en categorías similares de acuerdo con los atributos seleccionados. De acuerdo con la metodología al momento las unidades son en base a elementos geomorfológicos, hidrológicos y climatológicos como se detalla en el manual (Grupo HTM et al., 2017). Sin embargo, la herramienta esta en capacidad de agregar cualquier atributo y asignarlo a la respectiva UTTL desde fuentes o capas vectoriales y/o matriciales. Por último, la herramienta estima el factor de compensación para cada UTTL en base a los criterios de rareza, especies sensibles, índice de conectividad dendrítica y representatividad en una escala que puede variar entre 1 a 10.

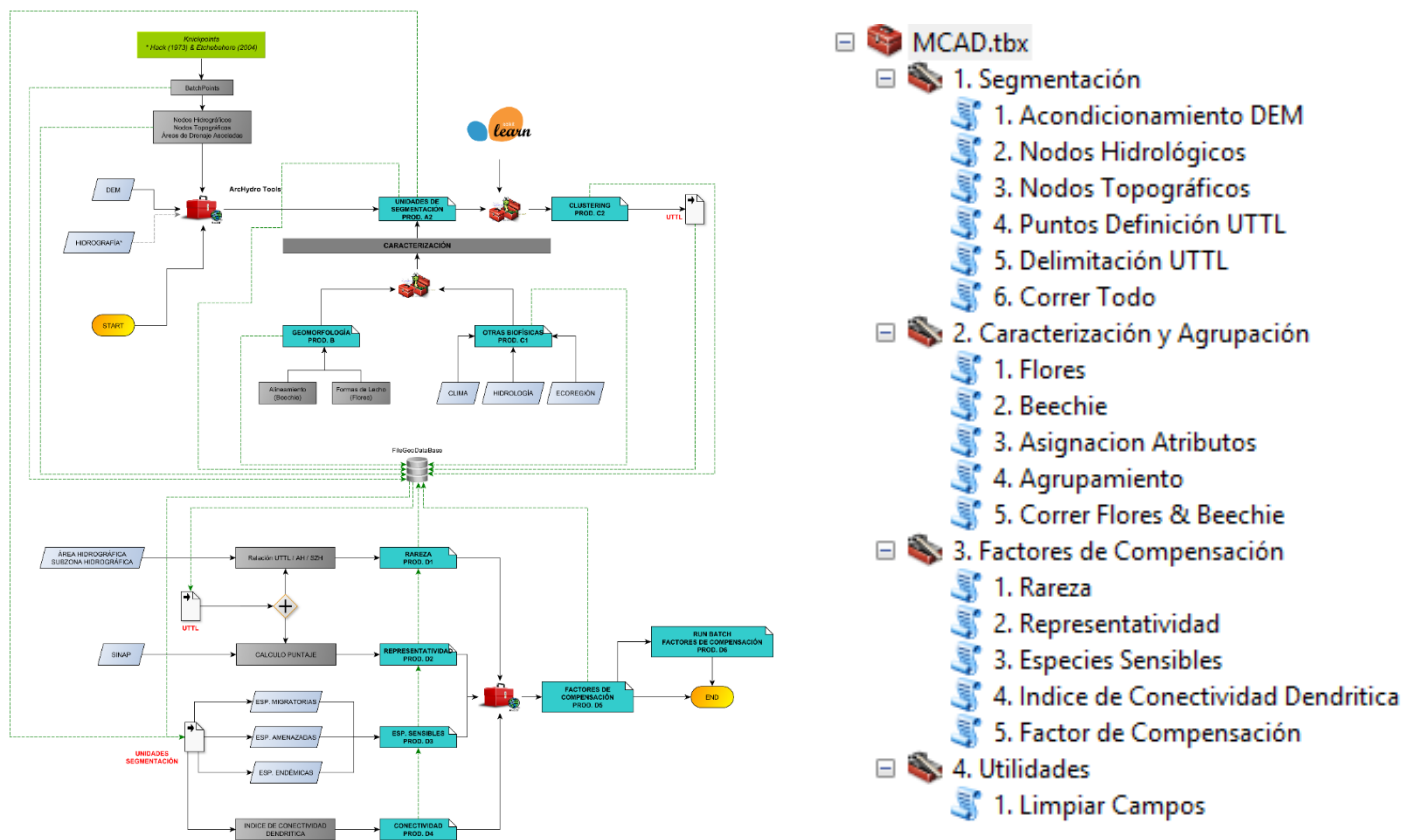


Figura 2. A la izquierda, Diagrama de flujo del desarrollo de la caja de herramientas MCAD. Los recuadros en azul representan hitos en el flujo del proyecto y corresponden a productos parciales del MCAD. El producto D.6 al final del flujograma es una rutina que genera el mapa de factor de compensación en rutinas secuenciales al final de cada componente. A la derecha, estructura jerárquica de la herramienta bajo los tres (3) hitos metodológicos.

De esta manera, la herramienta MCAD.tbx contiene tres (3) cajas de herramientas denominadas de forma similar a los hitos metodológicos descritos, los cuales a su vez contienen rutinas específicas que serán descritas en el desarrollo de este manual de usuario. Adicionalmente, se ha incluido una cuarta caja de herramienta que contiene algunas utilidades en el marco de ejecución de la herramienta.

2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE, HARDWARE Y RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN

Para la correcta ejecución de las rutinas de la herramienta MCAD se requiere del siguiente software:

- Windows 7 SP1 o superior, Windows 8 o superior en cualquier versión Home Edition o Professional,
- Antes de instalar ArcGIS for Desktop o ArcGis Desktop, debe tener instalado .NET Framework 4.5 o superior,



- Requisito de Internet Explorer: Microsoft Internet Explorer (IE 9 como mínimo) debe estar instalado antes de instalar ArcGIS for Desktop o ArcGIS Desktop. Se admite Internet Explorer 9, 10 y 11.
- ArcGIS for Desktop o ArcGIS Desktop 10.4 o superior,
- Licencia para el uso de Spatial Analyst Tools,
- ArcHydroTools para la versión de ArcGIS instalada disponibles en <http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Setup>,
- Saga GIS versión 6.4 o superior disponible en <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/SAGA%20-%206/SAGA%20-%206.4.0/>,

En cuanto a hardware, las limitaciones están en función de los requerimientos de máquina para la versión de ArcGIS instalada, para la versión 10.4 de ArcGIS se recomienda un equipo con las siguientes características mínimas:

Característica	Descripción
Velocidad de CPU	2,2 GHz como mínimo; se recomienda Hyper-threading (HHT) o multinúcleo
Plataforma	x86 o x64 con extensiones SSE2
Memoria/RAM	2 GB como mínimo
Propiedades de visualización	Profundidad de color de 24 bits
Resolución de pantalla	Se recomienda 1024 x 768 como mínimo a tamaño normal (96 ppp)
Espacio de intercambio	Determinado por el sistema operativo; 500 MB como mínimo.
Espacio en disco	2.8 GB
	Además, es posible que se requieran hasta 50 MB de espacio en disco en el directorio del sistema de Windows (habitualmente, C:\Windows\System32). Puede ver los requisitos de espacio en disco para cada uno de los componentes de la versión 10.4.1 en el programa de instalación.
	Si se usa ArcGlobe, puede que se necesite espacio adicional en disco. Cuando se utilice, ArcGlobe creará archivos caché.
Adaptador de video/gráficos	64 MB de RAM (mínimo), se recomiendan 256 MB de RAM o más. Se admiten chipsets NVIDIA, ATI e Intel.
	Acelerador de gráficos con capacidad de 24 bits
	Se requiere runtime OpenGL versión 2.0 como mínimo y se recomienda Shader Model 3.0 o superior.
	Asegúrese de utilizar los controladores más actualizados disponibles.
Hardware de red	Para License Manager se requiere TCP/IP simple, tarjeta de red o adaptador de bucle invertido de Microsoft.

El paquete de instalación de la herramienta se encuentra disponible en <https://github.com/jchavarroddiaz/mcad>. La instalación de la herramienta es muy sencilla y puede realizarse de dos formas distintas:

- Como caja de herramienta:** copie el archivo **MCAD.tbx** y la carpeta **source** a la siguiente ubicación: "C:\program files (x86)\arcgis\desktop10.x\ArcToolbox\Toolboxes",
- Como menú vertical:** Identifique la carpeta **Add-ins** y haga doble click en el archivo **Addin.esriaddin** y proceda con la instalación de acuerdo con las instrucciones del instalador.

