



Por encargo de:
Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
y Seguridad Nuclear
de la República Federal de Alemania



Restaurando Ecosistemas y Paisajes

Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA



Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Noviembre 2021

Implementado por:



Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Domicilios de la empresa
Bonn y Eschborn, Alemania

Programa Regional Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA (FDV)

Agencia de la GIZ

Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana
Urbanización Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad
El Salvador, C.A.

Tel +503 2121-5100

Fax +503 2121-5101

E-Mail info@reddlandscape.org

www.giz.de

www.fondodesarrolloverde.org

Versión

Enero, 2020

Diseño

Débora Ayala

Oficial de Comunicaciones

Fondo de Desarrollo Verde para la región del SICA (FDV)

Debora.ayala@giz.de

Créditos fotográficos

Todas las fotografías e imágenes:

Todas las fotos: Fondo de Desarrollo Verde para la región del SICA

Autores

Emma Flores

Asesora Técnica en Monitoreo de Servicios Ecosistémicos

Programa Regional Fondo de Desarrollo Verde para la región del SICA (FDV)

emma.flores@giz.de

Abner Jiménez

Especialista Sectorial

Programa Regional Reducción de Emisiones por Deforestación de Degradación de
Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD III)

abner.jimenez@giz.de

Revisión e incorporación de mejoras:

Efraín Alberto Duarte

Consultor

Esta publicación fue producida con el apoyo financiero de la Unión Europea, el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de la República Federal de Alemania en el marco de la Iniciativa Internacional para el Clima (IKI). Su contenido es responsabilidad exclusiva de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ y del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador y no refleja necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea o el Gobierno Federal Alemán.



Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita [http: creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4)

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Contenido

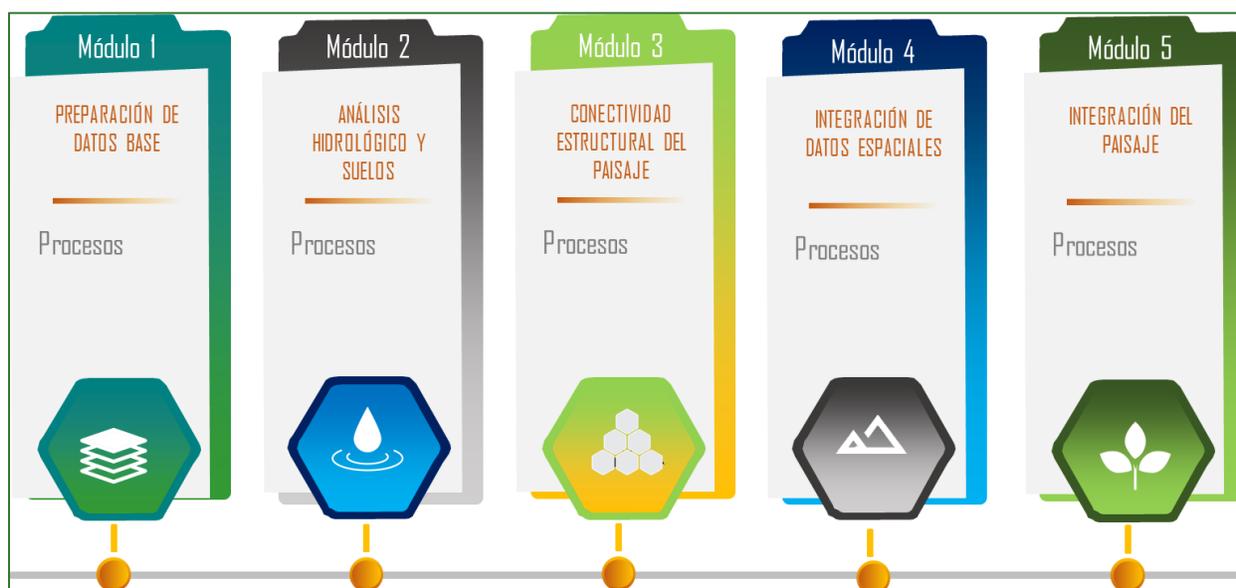
Presentación.....	6
Introducción	7
Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos	10
Módulo 1: Preparación de datos base	10
Parte 1. Proyectar las capas al sistema geodésico del país	12
Parte 2. Preparación del límite del área del proyecto	13
Datos base: Topografía.....	15
Parte 3. Preparación del Modelo Digital del Terreno (MDT).....	16
Parte 4. Corrección del Modelo Digital del Terreno (MDT).....	28
Parte 5. Obtención de métricas a partir del Modelo Digital del Terreno.....	31
Parte 6. Obtención de geoformas y clasificación del relieve	38
Generalización de pendiente en las planicies:.....	51
Datos base: Clima	55
Parte 7. Preparación de los datos climáticos	56
Datos base : Hidrografía.....	69
Parte 8. Preparación de los datos de hidrografía y microcuencas	69
Parte 9. Obtención de unidades base de relieve (region-group).....	77
Datos base: Cobertura arbórea, carbono y suelo	80
Parte 10. Obtención del mapa de cobertura.....	83
Introducción.....	83
Fase 1: Construcción del mosaico de imágenes satelitales para la zona de estudio.....	85
Fase 2: Segmentación de imagen satelital.....	87
Fase 3: Colección o levantamiento de firmas espectrales	89
Fase 4: Clasificación.....	93
Parte 11. Obtención del mapa de carbono en la biomasa aérea	96
Estimación del mapa de carbono con el método de efecto de borde	99
Parte 12. Preparación de los datos de suelos	101
Módulo 2: Análisis hidrológico y suelos	107
Parte 13. Generación del mapa de erosión hídrica.....	109

<i>Paso 1. Calcular del factor R</i>	109
<i>Paso 2. Calcular el factor K</i>	114
Observaciones en los resultados del Factor K.....	118
<i>Paso 3. Calcular LS</i>	118
<i>Paso 4. Calcular factor C</i>	120
<i>Paso 5. Calcular el factor P</i>	123
<i>Paso 6. Aplicar la ecuación USLE para generar el ráster de erosión</i>	123
<i>Paso 7. Interpretación de los valores de erosión (reclasificar el ráster)</i>	124
Parte 14. Infiltración hídrica	127
<i>Paso 1. Calcular factor KP</i>	128
<i>Paso 3. Calcular factor KFC</i>	135
<i>Paso 4. Calcular factor C</i>	142
<i>Paso 5. Calcular Balance Hídrico Climático (BHC)</i>	144
Cálculo de Balance Hídrico Climático.....	146
<i>Paso 6. Cálculo de Infiltración total</i>	153
Módulo 3: Análisis de conectividad estructural del paisaje	157
Módulo 3: Análisis de conectividad estructural del paisaje	158
Parte 15. Conectividad biológica.....	160
<i>Paso 1. Identificación de parches</i>	160
<i>Paso 2. Mapa de resistencia</i>	166
<i>Paso 3. Índice de conectancia</i>	178
Módulo 4: Análisis integrado de datos geoespaciales	196
Módulo 4: Análisis integrado de datos geoespaciales	197
Parte 16. Organización de carpeta de resultados.....	197
• Límites del territorio piloto.....	198
• Datos cartográficos base.....	198
• Cobertura arbórea por tipo y otros usos de suelo.....	198
• Carbono forestal.....	198
Módulo 5: Análisis integrado del paisaje	201
Módulo 5: Análisis integrado del paisaje	202
Parte 17. Análisis integrado del paisaje: integración de Stock de Servicios Ecosistémicos.....	202

Parte 18. Integración de datos en unidades de gestión territorial	208
Parte 19. Asignación del valor ráster de las variables analizados a la tabla integrada de Unidades de Gestión Territorial	219
Combinando union_limites con los tipos de cobertura (Combine)	219
Calculando los valores a nivel de pixel para cada una de las zonas identificadas por el ID_UnixCob	223
Generando estadísticas zonales para las unidades político-administrativas y de gestión territorial.	228
d) También puede aplicar el “Zonal Statistical” para las microcuencas de ordena 9 y para generar ráster resúmenes por unidades territoriales como áreas protegidas, microcuencas, municipios, aldeas.	236
Ejemplo de resumen de valores por microcuenca de orden-9	236
ANEXOS	241
Anexo 1. Obtención del mapa de carbono con el método efecto de borde	241
Anexo 2: Estructura del documento de linea base	251
Anexo 3: Estructura del documento de linea base	252
Guía metodológica sobre la definición de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes	255
Guía metodológica sobre la definición de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes	256
parte 1. Índice de aptitud para la restauración de bosque de galería (irbg).....	257
Parte 2. Índice de aptitud para la restauración de pastos arbolados (IRPArb)	276
Parte 3. Índice de aptitud para la restauración de pastos no arboladoS (IRPnArb).....	282
Parte 4. Índice de aptitud para la restauración de cafetales bajo sombra (IRCbS).....	289
Parte 5. Índice de aptitud para la restauración con sistemas agroforestales (IRAgro)	297
Parte 6. Índice de aptitud para reforestación (IRef)	301
Parte 7. Índice de aptitud para la restauración del bosque secundario (IRBS)	306
Bibliografía	315

Presentación

En el presente documento se pone a disposición una guía de usuario para la construcción de líneas base biofísica e índices de aptitud de prácticas de restauración de paisajes de los proyectos del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA (FDV). La construcción de la línea base biofísica y los índices de aptitud conllevarán una serie de pasos y procesos que van desde generar insumos como cartografía base, un análisis topográfico, un análisis de infiltración hídrica, análisis de erosión, mapeo del carbono forestal, conectividad biológica junto con una serie de índices con los cuales se identificará las respectivas prácticas de restauración según la aptitud del paisaje.