Algunas recomendaciones del sistema para la operación de la herramienta son:

- Registrar como variable de entorno la ruta a la carpeta de SAGA GIS,
- Configurar el punto y la coma como símbolo decimal y separador de listas respectivamente,
- Se recomienda que la información que alimenta la herramienta se encuentre en el directorio raíz (por ejemplo. C:\),
- Se recomienda activar la opción **Show Help** cuando se esté ejecutando la herramienta para visualizar la ayuda de rutina.
- Al iniciar una sesión de trabajo guarde el mxd en la misma carpeta donde alojara los resultados. Una estructura recomendada para operar la herramienta como ejemplo el área hidrográfica 02 (magdalena-cauca):
 - **AH_02** [Carpeta Proyecto]
 - **Data** [Carpeta con la información exógena de caracterización y factores de compensación]
 - **Products** [Carpeta para almacenar productos derivados del mcad como figuras y mapas por ejemplo]
 - **Results** [Carpeta que almacenara los resultados del mcad allí se almacenarán la carpeta temp y la geodabase]



Sin embargo, la herramienta es susceptible de ejecutarse desde una ubicación externa, por ejemplo, una memoria USB o disco de almacenamiento secundario. En ningún momento se recomienda ejecutarlo desde una ubicación de red (internet) o red local.

3 SEGMENTACIÓN

3.1 Acondicionamiento DEM

Esta rutina ejecuta los algoritmos de la herramienta ArcHydro de ESRI relacionados con el acondicionamiento del modelo digital de terreno y retorna los ráster de dirección de flujo (fdr), acumulación de flujo (fac).

3.1.1 Sintaxis

Aconditioningdem (DEM, Carpeta_Resultados, GDB_Resultados, {Red_Drenaje}, Umbral_definición_Corrientes, Agregar_Capas, EPSG, Rellenar_Sumideros)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km ²).	Raster Layer
Carpeta_Resultados	Dialog Reference Es la carpeta donde se almacenarán los resultados. Tanto la GeoDatabase (*.gdb) como la carpeta "temp" que contiene productos intermedios.	Folder
GDB_Resultados	Dialog Reference Es el nombre que llevará la GDB donde se guardan los resultados principales. (Default: UTTL.gdb)	String
Red_Drenaje (Optional)	Dialog Reference Opcional. Es la red de drenaje en formato shapefile y de geometría tipo líneas. Se utiliza para realizar un quemado de las corrientes en el DEM para ajustar la red de drenaje digital a la red hidrográfica real.	Feature Layer
Umbral_definición_Corrientes	Dialog Reference Es el número de celdas que se deben acumular para generar una corriente. EL valor por defecto es ajustado a un tamaño de celda de 93 metros y una escala 1:100.000 (Default: 324).	Double
Agregar_Capas	Dialog Reference Check: carga las capas a la tabla de contenido actual (ToC). Un-Check: No carga las capas a la ToC. (Default)	Boolean
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca) : 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco) : 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas) : 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico) : 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú) : 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe) : 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira) : 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo) : 3116	Spatial Reference
Rellenar_Sumideros	Dialog Reference Opcional. Con frecuencia, los sumideros (y picos) representan errores debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano. Los sumideros se deben rellenar para garantizar la representación correcta de cuencas y arroyos. Si los sumideros no se rellenan, una red de drenaje derivada puede ser discontinua. (Default : Check) https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm	Boolean



3.2 Extracción nodos hidrológicos

Identifica los nodos hidrológicos o, los sitios donde confluyen dos o más tramos de corriente. El procedimiento se realiza a partir de la obtención de los nodos intermedios y finales de cada tramo.

3.2.1 Sintaxis

HydrologyPoints (Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line_, Puntos_de_Drenaje_Drainge_Point_, Cargar_Capas, Carpeta_Resultados, GDB_Resultados_UTTL_, EPSG)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line_	Dialog Reference Es la red de drenaje digital derivada del paso anterior. (Default: Drainage Line)	Feature Layer
Puntos_de_Drenaje_Drainge_Point_	Dialog Reference Son los puntos iniciales y finales de cada tramo. (Default: Drainage Point)	Feature Layer
Cargar_Capas	Dialog Reference Check: carga las capas a la tabla de contenido actual (ToC). Un-Check: No carga las capas a la ToC. (Default)	Boolean
Carpeta_Resultados	Dialog Reference Es la carpeta donde se almacenarán los resultados. Tanto la GeoDatabase (*.gdb) como la carpeta " temp " que contiene productos intermedios.	Folder
GDB_Resultados_UTTL_	Dialog Reference Es el nombre que llevará la GDB donde se guardan los resultados principales. (Default: UTTL.gdb)	String
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference

3.3 Extracción nodos topográficos

Esta herramienta utiliza el DEM para identificar puntos de quiebre en el relieve a lo largo de la red de drenaje. La herramienta se basa en la metodología propuesta por Queiroz *et. al* (Queiroz, Salamuni, & Nascimento, 2015) que involucra análisis de tipo morfológico y de red de drenaje involucrando los métodos propuestos por Hack (1973) y Etchebehere *et. al.* (2004).

3.3.1 Sintaxis

knickpoints (DEM, Equidistancia, Nombre_Archivo_Nodos_Topográficos, Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line_, Carpeta_Resultados, GDB_Resultados_UTTL_, EPSG)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km2).	Raster Layer
Equidistancia	Dialog Reference Es el valor del intervalo altimétrico que determina el tamaño de los segmentos de drenaje analizados. Se sugiere tener en cuenta el tamaño del píxel. Se recomienda utilizar 2 veces el valor del píxel. Sin embargo, es importante destacar que valores de equidistancia muy pequeños pueden generar una alta densidad de puntos y viceversa. (Default: 200)	Long



Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
Nombre_Archivo_Nodos_Topográficos	Dialog Reference Es el nombre para el archivo de puntos generado por la herramienta (Default: knickpoints)	String
Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line_	Dialog Reference Es la red de drenaje digital derivada del paso anterior. (Default: Drainage Line)	Feature Layer
Carpeta_Resultados	Dialog Reference Es la carpeta donde se almacenarán los resultados. Tanto la GeoDatabase (*.gdb) como la carpeta " temp " que contiene productos intermedios.	Folder
GDB_Resultados_UTTL_	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	String
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference

3.4 Definición de puntos de cierra para delimitación de Unidades Tipológicas Tramo-Ladera (UTTL)

Combina los nodos hidrológicos y topográficos agregando y completando atributos adecuados para el procesamiento y definición de las Unidades Tramo-Ladera (UTTL). Por defecto se genera el archivo BatchPoints en la GeoDataBase Principal (Default: ~UTTL.gdb/BatchPoints).

3.4.1 Sintaxis

BatchPoints (GDB_Resultados_UTTL_gdb, Nodos_Topográficos_knickpoints, Nodos_Hidrológicos_hydro_points, Area_Hidrográfica)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados_UTTL_gdb_	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
Nodos_Topográficos_knickpoints_	Dialog Reference Es el nombre del archivo de puntos de quiebre del relieve sobre las corrientes (Default: knickpoints)	Feature Layer
Nodos_Hidrológicos_hydro_points_	Dialog Reference Es el archivo con los puntos de confluencia de las corrientes (Default: hydro_points)	Feature Layer
Area_Hidrográfica	Dialog Reference Es el código de acuerdo con la zonificación de cuencas hidrográficas del IDEAM. Sin embargo, para la región caribe se definió utilizar el código de la subzona hidrográfica (SZH) definido por el mismo IDEAM. [11] CARIBE – ATRATO – SINÚ [12] CARIBE – DIRECTOS [13] CARIBE – GUAJIRA [14] CARIBE – CATATUMBO [2] MAGDALENA – CAUCA (Por Defecto) [3] ORINOQUÍA [4] AMAZONAS [5] PACÍFICO	Long

3.5 Delimitación de UTTL

Esta herramienta genera los polígonos de las áreas aferentes a los puntos de cierre definidos por los Batch-Points, resumiendo la información de los tramos de la red de drenaje.



3.5.1 Sintaxis

segmentation (GDB_Resultados_UTTL_gdb_, Raster_Dirección_de_Flujo_fdr_, Raster_Corrientes_str_, Puntos_HidroLógicos_Topográficos_BatchPoints_, Nombre_Unidades_Segmentación)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados_UTTL_gdb_	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
Raster_Dirección_de_Flujo_fdr_	Dialog Reference Es el archivo ráster con la información de los flujos drenaje. (Default: Fdr)	Raster Layer
Raster_Corrientes_str_	Dialog Reference Es el archivo ráster con la información de las corrientes definidas digitalmente (Algoritmo D8). (Default: Str)	Raster Layer
Puntos_HidroLógicos_Topográficos_BatchPoints_	Dialog Reference Es el archivo de puntos que define los puntos de cierre para la delimitación de las cuencas (UTTL). (Default: BatchPoints)	Feature Layer
Nombre_Unidades_Segmentación	Dialog Reference Es el nombre que se tomarán las unidades de drenaje de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	String

3.6 Correr Todo

Realiza el proceso de segmentación de tramos de drenaje a partir de un modelo digital de elevación DEM, generando polígonos relacionados directamente con los tramos de drenaje. Corre los procesos parciales de los puntos 1 a 5.

3.6.1 Sintaxis

RunAll (DEM, Carpeta_Resultados, GDB_Resultados_UTTL_, {Red_de_Drenaje}, Umbral_Definición_Corrientes, Agregar_Capas, EPSG, Rellenar_Sumideros, Equidistancia, Nombre_Archivo_Nodos_Topográficos_knickpoints_, Area_Hidrográfica)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km2).	Raster Layer
Carpeta_Resultados	Dialog Reference Es la carpeta donde se almacenarán los resultados. Tanto la GeoDatabase (*.gdb) como la carpeta " temp " que contiene productos intermedios.	Folder
GDB_Resultados_UTTL_	Dialog Reference Es el nombre que llevará la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	String
Red_de_Drenaje (Optional)	Dialog Reference Opcional. Es la red de drenaje en formato shapefile y de geometría tipo líneas. Se utiliza para realizar un quemado de las corrientes en el DEM para ajustar la red de drenaje digital a la red hidrográfica real.	Layer
Umbral_Definición_Corrientes	Dialog Reference Es el número de celdas que se deben acumular para generar una corriente. EL valor por defecto es ajustado a un tamaño de celda de 93 metros y una escala 1:100.000 (Default: 324).	Double
Agregar_Capas	Dialog Reference Check: carga las capas a la tabla de contenido actual (ToC). Un-Check: No carga las capas a la ToC. (Default)	Boolean
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño	Spatial Reference



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
	<p>Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116</p>	
Rellenar_Sumideros	<p>Dialog Reference Opcional. Con frecuencia, los sumideros (y picos) representan errores debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano. Los sumideros se deben rellenar para garantizar la representación correcta de cuencas y arroyos. Si los sumideros no se rellenan, una red de drenaje derivada puede ser discontinua. (Default : Check) https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm</p>	Boolean
Equidistancia	<p>Dialog Reference Es el valordel intervalo altimétrico que determina el tamaño de los segmentos de drenaje analizados. Se sugiere tener en cuenta el tamaño del píxel. Se recomienda utilizar 2 veces el valor del píxel. Sin embargo es importante destacar que valores de equidistancia muy pequeños pueden generar una alta densidad de puntos y viceversa.(Default: 200)</p>	Long
Nombre_Archivo_Nodos_Topográficos__knickpoints_	<p>Dialog Reference Es el nombre para el archivo de puntos generado por la herramienta (Default: knickpoints)</p>	String
Area_Hidrográfica	<p>Dialog Reference Es el código de acuerdo ala zonificación de cuencas hidrográficas del IDEAM. Sin embargo, para la región caribe se definió utilizar el código de la subzona hidrográfica (SZH) definido por el mismo IDEAM. [11] CARIBE – ATRATO – SINÚ [12] CARIBE – DIRECTOS [13] CARIBE – GUAJIRA [14] CARIBE – CATATUMBO [2] MAGDALENA – CAUCA (Por Defecto) [3] ORINOQUÍA [4] AMAZONAS [5] PACÍFICO</p>	Long

4 CARACTERIZACIÓN Y AGRUPACIÓN

4.1 Flores

Aplica el esquema de clasificación geomorfológica basado en la pendiente del tramo y el índice de potencia específica de la corriente. (Flores, Bledsoe, Cuhacyan, & Wohl, 2006).

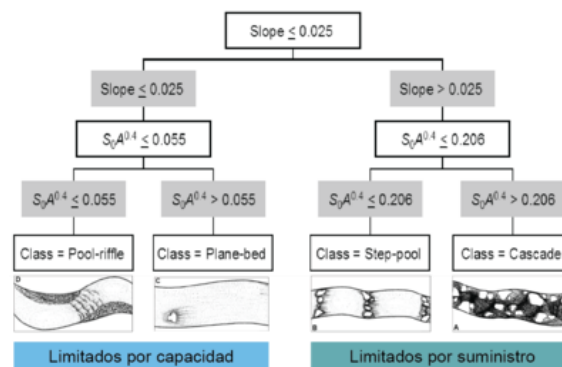


Figura 3. Esquema Parcial de clasificación morfológica sugerida por Flores et al. (Flores et al., 2006).

4.1.1 Sintaxis

Flores (GDB_Resultados_UTTL_, DEM, Nodos_Hidrológicos_Topográficos_BatchPoints_, Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line_, Unidades_de_Segmentación_UTTL_Basins_, EPSG, Raster_de_Acumulación_de_Flujo_Fac_)



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados__UTTL__	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km2).	Raster Layer
Nodos_Hidrológicos__Topográficos__BatchPoints__	Dialog Reference Es el archivo de puntos que define los puntos de cierre para la delimitación de las cuencas (UTTL). (Default: BatchPoints)	Feature Layer
Red_de_Drenaje_Digital__Drainage_Line__	Dialog Reference Es la red de drenaje digital derivada del paso anterior. (Default: Drainage Line)	Feature Layer
Unidades_de_Segmentación__UTTL_Basins__	Dialog Reference Es el nombre que se tomarán las unidades de drenaje de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
EPSG	Dialog Reference Es el código de acuerdo a la zonificación de cuencas hidrográficas del IDEAM. Sin embargo, para la región caribe se definió utilizar el código de la subzona hidrográfica (SZH) definido por el mismo IDEAM. [11] CARIBE – ATRATO – SINÚ [12] CARIBE – DIRECTOS [13] CARIBE – GUAJIRA [14] CARIBE – CATATUMBO [2] MAGDALENA – CAUCA (Por Defecto) [3] ORINOQUÍA [4] AMAZONAS [5] PACÍFICO	Spatial Reference
Raster_de_Acumulación_de_Flujo__Fac__	Dialog Reference Es el archivo ráster con el flujo acumulado por celda (Default: Fac)	Raster Layer

4.2 Beechie

Esta rutina ejecuta la metodología de clasificación geomorfológica de corrientes propuesta por Beechie *et. al.* (Beechie, Liermann, Pollock, Baker, & Davies, 2006) basada en diagramas pendiente-caudal y grado de confinamiento.



Figura 4. Clasificación del alineamiento de corrientes basado en umbrales pendiente-caudal. Tomado de (Grupo HTM et al., 2017)

Para la estimación de los caudales a banca llena, se utilizó la metodología planteada por la UPME (UPME & UNAL Sede Medellín, 2000) como el caudal máximo para un periodo de retorno de 1.33 año definido para cada zona hidrográfica.



Adicionalmente, la herramienta utiliza para estimar el **Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness** (Gallant & Dowling, 2003) una rutina de SAGA GIS (Conrad et al., 2015).