La metodología planteada en el presente documento se basa en la aplicación de herramientas de geoprocésamiento para la obtención de una serie de cartografía digital sobre la cobertura arbórea, datos climáticos, variables de tipo topográficas, índices de vegetación, entre otros. Con los datos cartográficos base o fundamentales, se desarrollan una serie de modelos para estimar índices o métricas de servicios ecosistémicos a nivel de paisaje como: un balance hídrico, erosión de suelo, infiltración, fragmentación de paisaje, carbono forestal y conectividad biológica. A través de estos índices se busca que el usuario estime un índice integrado de servicios ecosistémicos, capaz de presentar información espacialmente explícita para diferentes tipos de unidades político-administrativa y de paisaje que permitan apoyar la toma de decisiones para la gestión integral del territorio.

A través de la presente guía, se pone a disposición del usuario diferentes tipos de información gráfico-numérica, mediante la cual se detalla cada uno de los pasos para la construcción de la línea base biofísica junto con diversos índices de aptitud de prácticas de restauración de paisajes antes mencionadas, en ese sentido, se acompaña al usuario con una serie de instrucciones detalladas que buscan garantizar la implementación de la metodología aquí propuesta.

Introducción

Uno de los principales intereses del programa del Sistema de Observación de la Tierra (EOS, por sus siglas en inglés) es estudiar el papel de la vegetación terrestre, el suelo y el clima en los procesos a mediana o gran escala con el objetivo de comprender cómo interactúan en un sistema. Esto requiere una comprensión de la distribución de los tipos de vegetación, así como sus propiedades biofísicas y estructurales y variaciones espaciales/temporales del clima y la vegetación principalmente.

Se ha demostrado que las variables biofísicas tienen efectos directos e indirectos sobre la absorción y emisión de dióxido de carbono (CO₂) dentro de los ecosistemas tropicales. En este sentido, la teledetección proporciona datos espacialmente continuos que representan la vegetación y los patrones del terreno en un rango de resoluciones espaciales, espectrales y temporales. Estos datos brindan una oportunidad única para investigar las propiedades biofísicas de la vegetación en el espacio y el tiempo (Laidler et al., 2008). Está comprobado que aplicando datos provenientes del uso de la teledetección mediante análisis geoespaciales se puede:

- (i) Proporcionar datos de referencia para delinear los patrones de la vegetación (Muller et al., 1999).
- (ii) Examinar la estructura de la vegetación (por ejemplo, estimar la biomasa aérea) (Epstein et al., 2012).
- (iii) Predecir patrones de flujo de CO₂ en una variedad de escalas espaciales (Shaver et al., 2007).

A partir de los sensores remotos y análisis geoespaciales tenemos la posibilidad de caracterizar y monitorear un paisaje forestal dentro un determinado ecosistema, mediante la construcción de líneas base biofísicas que caractericen un determinado servicio ecosistémico como ser: aprovisionamiento de agua, regulación de los flujos de carbono, regulación de la erosión de suelo, biodiversidad, entre otros.

Con base al contexto anterior, en este documento se presenta una guía de usuario que busca fomentar la construcción de líneas bases biofísicas y diversos índices de aptitud de prácticas de restauración de

paisajes mediante la aplicación de diferentes análisis geoespaciales, con el cual se busca que el usuario pueda caracterizar ecosistemas y brindar información que apoyen procesos de planificación territorial para la restauración o recuperación de ecosistemas y paisajes que favorezcan la integridad ecológica, la provisión de servicios ecosistémicos y el mejoramiento de los medios de vida locales (producción sostenible) de las comunidades en ecosistemas deforestados o degradados.



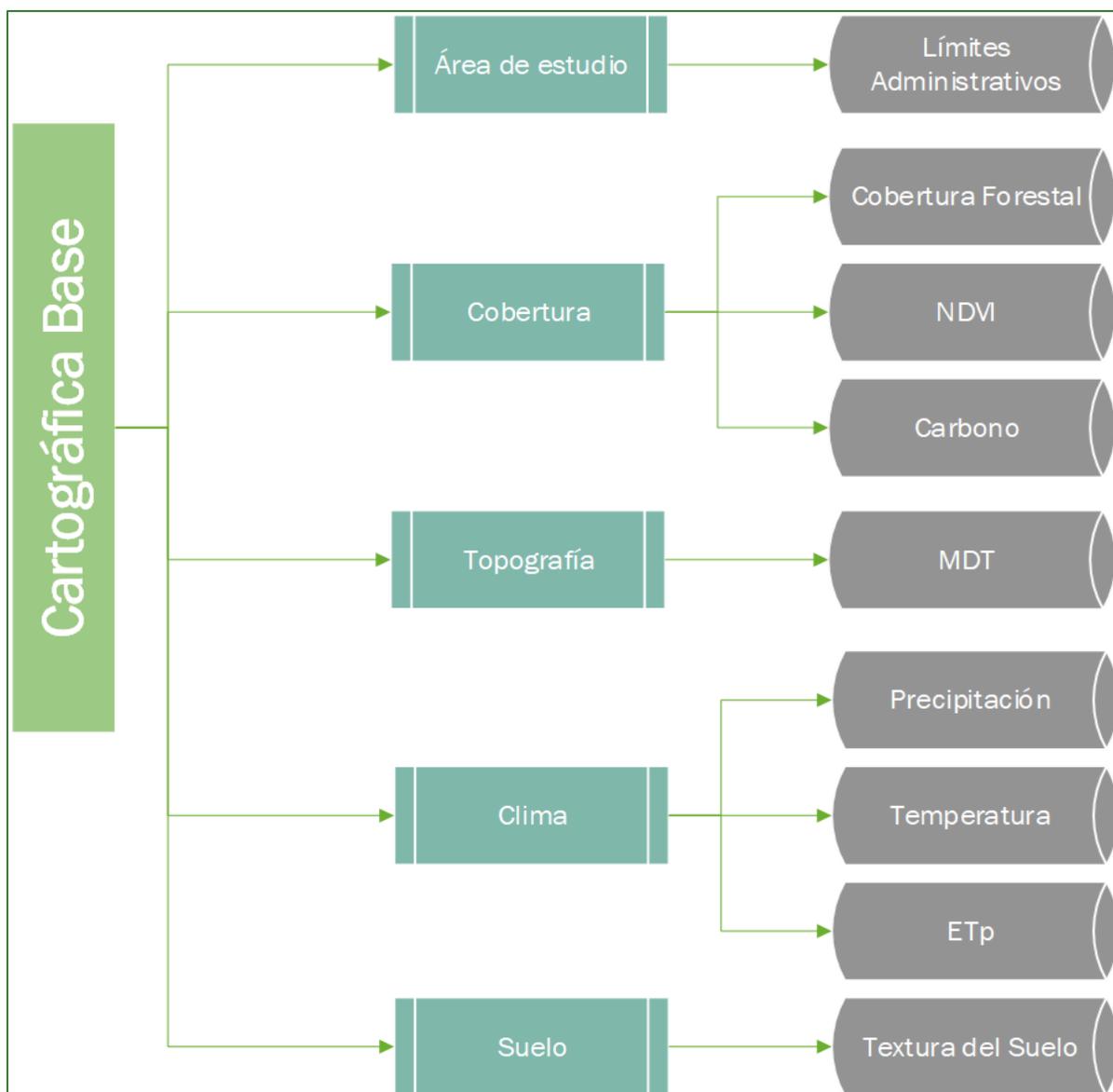
Preparación de datos base

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos

Módulo 1: Preparación de datos base

Para la puesta en marcha de la presente guía de análisis geoespacial para la construcción de las líneas base biofísicas e índices de aptitud de paisaje para los Proyectos del FDV, será necesario conformar una cartografía base a la cual también la denominaremos “datos de entrada” o “input”, por lo tanto, durante el presente ejercicio será necesario crear una serie de carpetas en las cuales sistematizaremos los datos de acuerdo con cada uno de los módulos correspondientes. La ejecución de cada uno de los ejercicios se realizará utilizando el software ArcMap 10.5 de ArcGis ESRI®.

La cartografía base consiste en una serie de información cartográfica debidamente georreferenciada de la zona de estudio correspondiente a: límites administrativos, cobertura arbórea, datos topográficos, climáticos y de suelos.