4.2.1 Sintaxis

Beechie (DEM, GDB_Resultados_UTTL_gdb, Nombre_archivo_salida_mrvbf, Umbral_inicial_de_pendiente, Umbral_Percentil_Elevación_Lowness, Umbral_Percentil_Elevación_Upness, Parámetro_de_Forma_para_Pendiente, Parámetro_de_Forma_para_percentil_de_elevación, Agregar_capas, Drenaje_Segmentado_a_UTTL_Drain_UTTL, Unidades_de_Segmentación_UTTL_Basins, Raster_de_Acumulación_de_Flujo_Fac, Parámetro_CTr_Raster_UPME, Parámetro_qTr_Raster_UPME)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km2).	Raster Layer
GDB_Resultados_UTTL_gdb	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
Nombre_archivo_salida_mrvbf	Dialog Reference Para la estimación de las llanuras inundables como aproximación al ancho de valle se utiliza el índice topográfico MRVBF - Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (Gallant y Dowling 2003). La rutina corre externamente una función de SAGA GIS (Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.) llamada mrvbf. (Default: mrvbf)	String
Umbral_inicial_de_pendiente	Dialog Reference Para el tamaño de pixel de 90 metros este parámetro debe ser 8 de acuerdo con el trabajo de Gallant y Dowling 2003. (Default: 8)	Double
Umbral_Percentil_Elevación_Lowness	Dialog Reference Cuanto más bajo sea el valor, más conservadora será la clasificación para el Valle de inundación (lowness) o la cima (upness). (Default: 0.40)	Double
Umbral_Percentil_Elevación_Upness	Dialog Reference Cuanto más bajo sea el valor, más conservadora será la clasificación para el Valle de inundación (lowness) o la cima (upness). (Default: 0.35)	Double
Parámetro_de_Forma_para_Pendiente	Dialog Reference Este parametro controla la transición valle-tierra no inundable (meseta). (default: 4)	Double
Parámetro_de_Forma_para_percentil_de_elevación	Dialog Reference Este parametro controla la transición valle-tierra no inundable (meseta). (default: 3)	Double
Agregar_capas	Dialog Reference Check: carga las capas a la tabla de contenido actual (ToC). Un-Check: No carga las capas a la ToC. (Default)	Boolean
Drenaje_Segmentado_a_UTTL_Drain_UTTL	Dialog Reference Es el archivo de la red de drenaje digital segmentada para cada unidad tramo-ladera. (Default: Drain_UTTL)	Feature Layer
Unidades_de_Segmentación_UTTL_Basins	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
Raster_de_Acumulación_de_Flujo_Fac	Dialog Reference Es el archivo ráster con el flujo acumulado por celda (Default: Fac)	Raster Layer
Parámetro_CTr_Raster_UPME	Dialog Reference Uno de los parámetros para a clasificación por la metodología de Beechie es el caudal a banca llena. Este es aproximado al caudal máximo con periodo de retorno de 2.33 años propuesto por la UPME en el Atlas Hidrológico de Colombia (2000). La estimación del caudal se hace a partir de una regresión de tipo exponencial con parámetros CTr y qTr para cada zona hidrográfica ZH (IDEAM). Los coeficientes fueron mapeados en un archivo ráster que está disponible con la herramienta. Para el coeficiente CTr asignar la ruta al archivo: Qmax_Regional_UPME_CTr.tif	Raster Layer
Parámetro_qTr_Raster_UPME	Dialog Reference Uno de los parámetros para a clasificación por la metodología de Beechie es el caudal a banca llena. Este es aproximado al caudal máximo con periodo de retorno de 2.33 años propuesto por la UPME en el Atlas Hidrológico de Colombia (2000). La estimación del caudal se hace a	Raster Layer



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
	partir de una regresión de tipo exponencial con parámetros CTr y qTr para cada zona hidrográfica ZH (IDEAM). Los coeficientes fueron mapeados en un archivo ráster que está disponible con la herramienta. Para el coeficiente CTr asignar la ruta al archivo: Qmax_Regional_UPME_qTr.tif	

4.3 Asignación de otros atributos

Asigna los atributos provenientes de diferentes formatos (ráster y/o shapefile) y que son de interés para la clasificación de las UTTL y la identificación de áreas homogéneas.

4.3.1 Sintaxis

AddAttribute (UTTL, ID_Name, Nuevo_Objeto, Estadística, Nuevo_Nombre_Campo)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
UTTL	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera) a las cuales se les va a asignar un nuevo atributo. (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
ID_Name	Dialog Reference Es un campo de la tabla de atributos de las UTTL con el identificador único. (Default: Name)	Field
Nuevo_Objeto	Dialog Reference Es el archivo desde el cual se deriva el nuevo atributo para las unidades UTTL. Este puede ser de carácter matricial (ráster) o vectorial (shapefile).	Data Element
Estadística	Dialog Reference Si objeto anterior corresponde a una matriz (ráster) , se aplica una estadística zonal basado en la matriz y los polígonos que identifican las UTTL. El valor para cada UTTL corresponde al tipo de estadística aplicada a todas las celdas dentro de la UTTL. (Default: MEAN)	String
Nuevo_Nombre_Campo	Dialog Reference Es el nuevo nombre del campo de atributo que llevará la UTTL. En el caso de que el nuevo atributo provenga de un formato vectorial, se puede seleccionar un nombre de algún atributo dentro del archivo de entrada. De lo contrario, se puede definir el nuevo nombre según se requiera. Sugerencia: No utilizar caracteres especiales, latinos ni espacios.	Field

4.4 Agrupamiento

Una vez las UTTL han sido caracterizadas en términos de geomorfología fluvial, de clima, hidrología y todas otras aquellas que el usuario considere pertinente para la caracterización de la unidad hidrográfica y posterior estimación del factor de compensación, como por ejemplo, ecorregiones, se procede a la realización de la agrupación de dichas unidades en categorías con características similares mediante la generación de un código único que es una función de permutación (sin repeticiones) de los atributos de las UTTL. La información asignada y consignada en la tabla de atributos del archivo vectorial (shapefile) que contiene las UTTL es procesada mediante una metodología que agrupa unidades con características similares. El número **potencial** de grupos con similares características es función entonces del número de permutaciones posibles sin repeticiones en las etiquetas únicas de las clases de cada atributo ordenadas de acuerdo con el orden de ingreso de los atributos para tener en cuenta en la agrupación, es decir, el orden importa. El cálculo puede ser realizado manualmente mediante la siguiente expresión matemática:

$$P(n, r) = \frac{n!}{r!} \Rightarrow 0 \leq r \leq n \text{ ó } P(n, r) = \frac{n!}{(n-r)!} \Rightarrow r > n$$

Donde, $P(n, r)$ es el número de permutaciones posibles sin repeticiones ordenadas alfabéticamente, n es el número de elementos únicos de las características de las UTTL y r es el número de atributos para ser tenido en cuenta la generación del código del grupo.



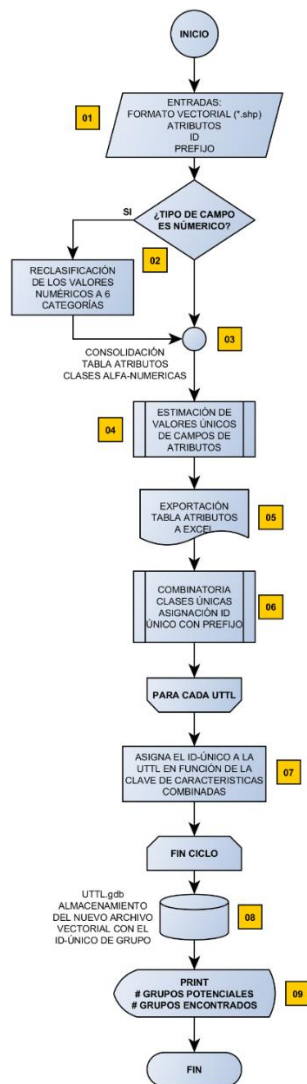
Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Tabla 1. Elementos para estimación de grupos de UTTL

Atributo Clase	Elementos únicos	Detalle
Flores	2	Lim_Capacidad, Lim_Suministro
Bechiee	2	Confinados, Inconfinados
Caudal	1	Bajo
Régimen	1	Bimodal
Caldas-Lang	1	Cálido Seco

Para el caso anterior, el número de elementos únicos a ser tenidos en cuenta para la agrupación es $n = 7$ (sumatoria de la segunda columna), mientras que el número de atributos para la agrupación es $r = 5$ (primera columna). Por lo tanto, el número potencial de permutaciones sin repeticiones posibles (un caso especial de la combinatoria) es $P(n, r) = \frac{7!}{5!} = 42$.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo metodológico implementado en la caja de herramientas denominada **4. Agrupamiento**.



El algoritmo fue escrito en Python 2.7 y puede ser utilizado en cualquiera de las versiones de ArcMap 10.x o superior. **[01]** Los insumos requeridos para estimar el número de grupos únicos de las UTTLs inicia con el archivo en formato vectorial (shapefile) con su tabla de atributos asociada (no hay límite en el número de campos y elementos únicos). Adicionalmente se indican el número de atributos en los cuales se basa el agrupamiento, un atributo asociado al número de la UTTL (ID) y un prefijo para el nombre de clase. **[02]** se revisa si el tipo de dato en campo de atributo es de tipo texto o numérico, si es de tipo numérico, se realiza una reclasificación de dichos valores a seis (6) tipo de categorías [Muy Bajo, Bajo, Medio Bajo, Medio, Alto y Muy Alto] mediante la estimación de los cuantiles [0.05, 0.25, 0.4, 0.6, 0.95] respectivamente. **[03]** se consolida una única tabla con valores categóricos de todos los atributos involucrados en el agrupamiento. **[04]** para cada campo o atributo seleccionado se filtran solo los valores únicos y se crea una lista con ellos. **[05]** se exporta la tabla de atributos a un archivo de tipo Excel. **[06]** se utiliza una función “combinations” de Python de la librería **itertools** en donde ingresa la lista de elementos únicos (n) y se estima el valor de r como la longitud de la lista de atributos involucrados en el agrupamiento. La función de python devuelve subsecuencias de longitud r de los elementos únicos n . Las combinaciones son emitidas en orden lexicográfico. Los elementos son tratados como únicos basados en su posición y no en su valor, de esta forma los elementos ingresados son únicos y, por lo tanto, no deben existir valores repetidos en cada combinación. **[07]** Se genera un código de grupo único de tipo **XXX-####** en función de el prefijo ingresado (XXX) y el consecutivo del total de permutaciones identificadas (existentes en la tabla, no potenciales). La nueva tabla es utilizada para hacer un enlace con la tabla de atributos del archivo vectorial que contiene las UTTLs agregando un nuevo atributo denominado **TIPOLOGÍA**. **[08]** el archivo vectorial con el nuevo atributo es sobrescrito en la geodatabase de donde provino el original. **[09]** Por último, un mensaje es desplegado para el usuario indicando cuantas tipologías potenciales y reales fueron encontradas.

4.4.1 Sintaxis

clustering (Unidades_UTTL_UTTL_Basins, Atributos_para_el_agrupamiento_Seleccionar_Campos, ID_UTTL_Name, Prefijo)



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
UTTL_Basins	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
Seleccionar_Atributos	Dialog Reference Son los atributos que definiran el agrupamiento de las UTTL. Check: el atributo se incluirá como argumento en el proceso de agrupamiento. Un-Check: no se incluirá en el proceso de agrupamiento.	Multiple Value
ID_UTTL	Dialog Reference Es un campo de la tabla de atributos de las UTTL con el identificador único. (Default: Name)	Field
Prefijo	Dialog Reference Es un texto que iniciara la etiqueta del código del grupo. Por ejemplo: Si Prefijo es MC, los códigos iniciarán con MC-0 y el número será el consecutivo dentro del total de grupos identificados.	String

4.5 Correr Flores & Beechie

Esta rutina corre en secuencia las metodologías de Flores & Beechie descritas anteriormente.

4.5.1 Sintaxis

batchchargroup (GDB_Resultados_UTTL_gdb, DEM, Nodos_Hidrologicos_Topograficos_BatchPoints, Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line, Unidades_de_Segmentación_UTTL_Basins, EPSG, Raster_de_Acumulación_de_Flujo_Fac, Nombre_de_Archivo_Salida_MRvbf_mrvmf, Umbral_Inicial_de_Pendiente, Umbral_Percentil_Elevación_Lowness, Umbral_Percentil_Elevación_Upness, Parámetro_de_Forma_para_Pendiente, Parámetro_de_Forma_para_Percentil_de_Elevación, Agregar_Capas, Parámetro_CTr_Raster_UPME, Parámetro_qTr_Raster_UPME)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados_UTTL_gdb	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
DEM	Dialog Reference Es el archivo con el Modelo Digital de Terreno. Se utiliza para análisis 3-Dimensional o análisis hidrológico. Sugerencia: Recuerde que las imágenes demasiado grandes, requieren mayor tiempo de procesamiento y capacidad de computo. Por lo tanto, es aconsejable realizar el proceso dividiendo el dominio espacial si el área del DEM es demasiado grande (>100.000 km2).	Raster Layer
Nodos_Hidrologicos_Topograficos_BatchPoints	Dialog Reference Es el archivo de puntos que define los puntos de cierre para la delimitación de las cuencas (UTTL). (Default: BatchPoints)	Feature Layer
Red_de_Drenaje_Digital_Drainage_Line	Dialog Reference Es la red de drenaje digital derivada del paso anterior. (Default: Drainage Line)	Feature Layer
Unidades_de_Segmentación_UTTL_Basins	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference
Raster_de_Acumulación_de_Flujo_Fac	Dialog Reference Es el archivo ráster con el flujo acumulado por celda (Default: Fac)	Raster Layer



Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
Nombre_de_Archivo_Salida_MRVPF__mrvbf__	Dialog Reference Para la estimación de las llanuras inundables como aproximación al ancho de valle se utiliza el índice topográfico MRVPF - Multiresolution Index of ValleyBottom Flatness (Gallant y Dowling 2003). La rutina ejecuta una función externa en SAGA GIS (<i>Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.</i>) llamada mrvbf. (Default: mrvbf)	String
Umbral_Inicial_de_Pendiente	Dialog Reference Para el tamaño de píxel de 90 metros este parámetro debe ser 8 de acuerdo con el trabajo de Gallant y Dowling 2003. (Default: 8)	Double
Umbral_Percentil_Elevación__Lowness__	Dialog Reference Cuanto más bajo sea el valor, más conservadora será la clasificación para el Valle de inundación (lowness) o la cima (upness). (Default: 0.40)	Double
Umbral_Percentil_Elevación__Upness__	Dialog Reference Cuanto más bajo sea el valor, más conservadora será la clasificación para el Valle de inundación (lowness) o la cima (upness). (Default: 0.35)	Double
Parámetro_de_Forma_para_Pendiente	Dialog Reference Este parámetro controla la transición valle-tierra no inundable (meseta). (default: 4)	Double
Parámetro_de_Forma_para_Percentil_de_Elevación	Dialog Reference Este parámetro controla la transición valle-tierra no inundable (meseta). (default: 3)	Double
Agregar_Capas	Dialog Reference Check: carga las capas a la tabla de contenido actual (ToC). Un-Check: No carga las capas a la ToC. (Default)	Boolean
Parámetro_CTr__Raster_UPME__	Dialog Reference Uno de los parámetros para la clasificación por la metodología de Beechie es el caudal a banca llena. Este es aproximado al caudal máximo con periodo de retorno de 2.33 años propuesto por la UPME en el Atlas Hidrológico de Colombia (2000). La estimación del caudal se hace a partir de una regresión de tipo exponencial con parámetros CTr y qTr para cada zona hidrográfica ZH (IDEAM). Los coeficientes fueron mapeados en un archivo ráster que está disponible con la herramienta. Para el coeficiente CTr asignar la ruta al archivo: Qmax_Regional_UPME_CTr.tif	Raster Layer
Parámetro_qTr__Raster_UPME__	Dialog Reference Uno de los parámetros para la clasificación por la metodología de Beechie es el caudal a banca llena. Este es aproximado al caudal máximo con periodo de retorno de 2.33 años propuesto por la UPME en el Atlas Hidrológico de Colombia (2000). La estimación del caudal se hace a partir de una regresión de tipo exponencial con parámetros CTr y qTr para cada zona hidrográfica ZH (IDEAM). Los coeficientes fueron mapeados en un archivo ráster que está disponible con la herramienta. Para el coeficiente CTr asignar la ruta al archivo: Qmax_Regional_UPME_qTr.tif	Raster Layer

5 FACTORES DE COMPENSACIÓN

5.1 Rareza

La rareza se define en este estudio a partir de la extensión de cada UTTL con respecto a un área de referencia, en este sentido, se considera que una UTTL es más rara cuando el porcentaje que ocupa frente a un área de referencia (área y zona hidrográfica, en este caso) es pequeño y es menos rara en caso contrario. Se considera entonces que UTTL con áreas muy pequeñas con respecto al área o zona hidrográfica son más únicos y por lo tanto más raros (Grupo HTM et al., 2017). Esta rutina estima el grado de rareza de cada UTTL en relación con las áreas y zonas hidrográficas definidas por el IDEAM (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013). Para la clasificación de los umbrales de rareza se utilizaron los definidos en el estudio metodológico de TNC modificados como se consolidan en el archivo asociado disponible en la carpeta **data/ config_criteria.xlsx**.