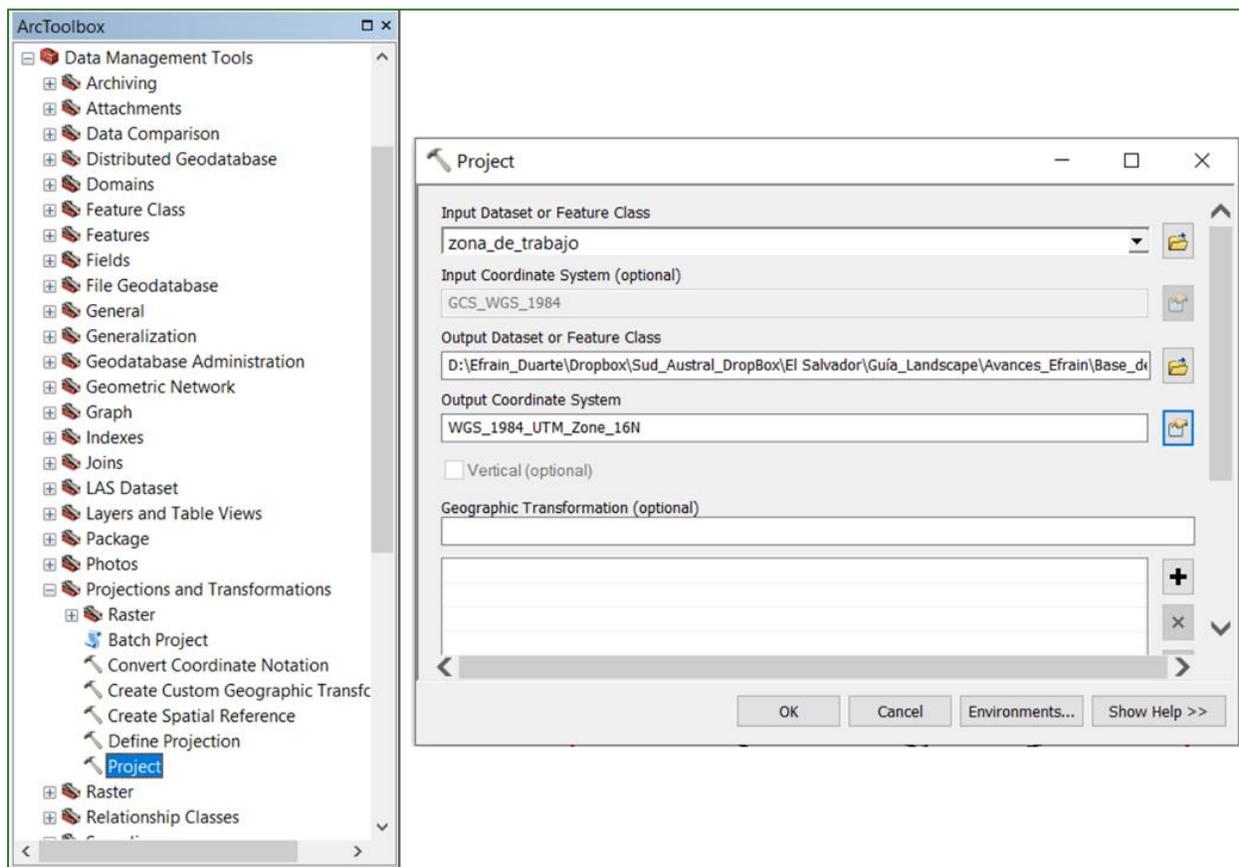
Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso: <https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Parte 1. Proyectar las capas al sistema geodésico del país

Uno de los primeros pasos necesarios para trabajar con análisis geoespaciales, consiste en proyectar todos los insumos cartográficos a un mismo sistema de coordenadas, algunos datos descargados de diferentes repositorios en la web que contienen datos a nivel mundial, ponen a disposición una serie de capas en el sistema de coordenadas geográficas expresadas en longitud y latitud; en ese sentido, se recomienda reproyectar los datos al sistema específico utilizado en su país, por lo general se encuentra en el sistema universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM), con el cual las coordenadas se expresan en metros. Para convertir nuestros datos al sistema UTM, se deben realizar los siguientes pasos.

1. Agregue el límite de la zona de estudio o cualquier capa geográfica que desea convertir y si está en coordenadas geográficas reproyéctelo a UTM o al sistema de referencia de proyección utilizado en su país. Almacénelo en la carpeta VECTORES con el nombre **lim_zona_estudio_project.shp**.

✓ Data Management Tools/Projections and Transformations/Project

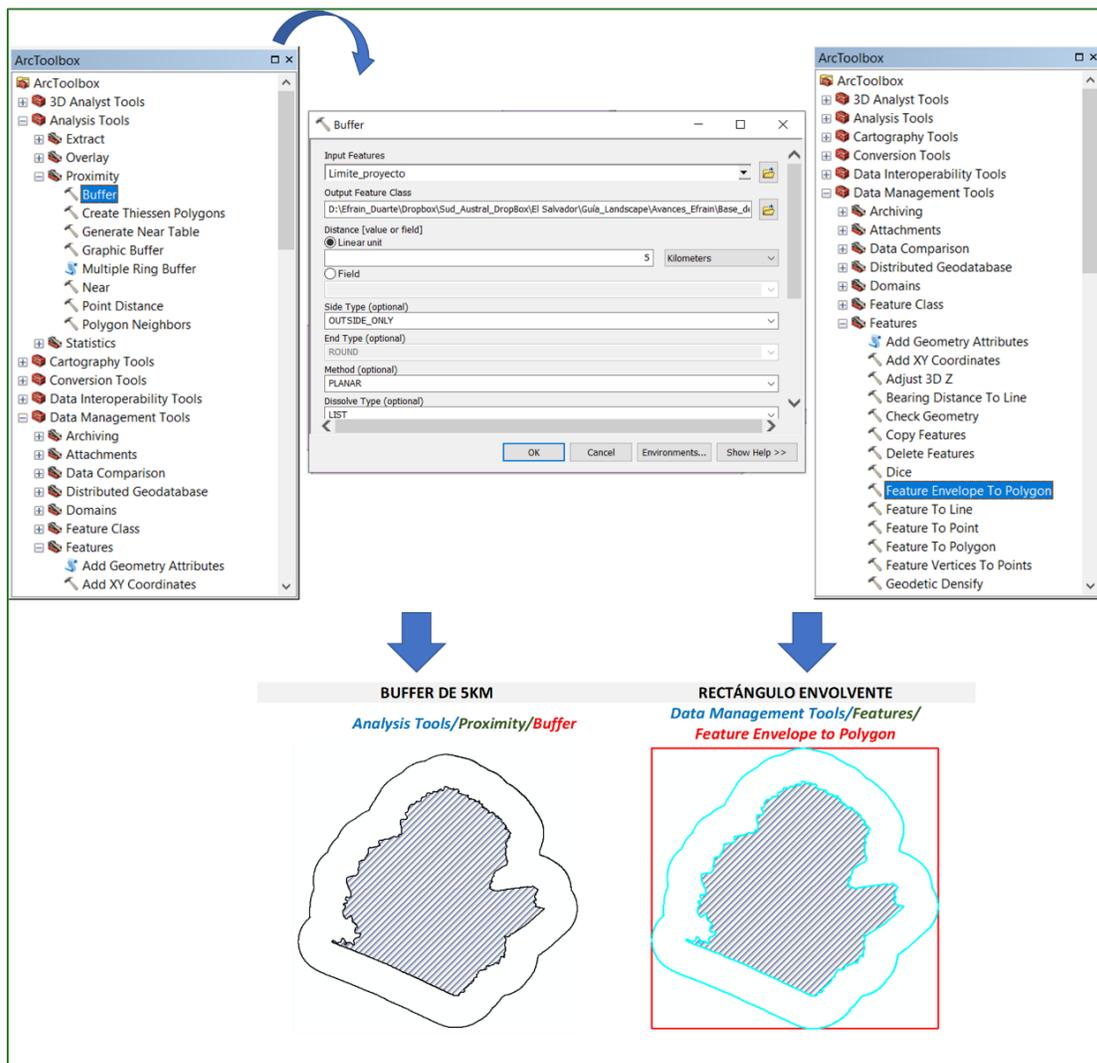


Parte 2. Preparación del límite del área del proyecto

El área o límite del proyecto está asociado a una superficie específica de interés, en el ejemplo de la presente guía de usuario utilizaremos el área del proyecto piloto de El Salvador, ubicado en la costa sur en la Zona de El Imposible – Barra de Santiago. A continuación, se presentan los respectivos procesos para la preparación del área del proyecto.

2. Cree un Buffer de 5 Kilómetros (Km) alrededor de la zona de estudio, y posteriormente genere un rectángulo envolvente alrededor del buffer creado y almacénelo en una carpeta denominada “**VECTORES**” con el nombre **zona_de_trabajo.shp**.