El archivo de configuración de criterios para la estimación de los factores de compensación plasmados en las tablas en el archivo **config_criteria.xlsx** (adjuntado en la carpeta data) contiene los elementos que se detallan a continuación:



Tabla 2. Contenido y descripción del archivo de configuración para la estimación de los factores de compensación

HOJA	DESCRIPCIÓN
ZH_Areas	Contiene las áreas de las área y zonas hidrográficas de acuerdo con la clasificación del IDEAM.
Rareza_Criterio_1	Contiene los valores de los umbrales inferiores y superiores para los criterios de rareza por área hidrográfica y zona hidrográfica
Rareza_Criterio_2	Tabla con las clases de los criterios de rareza y su respectivo valor.
Representatividad	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase (de acuerdo con SINAP) y su respectivo valor de clase.
Especies_Sensibles	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase y su respectivo valor de clase.

En la hoja **Rareza_Criterio_1** se encuentran los datos contenidos en la **Tabla 3** para el criterio de área hidrográfica y zona hidrográfica. Los límites se consideran semiabiertos por izquierda.

Tabla 3. Escala de clasificación del nivel de unicidad para los arreglos frente el área y la zona hidrográfica

CLASE	K	AH_INF	AH_SUP_LIM_C ERRADO	ZH_INF	ZH_SUP_LIM_C ERRADO
Muy raro	2.0	0.0	2.5	0.0	5.0
Medianamente raro	1.5	2.5	5.0	5.0	15.0
Poco raro	1.0	5.0	100.0	15.0	100.0

La estimación del criterio se realiza entonces al calcular el área relativa de cada UTTL frente al área y zona hidrográfica y asignar cada clase (K) de acuerdo con el valor obtenido. Por último, el promedio de las clases obtenidas (por AH y ZH) será entonces el valor de rareza de cada UTTL.

Tabla 4. Definición de los valores de clase para el criterio de Rareza de las UTTL para la definición de factores de compensación en los ecosistemas de agua dulce

CLASE	VALUE
Muy Raro	2.00
Raro (restringida)	1.75
Media	1.50
Común	1.25
Muy común	1.00

La herramienta permite cambiar los umbrales con los cuales se clasifica el criterio de rareza (y en general cualquier criterio) modificando los valores en las celdas resaltadas en amarillo en el archivo **config_criterios.xlsx**.

5.1.1 Sintaxis

rareness (GDB_Resultados_UTTL_gdb, Unidades_UTTL_UTTL_Basins, Area_Hidrográfica, Raster_Zona_Hidrográfica_IDEAM, EPSG, Archivo_Configuración_data_config_criterios.xlsx)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados_UTTL_gdb	Dialog Reference	Workspace
	Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	
Unidades_UTTL_UTTL_Basins	Dialog Reference	Feature Layer
	Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Basins)	
Area_Hidrográfica	Dialog Reference	Long



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
	Es el código de acuerdo con la zonificación de cuencas hidrográficas del IDEAM. Sin embargo, para la región caribe se definió utilizar el código de la subzona hidrográfica (SZH) definido por el mismo IDEAM. [1] CARIBE [2] MAGDALENA – CAUCA (Por Defecto) [3] ORINOQUÍA [4] AMAZONAS [5] PACÍFICO	
Raster_Zona_Hidrográfica_IDEAM	Dialog Reference Es un archivo ráster que contiene las zonas hidrográficas del País de acuerdo con la clasificación del IDEAM. Remitirse a los archivos soporte de esta herramienta en ~data/ZH_IDEAM_ENA2014.tif. (Default: ZH_IDEAM_ENA2014.tif)	Raster Layer
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference
Archivo_Configuración_data_config_criterios_xlsx	Dialog Reference Es un archivo Excel® llamado config_criterios.xlsx que contiene las clasificaciones y rangos descritos en el documento <i>Anexo A: Técnico y metodológico Manual de Compensaciones en ecosistemas de agua dulce por pérdida de biodiversidad para proyectos que requieren de licenciamiento ambiental</i> (Grupo HTM, GOTTA Ingeniería & TNC, 2017). El archivo contiene las tablas que definen los rangos y categorías para cada criterio que define el grado de compensación. De esta forma, los valores de los rangos son susceptibles de ser modificados de acuerdo con el criterio del usuario. (Default: data/config_criterios.xlsx).	File

5.2 Representatividad

El criterio de representatividad hace referencia a la identificación de la presencia de los valores de biodiversidad dentro de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Para este ejercicio, como unidades de ecosistemas de agua dulce, se realizó una aproximación a partir de las UTTL, con el fin de determinar cuáles unidades están incluidas y en qué nivel de representación dentro de este sistema de protección. (Grupo HTM, Gotta Ingeniería & TNC, 2017). Esta rutina estima el grado de representatividad de las UTTL en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) de acuerdo con los criterios establecidos en el documento Anexo Técnico A. Grupo HTM, Gotta Ingeniería & TNC, 2017.

El archivo de configuración de criterios para la estimación de los factores de compensación plasmados en las tablas en el archivo **config_criterios.xlsx** (adjuntado en la carpeta data) contiene los elementos que se detallan a continuación:

Tabla 5. Contenido y descripción del archivo de configuración para la estimación de los factores de compensación

HOJA	DESCRIPCIÓN
ZH_Areas	Contiene las áreas de las área y zonas hidrográficas de acuerdo con la clasificación del IDEAM.
Rareza_Criterio_1	Contiene los valores de los umbrales inferiores y superiores para los criterios de rareza por área hidrográfica y zona hidrográfica
Rareza_Criterio_2	Tabla con las clases de los criterios de rareza y su respectivo valor.



HOJA	DESCRIPCIÓN
Representatividad	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase (de acuerdo con SINAP) y su respectivo valor de clase.
Especies_Sensibles	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase y su respectivo valor de clase.

En la hoja **Representatividad** se encuentran los datos contenidos en la **Tabla 5** para el criterio de representatividad. Los límites se consideran semiabiertos por izquierda.

Tabla 6. Definición de los puntajes para el criterio de Representatividad

Clases	Inferior	Superior	Value
No RP	0	1	2.00
Baja	1	6	1.75
Media	6	12	1.50
Alta	12	24	1.25
Muy Alta	24	100	1.00

La herramienta permite cambiar los umbrales con los cuales se clasifica el criterio de representatividad (y en general cualquier criterio) modificando los valores en las celdas resaltadas en amarillo en el archivo **config_criteria.xlsx**.

5.2.1 Sintaxis

representativity (UTTL_Basins, ID_UTTL_Name, Área_Protegidas_RUNAP, EPSG, Tamaño_de_Pixel_metros, Archivo_Configuración_data_config_criteria_xlsx)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
UTTL_Basins_	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
ID_UTTL_Name_	Dialog Reference Es un campo de la tabla de atributos de las UTTL con el identificador único. (Default: Name)	Field
Área_Protegidas_RUNAP_	Dialog Reference El Registro Único Nacional de Áreas Protegidas – RUNAP, es la herramienta creada por el Decreto 2372 de 2010 en la cual cada una de las Autoridades Ambientales registra las áreas protegidas de su jurisdicción, con el fin de tener un consolidado como País de las áreas que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP. Los reportes de la información que reposa en el RUNAP, de las áreas protegidas del SINAP pueden ser consultados en el enlace http://runap.parquesnacionales.gov.co/cifras. seleccionando la pestaña Autoridades Ambientales o Departamentos, procediendo a dar clic en la Autoridad Ambiental, luego en el área protegida de su interés. Este argumento hace referencia al archivo en formato shapefile del RUNAP. (Default: ~data/RUNAP.shp)	Feature Layer
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference
Tamaño_de_Pixel_metros_	Dialog Reference El archivo vectorial del RUNAP es rasterizado para ejecutar una estadística zonal en base a las UTTL. El tamaño de pixel es el tamaño de pixel en metros que se le asignará al archivo ráster del RUNAP. (Default: 93 metros)	Long



Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
Archivo_Configuración_data_config_criterios_xlsx	<p>Dialog Reference</p> <p>Es un archivo Excel® llamado config_criterios.xlsx que contiene las clasificaciones y rangos descritos en el documento <i>Anexo A: Técnico y metodológico Manual de Compensaciones en ecosistemas de agua dulce por pérdida de biodiversidad para proyectos que requieren de licenciamiento ambiental</i> (Grupo HTM, GOTTA Ingeniería & TNC, 2017).</p> <p>El archivo contiene las tablas que definen los rangos y categorías para cada criterio que define el grado de compensación. De esta forma, los valores de los rangos son susceptibles de ser modificados de acuerdo con el criterio del usuario. (Default: data/config_criterios.xlsx).</p>	File

5.3 Especies Sensibles

Este criterio busca establecer un mayor puntaje a aquellas áreas donde se tiene evidencia, de carácter nacional, de especies que pueden ser índices importantes para biodiversidad (tasas de extinción, colonización), funcionamiento dentro del ecosistema (los proclilodontidos tienen la capacidad de afectar sustancialmente todo el presupuesto bioenergético fluvial y por ende son considerados como “ingenieros de los ecosistemas” se consideran los ingenieros de los ecosistemas fluviales por el flujo de energía durante la subienda), cambio climático (re-estructuración de ensamblajes por cambios del régimen térmico en los próximos años), uso y aprovechamientos (pesca artesanal y de subsistencia), cambios poblacionales inesperados entre otros (Flecker, 1996; Taylor, 2006).

El archivo de configuración de criterios para la estimación de los factores de compensación plasmados en las tablas en el archivo **config_criterios.xlsx** (adjuntado en la carpeta data) contiene los elementos que se detallan a continuación:

Tabla 7. Contenido y descripción del archivo de configuración para la estimación de los factores de compensación

HOJA	DESCRIPCIÓN
ZH_Areas	Contiene las áreas de las áreas y zonas hidrográficas de acuerdo con la clasificación del IDEAM.
Rareza_Criterio_1	Contiene los valores de los umbrales inferiores y superiores para los criterios de rareza por área hidrográfica y zona hidrográfica
Rareza_Criterio_2	Tabla con las clases de los criterios de rareza y su respectivo valor.
Representatividad	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase (de acuerdo con SINAP) y su respectivo valor de clase.
Especies_Sensibles	Tabla con los límites inferior y superior para cada clase y su respectivo valor de clase.

En la hoja **Especies_Sensibles** se encuentran los datos contenidos en la **Tabla 8** para el criterio de Especies Sensibles. Los límites se consideran semiabierto por izquierda.

Tabla 8. Definición de los puntajes para el criterio de Representatividad

Clases	Inferior	Superior	Value
Baja	0	10	1
Media	10	50	2
Alta	50	100	3

La herramienta permite cambiar los umbrales con los cuales se clasifica el criterio de Especies (y en general cualquier criterio) modificando los valores en las celdas resaltadas en amarillo en el archivo **config_criterios.xlsx**.

5.3.1 Sintaxis

`species (UTTL_Basins, ID_UTTL_Name, EPSG, Raster_Especies_Sensibles, Archivo_Configuración_data_config_criterios_xlsx)`



Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
UTTL_Basins	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
ID_UTTL__Name_	Dialog Reference Es un campo de la tabla de atributos de las UTTL con el identificador único. (Default: Name)	Field
EPSG	Dialog Reference Es el Identificador de Referencia Espacial, es un identificador estándar único que hace referencia a un Sistema de Coordenadas concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un Sistema de Coordenadas. Es el EPSG del Modelo Digital de Terreno. Por favor tener en cuenta los dominios de cada EPSG definidos para Colombia. Apoyarse en la Figura de la descripción de la herramienta. Área Hidrográfica 02 (Magdalena Cauca): 3116 Área Hidrográfica 03 (Orinoco): 3117 ó 3118 si la zona está cerca a Puerto Carreño Área Hidrográfica 04 (Amazonas): 3116 ó 3117 Área Hidrográfica 05 (Pacífico): 3115 Área Hidrográfica 01 (Atrato-Sinú): 3115 Área Hidrográfica 01 (Directos Caribe): 3116 Área Hidrográfica 01 (Guajira): 3116 - 3117 Área Hidrográfica 01 (Catatumbo): 3116	Spatial Reference
Raster_Especies_Sensibles	Dialog Reference Es el archivo ráster con la información poderada de la sensibilidad de las especies para cada área hidrográfica. La informaicón se encuentra en la carpeta asociada a esta herramienta en <code>~data/especies_sensibles/{01}CutEcoAcua.tif</code> , donde 01 es el nombre del área hidrográfica. (Default: <code>~data/especies_sensibles/{01}CutEcoAcua.tif</code>)	Raster Layer
Archivo_Configuración__data_config_criteria_xlsx_	Dialog Reference Es un archivo Excel® llamado config_criteria.xlsx que contiene las clasificaciones y rangos descritos en el documento <i>Anexo A: Técnico y metodológico Manual de Compensaciones en ecosistemas de agua dulce por pérdida de biodiversidad para proyectos que requieren de licenciamiento ambiental</i> (Grupo HTM, GOTTA Ingeniería & TNC, 2017). El archivo contiene las tablas que definen los rangos y categorías para cada criterio que define el grado de compensación. De esta forma, los valores de los rangos son susceptibles de ser modificados de acuerdo con el criterio del usuario. (Default: data/config_criteria.xlsx).	File

5.4 Índice de Conectividad Dendrítica

El grado de conectividad explica en qué sitios esta fragmentación puede ser más grave debido a la cantidad de unidades que pueden desconectarse o fragmentarse por la construcción de un proyecto. Una medida de disponibilidad de hábitat que ha sido recientemente presentado por Cote (Cote, Kehler, Bourne, & Wiersma, 2009) es el "índice de conectividad dendrítica" (ICD). Perkin y Gido (Perkin & Gido, 2012) han demostrado que la asignación de medidas cuantitativas de conectividad puede utilizarse para predecir la respuesta de la biodiversidad de una corriente a la fragmentación artificial. En este orden de ideas, se reconoce la conectividad de la corriente como un sistema jerárquico dentro de la escala de la red en su conjunto; donde la presencia de barreras (natural o antropogénica) afecta su continuidad.

5.4.1 Sintaxis

dcI (GDB_Resultados_UTTL_gdb_, Raster_de_Dirección_de_Flujo_Fdr_, Unidades_UTTL_UTTL_Basins_, Nombre_Archivo_de_Salida_DCI_)

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
GDB_Resultados__UTTL_gdb_	Dialog Reference Es la ruta a la GDB donde se guardan los resultados principales (Default: UTTL.gdb)	Workspace
Raster_de_Dirección_de_Flujo__Fdr_	Dialog Reference Es el archivo ráster con la información de los flujos drenaje. (Default: Fdr)	Raster Layer
Unidades_UTTL__UTTL_Basins_	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Bains)	Feature Layer
Nombre_Archivo_de_Salida_DCI_	Dialog Reference	String



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
	<p>El ICD es la relación entre la longitud de la red de drenaje acumulada hasta la unidad de segmentación (I) sobre la longitud de drenaje acumulada hasta donde se identifique que hay migraciones potadromas (L).</p> <p>Debido a las restricciones de información, en la presente versión y manual se propone acercarse al valor del denominador utilizando la longitud de red hasta su salida al mar.</p> <p>Es el nombre del archivo ráster de salida con la estimación del índice de conectividad dendrítica. (Default: dci)</p>	

5.5 Factor de Compensación

Estima el factor de compensación para cada UTTL en base a los criterios seleccionados de:

- Rareza,
- Representatividad,
- Especies Sensibles,
- Conectividad Dendrítica.