- ✓ ArcToolbox/Analysis Tools/Buffer
- ✓ ArcToolbox/Data Management Tool/Features/Feature Envelope To Polygon

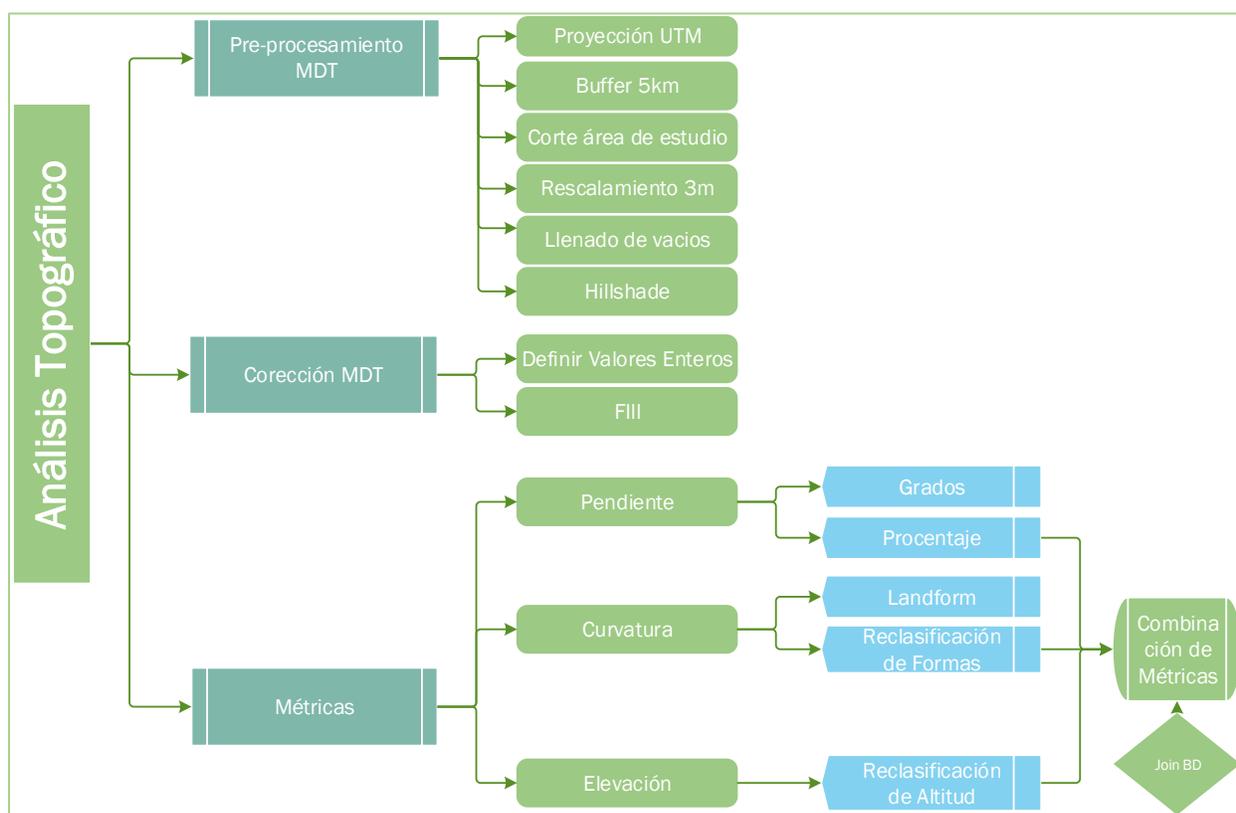




Datos base: Topografía

Datos base: Topografía

En la presente sección, realizará un análisis de datos topográfico enmarcado en el módulo de preparación de datos base; el análisis de datos topográficos corresponde a una serie de geo procesos sobre preprocesamiento del Modelo de Elevación del Terreno (MDT), la respectiva corrección del MDT y la obtención de una serie de métricas correspondientes a la pendiente, la curvatura y elevación de la tierra. Los datos generados en esta sección serán la base para el posterior análisis de suelo e hidrográfico de la presente guía metodológica.



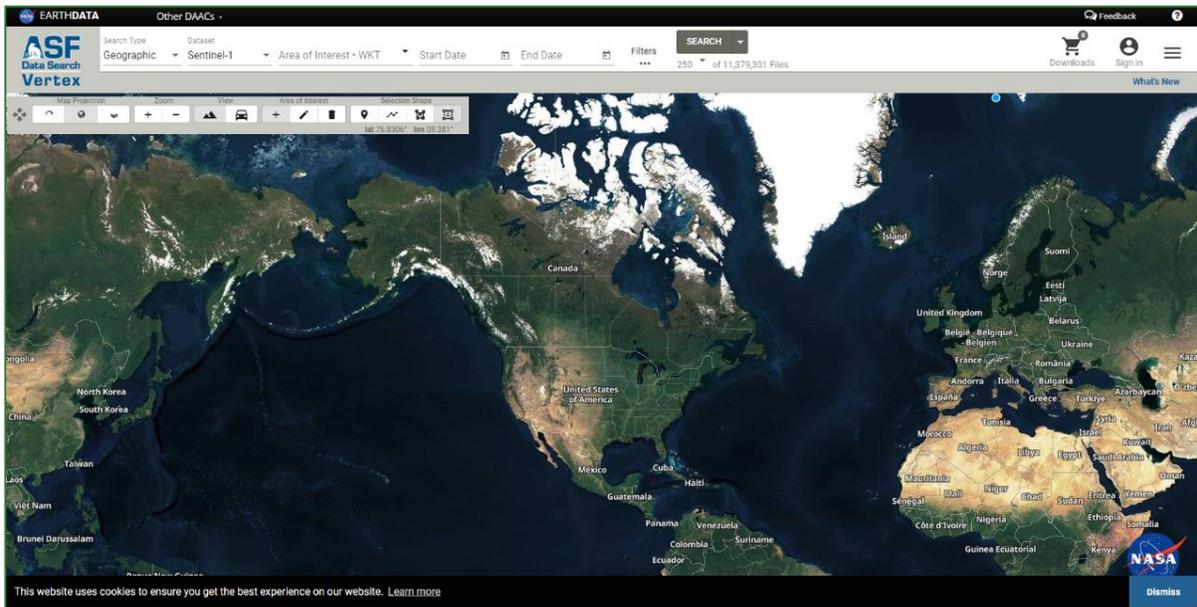
Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso:

<https://github.com/guialandscape/Diagramas>

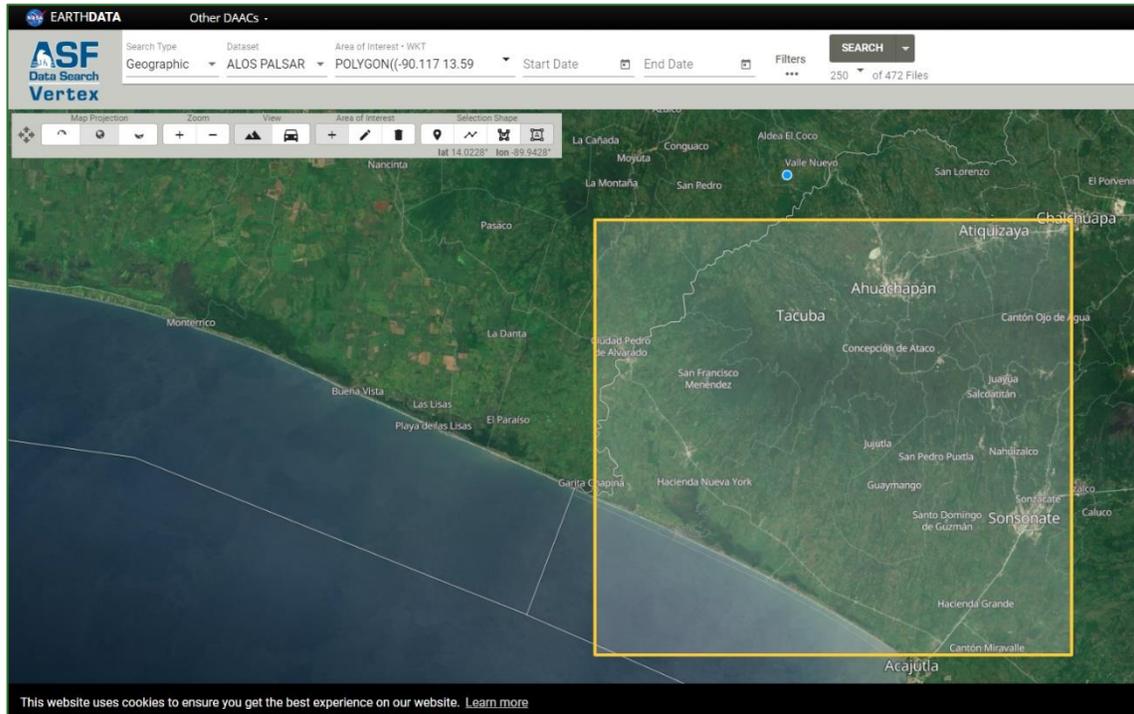
Parte 3. Preparación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un MDT es una representación de ráster que en general hace referencia a la superficie de la tierra. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución (la distancia entre los puntos de muestra).