Basado en la metodología propuesta por Grupo HTM, Gotta Ingeniería TNC (Grupo HTM et al., 2017)

5.5.1 Sintaxis

factores (UTTL_Basins, Criterios_de_Compensación, Guardar_Archivo_en_Formato_Raster, {Nombre_Archivo_Raster})

Parámetro	Explicación	Tipo de Dato
UTTL_Basins	Dialog Reference Son las unidades hidrográficas de análisis (Unidades Tramo-Ladera). (Default: UTTL_Basins).	Feature Class
Criterios_de_Compensación	Dialog Reference Son los campos con los criterios de compensación a incluir en el cálculo del factor. El factor corresponde a la sumatoria de los criterios de compensación. Rareza-[Rareza], Representatividad-[Reps_Value], Especies Sensibles-[sp_value], Conectividad Dendrítica-[dci].	Multiple Value
Guardar_Archivo_en_Formato_Raster	Dialog Reference Seleccione si desea guardar en formato ráster los resultados del factor de compensación. Por defecto: True . El tamaño de celda del archivo ráster de salida será el mismo que los demás archivos matriciales utilizados en el proceso (Internamente el mismo tamaño del archivo de acumulación de flujo - fac).	Boolean
Nombre_Archivo_Raster (Optional)	Dialog Reference Es el nombre que se le dará al archivo matricial de salida con los valores del factor de compensación como valor de celda. De acuerdo con la metodología el valor de la celda varía entre 0 - 10. Por defecto: Factores_Compensacion .	String

6 RESULTADOS

Los resultados de la operación de la herramienta son almacenados en archivos GeoDataBase de ArcGis, en donde podrán ser consultados, graficados y ploteados si así se requiere. Una salida para los factores de compensación para Colombia se presenta en la figura a continuación.



Agrupamiento de las Unidades Tramo Ladera que sean equivalentes considerando los criterios de geomorfología y la información que ha sido alimentada para caracterización. El resultado serán las Unidades Tipológicas Tramo Ladera UTTL

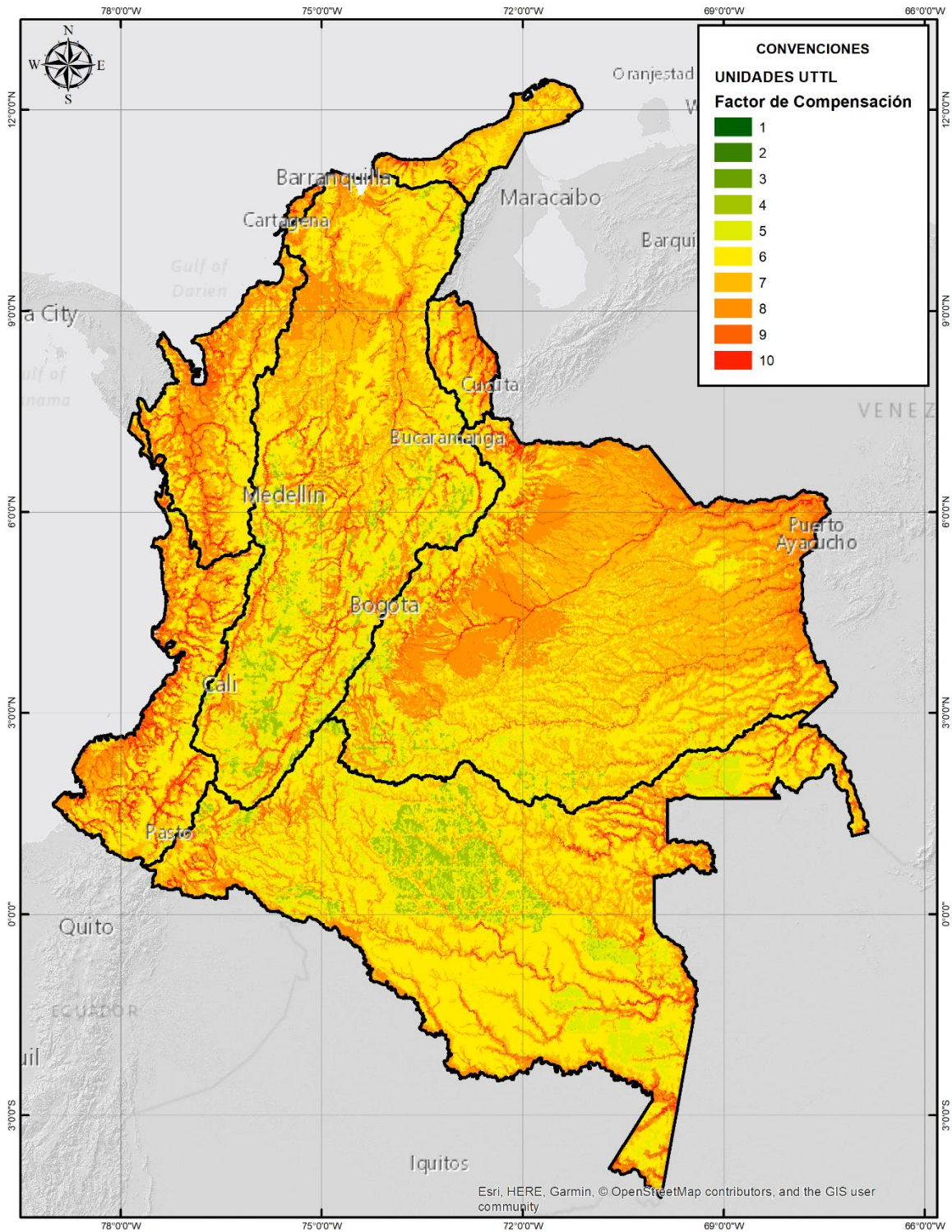


Figura 5. Factores de compensación en ecosistemas de agua dulce para Colombia.



7 BIBLIOGRAFÍA

- Beechie, T. J., Liermann, M., Pollock, M. M., Baker, S., & Davies, J. (2006). Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology*, 78(1–2), 124–141. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.030>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., ... Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Cote, D., Kehler, D. G., Bourne, C., & Wiersma, Y. F. (2009). A new measure of longitudinal connectivity for stream networks. *Landscape Ecology*, 24(1), 101–113. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9283-y>
- Flecker, A. S. (1996). Ecosystem Engineering by a Dominant Detritivore in a Diverse Tropical Stream. *Ecology*, 77(6), 1845–1854. <https://doi.org/10.2307/2265788>
- Flores, A. N., Bledsoe, B. P., Cuhacyan, C. O., & Wohl, E. E. (2006). Channel-reach morphology dependence on energy, scale, and hydroclimatic processes with implications for prediction using geospatial data. *Water Resources Research*, 42(6). <https://doi.org/10.1029/2005WR004226>
- Gallant, J. C., & Dowling, T. I. (2003). A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research*, 39(12), 14. <https://doi.org/10.1029/2002WR001426>
- Grupo HTM, Gotta Ingeniería Ltda., & TNC. (2017). *Anexo A: Técnico y metodológico Manual de Compensaciones en ecosistemas de agua dulce por pérdida de biodiversidad para proyectos que requieren de licenciamiento ambiental*. Bogota, D.C.
- Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogota, Colombia. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwit0-01z5DLAhVI4CYKHVYcXQQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fdocumentacion.ideam.gov.co%2Fopenbiblio%2Fbvirtual%2F022655%2FMEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf&usq=AFQj>
- Perkin, J. S., & Gido, K. B. (2012). Fragmentation alters stream fish community structure in dendritic ecological networks. *Ecological Applications*, 22(8), 2176–2187. <https://doi.org/10.1890/12-0318.1>
- Queiroz, G. L., Salamuni, E., & Nascimento, E. R. (2015). Knickpoint finder: A software tool that improves neotectonic analysis. *Computers and Geosciences*, 76(March), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.11.004>
- Taylor, B. W. (2006). Loss of a Harvested Fish Species Disrupts Carbon Flow in a Diverse Tropical River. *Science*, 313(5788), 833–836. <https://doi.org/10.1126/science.1128223>
- UPME, & UNAL Sede Medellín. (2000). *Atlas Hidrológico de Colombia*. Medellín, Colombia.