1. Para descargar el MDT, se deben seguir los siguientes pasos: Ingresar al sitio:
<https://search.asf.alaska.edu/#/>
 - Se mostrará la siguiente ventana:

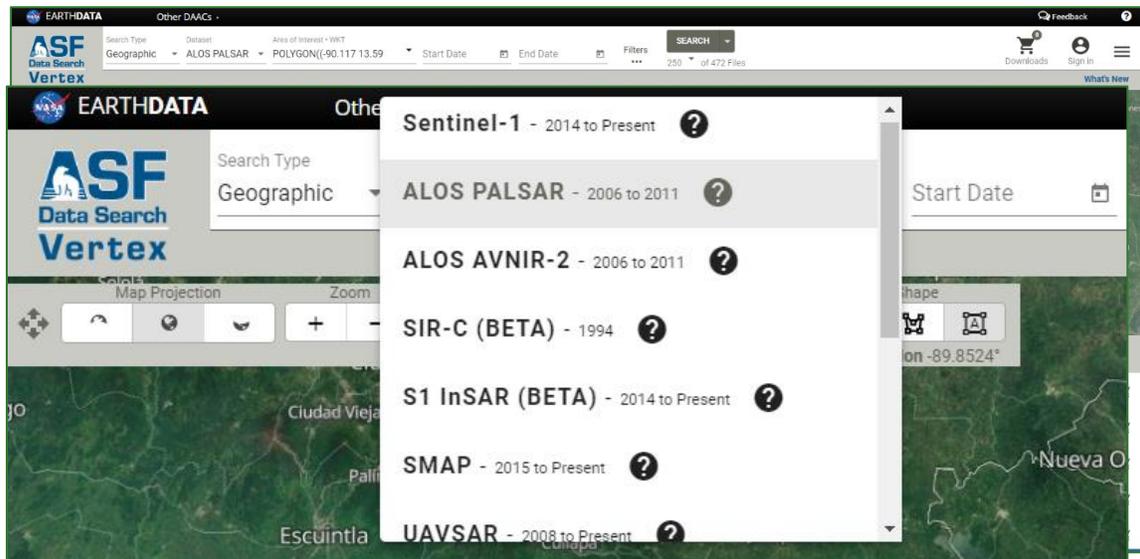


2. Luego debe seleccionar el Dataset de interés, para este ejemplo, se debe seleccionar ALOS PALSAR.

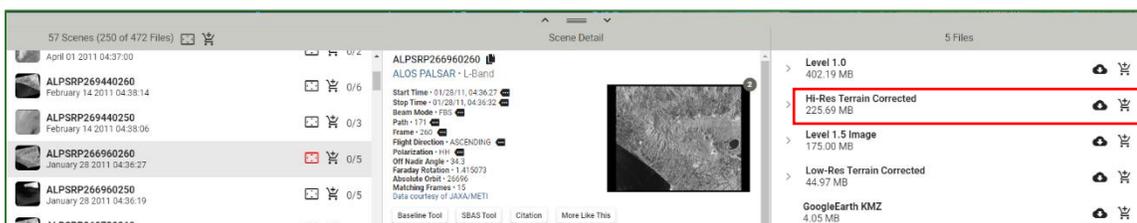


3. Una vez seleccionado el Dataset, se puede importar el área de interés del proyecto o realizar un polígono con la herramienta descrita en la siguiente imagen:

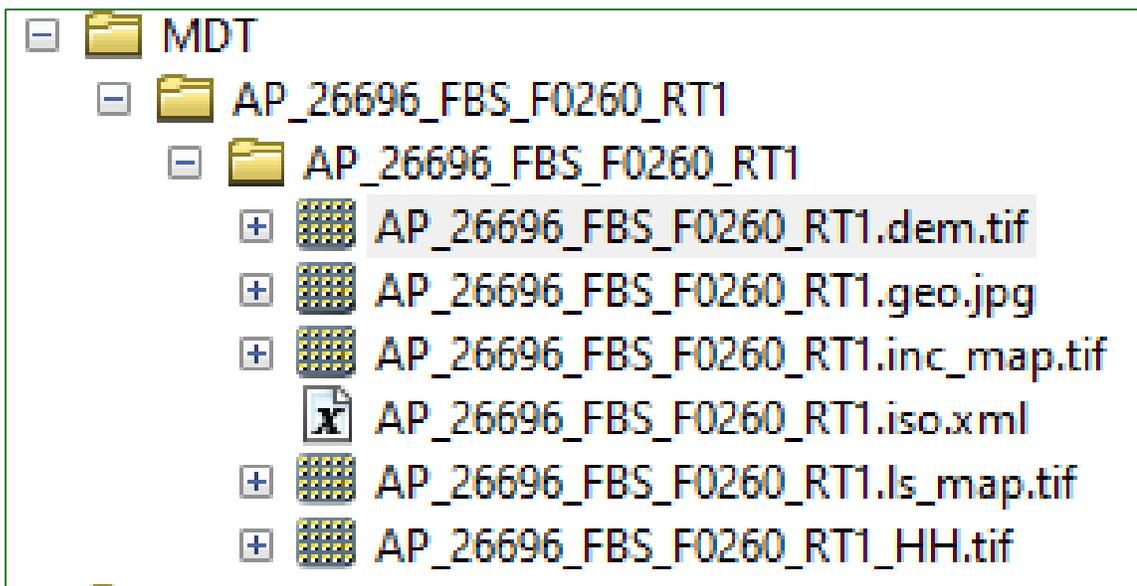
4. Luego debe dar clic en la pestaña SEARCH y se mostrará en la parte inferior una colección de imágenes disponibles en nuestra área de estudio. En este proceso, tratar de seleccionar un cuadrante que rodee el área de estudio.



- Para descargar el MDT, debe seleccionar el archivo llamado Hi-Res Terrain Corrected, el cual se muestra en la parte derecha de nuestra ventana de archivos y dar clic en la nube de descarga. A continuación, se descargará a nuestra carpeta un archivo comprimido con los datos seleccionados anteriormente. Tomar en cuenta que para descargar archivos de la plataforma se debe tener una cuenta de usuario.



- Una vez descargado los archivos se deben extraer y seleccionar el primer archivo con el nombre de AP_26696_FBS_F0260_RT1.dem.tif.



- Almacene el MDT en una carpeta de su computador con el nombre **RASTER/GLOBAL_DATA\AlosPalsarDEM**.
- Agregue el MDT almacenado en la carpeta **ASTER/GLOBAL_DATA\AlosPalsarDEM** y córtelo contra la zona de trabajo usando la herramienta CLIP desde la ventana Image Analysis:

Windows Help

- Overview
- Magnifier
- Viewer
- Table Of Contents
- Catalog
- Search Ctrl+F
- Image Analysis**

Image Analysis

- MDT_ZonaPiloto_SV

Display

Processing

Clip

Use the data view extent or a selected polygon graphic or feature to chip out a portion of the selected layer(s), and create a temporary layer for each selection.

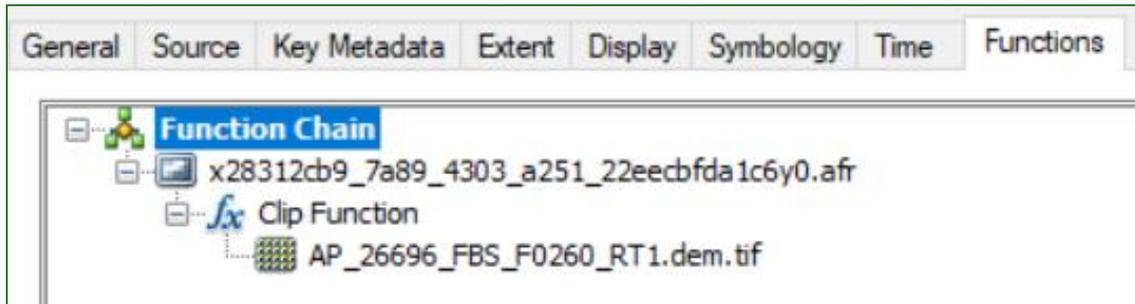
1. **Seleccione el polígono de la zona de trabajo**
2. **Seleccione el MDT en la ventana de Imagen Analysis**
3. **Haga clic en el botón CLIP**

9. El ráster creado en el paso anterior (Clip) renómbrelo como **Función_MDT**.

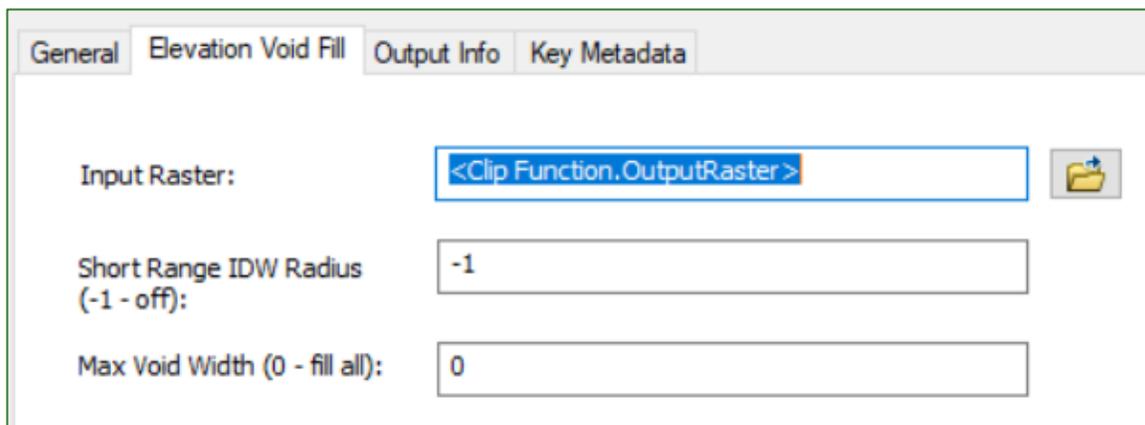
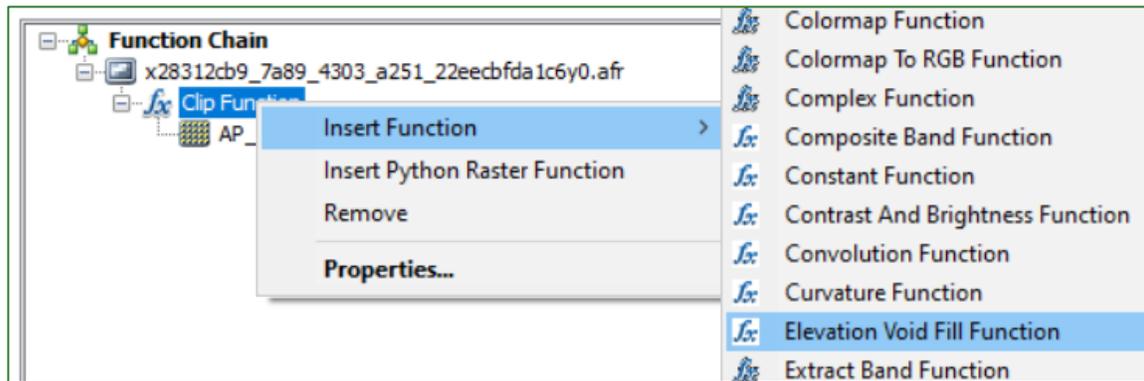
Clip_MDT_ZonaPiloto_SV
Value
High : 1844
Low : -8

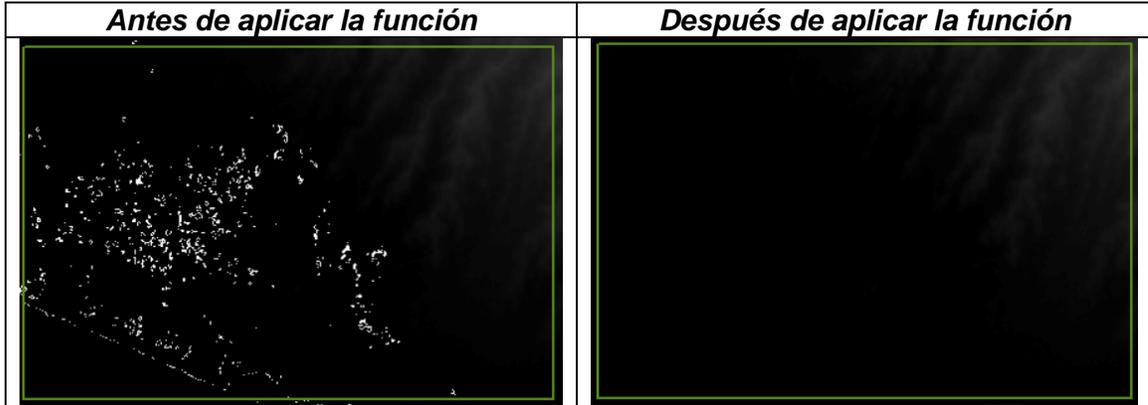
Función_MDT
Value
High : 1844
Low : -8

10. Acceda a las **propiedades** ráster **Función_MDT** haciendo doble clic sobre el nombre de este, y luego acceda a la pestaña **Functions**.

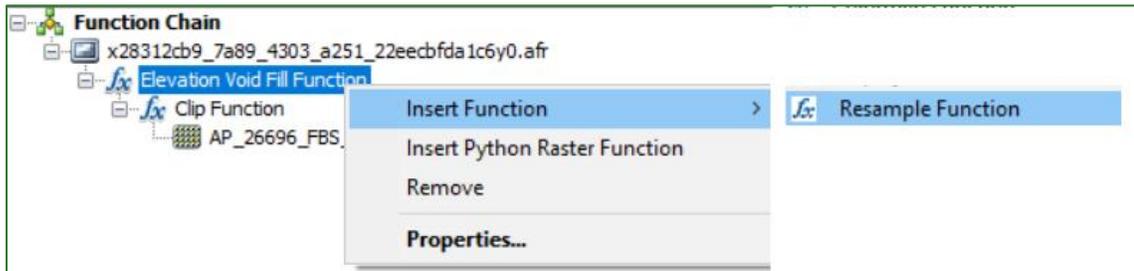


11. Haga clic derecho en **Clip Function**, luego en **Insert Function** y seleccione la función **Elevation Void Fill Function**. Con esta función se rellenarán los valores vacíos (agujeros) del MDT mediante un procedimiento de interpolación.

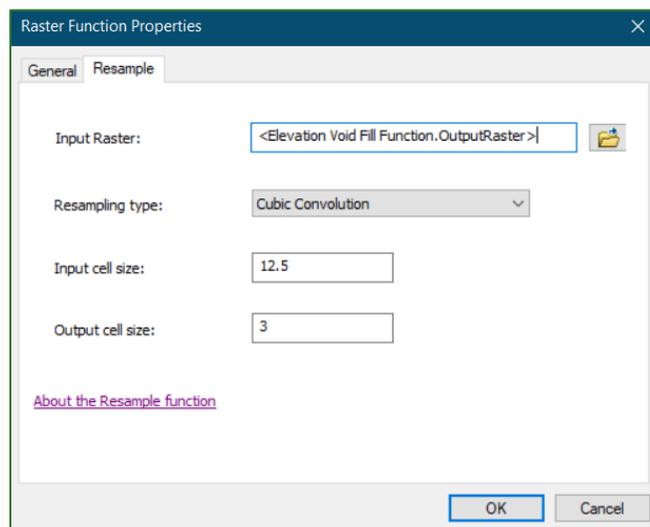




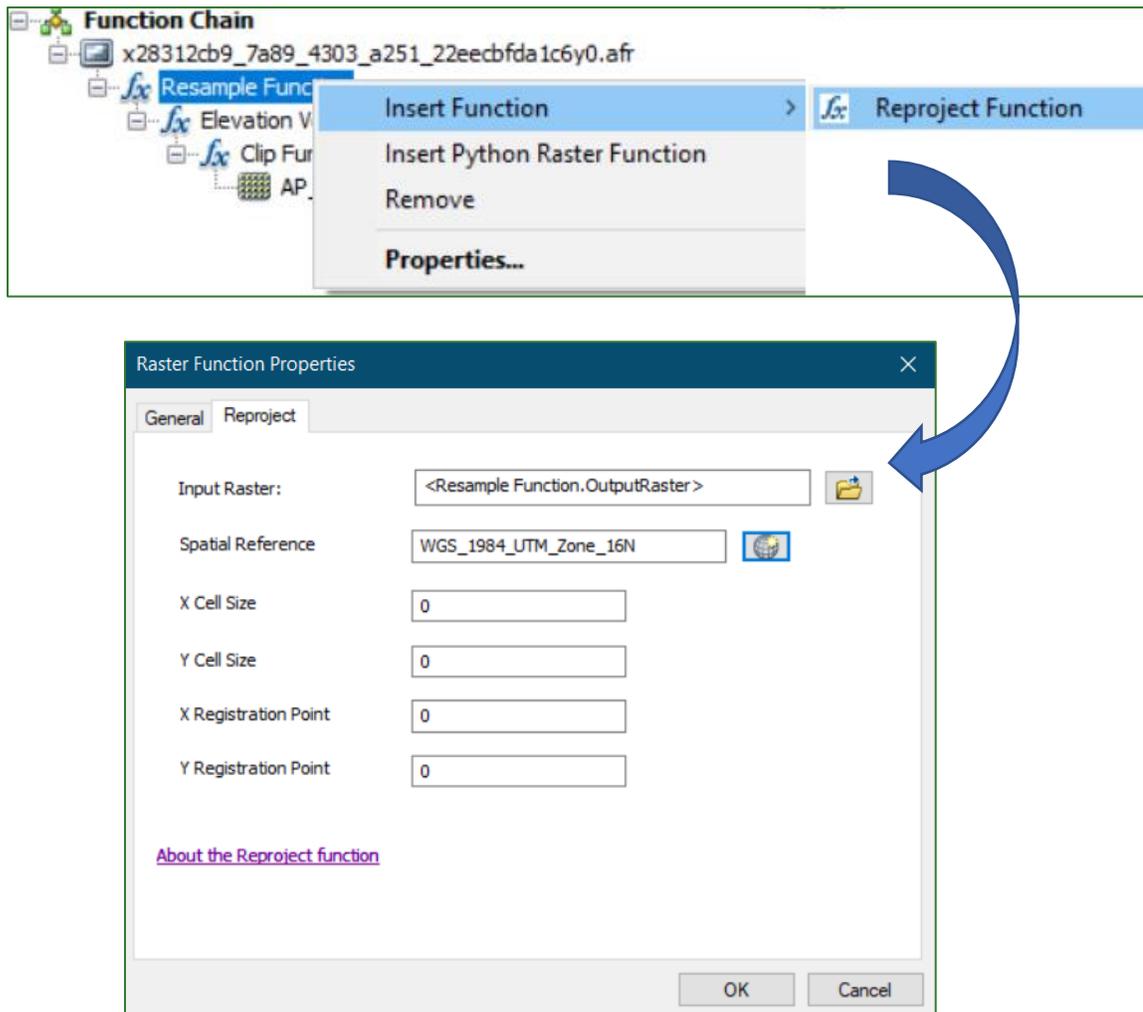
12. Haga clic derecho sobre **Elevation Void Fill Function** e inserte la función **Resample Function**.



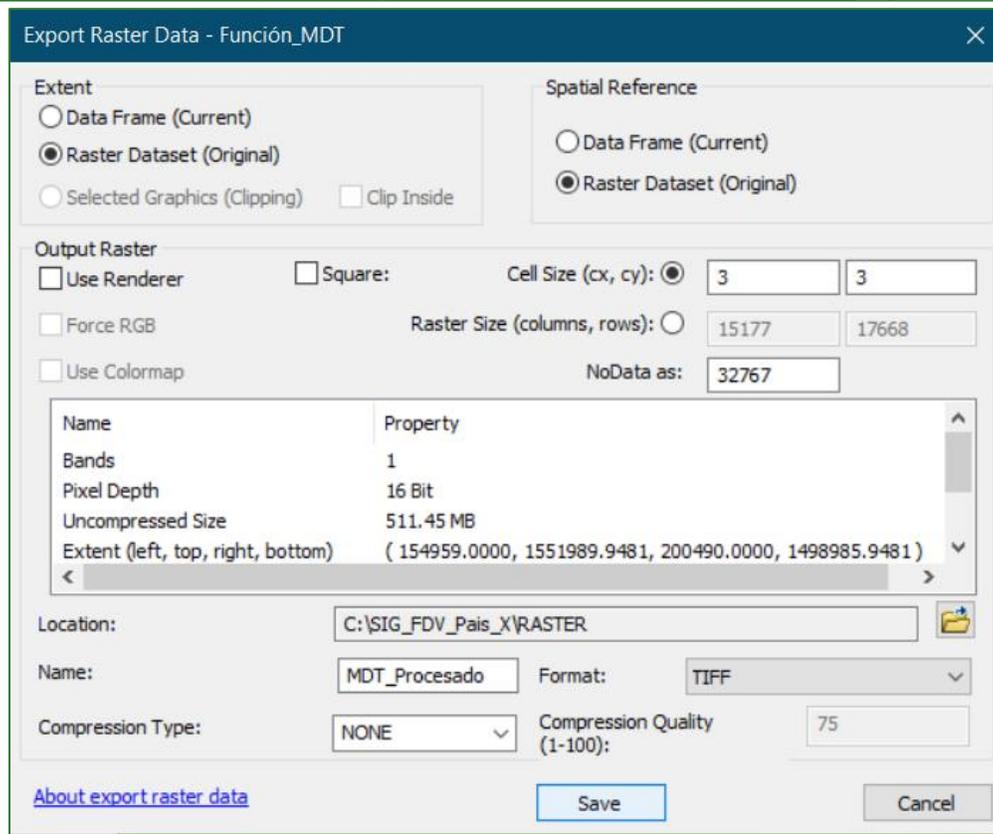
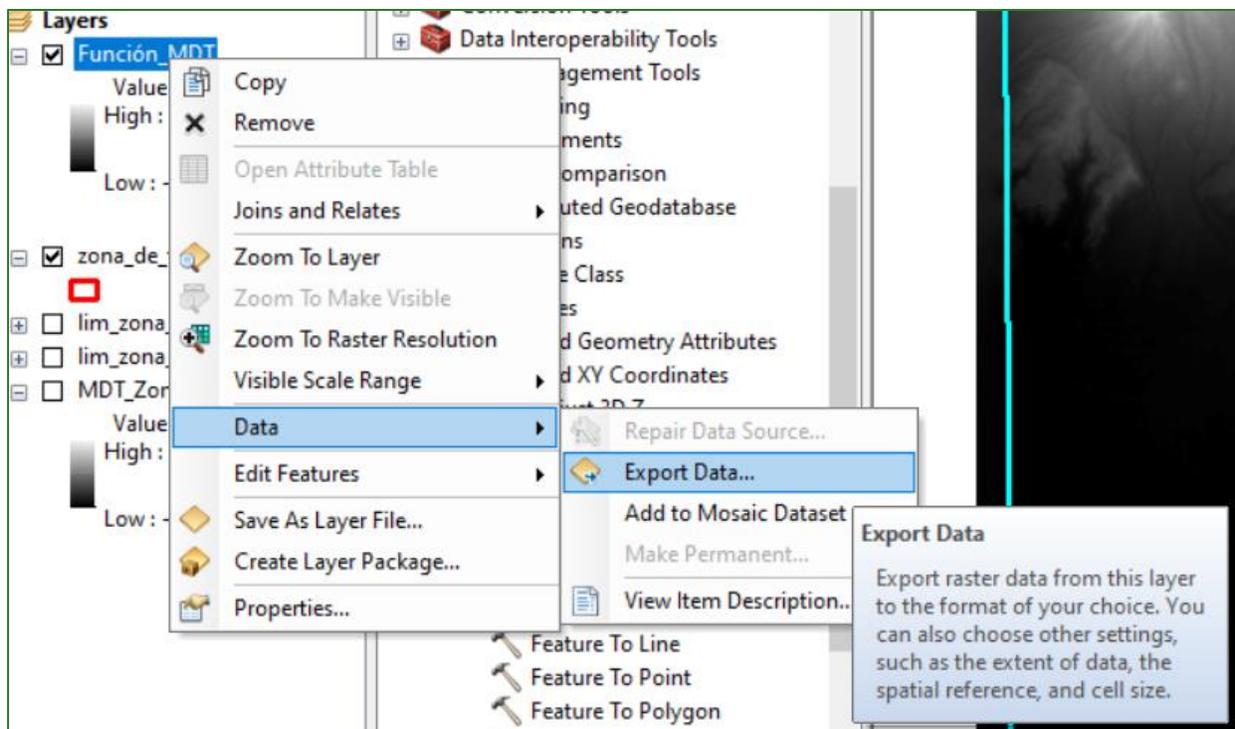
El tamaño del píxel de entrada (Input cell size) corresponde a la resolución original del MDT, que en este caso es de **12.5 metros** (m). El tamaño de píxel de salida (Output cell size) para fines de este ejercicio será igual al de la imagen satelital utilizada para generar el mapa de cobertura arbórea (ej. 3 metros). Como método de interpolación seleccionar **Cubic Convolution**.



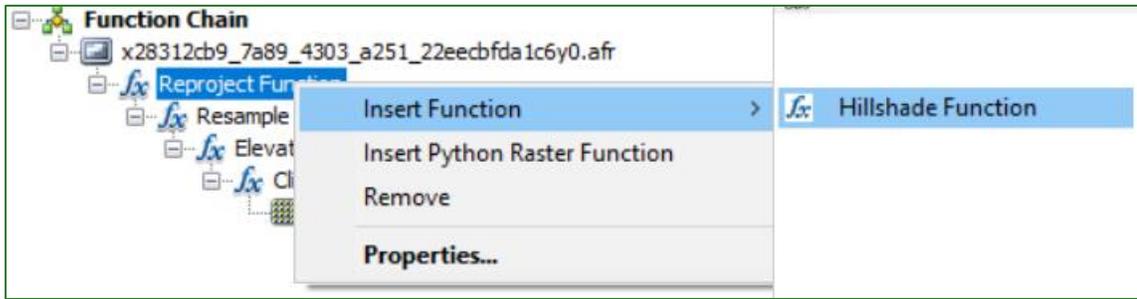
13. Haga clic derecho sobre **Resample Function** e inserte la función **Reproject Function**.



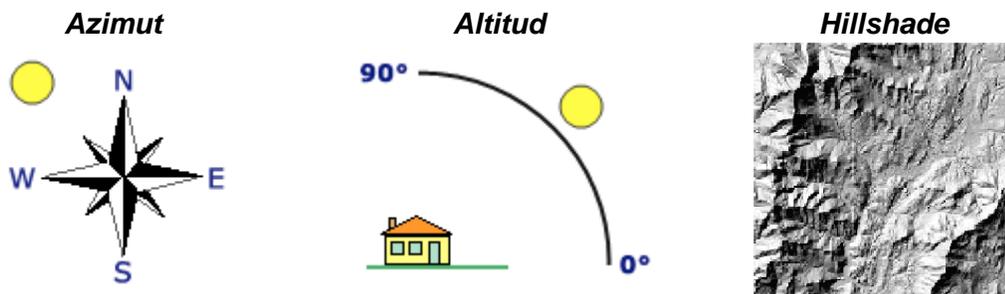
14. Exporte el ráster **Función MDT** y almacénelo en la carpeta **RASTER/MDT** con el nombre **MDT_procesado.tif**.

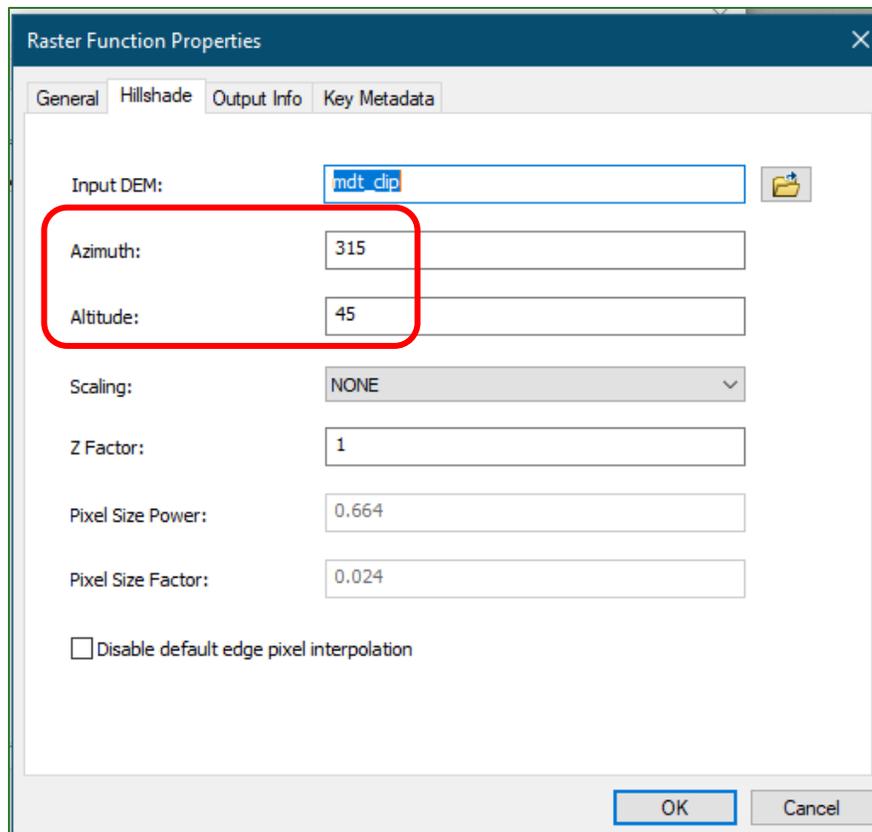


15. Vuelva a acceder a las propiedades del ráster **Función MDT** y haciendo clic derecho sobre **Project Function** inserte la función **Hillshade Function**.

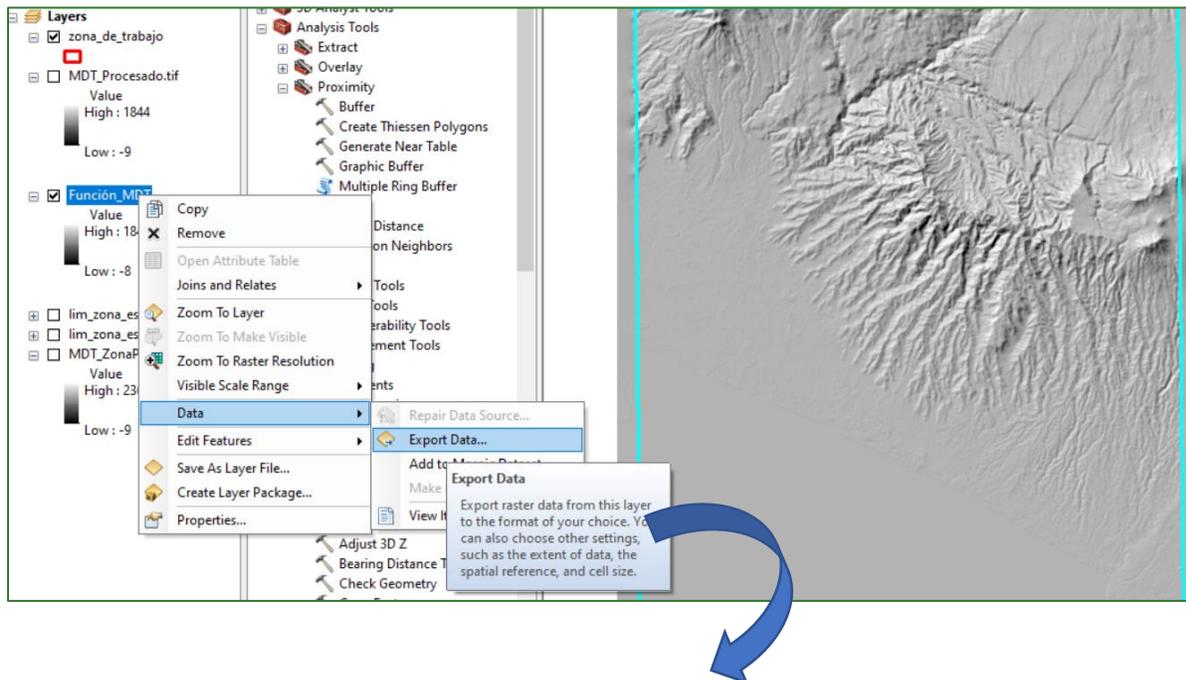


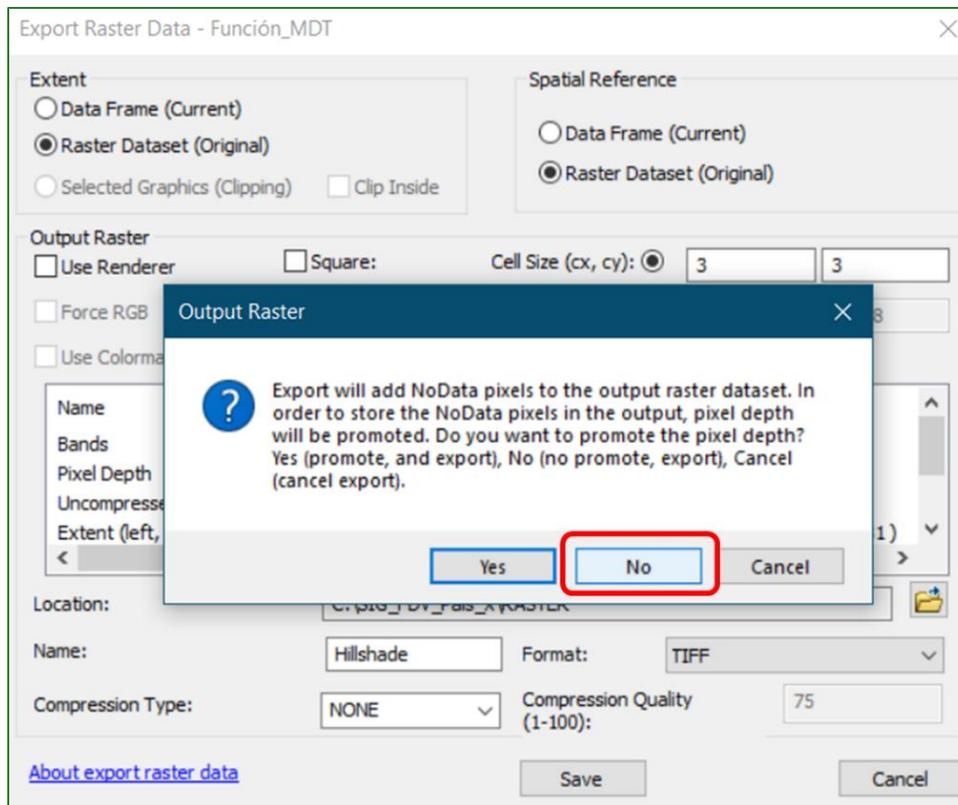
La función Hillshade genera una visualización con apariencia tridimensional del terreno teniendo en cuenta la posición del sol.



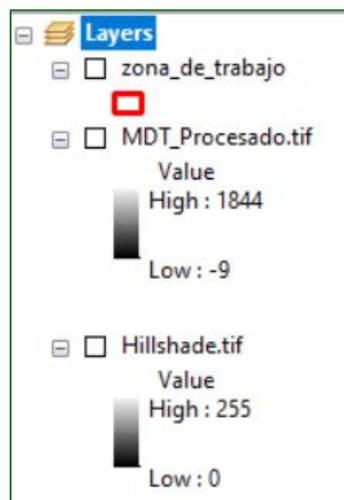


16. Repita el procedimiento de **Export Data** y almacene el archivo con nombre de **Hillshade.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**.

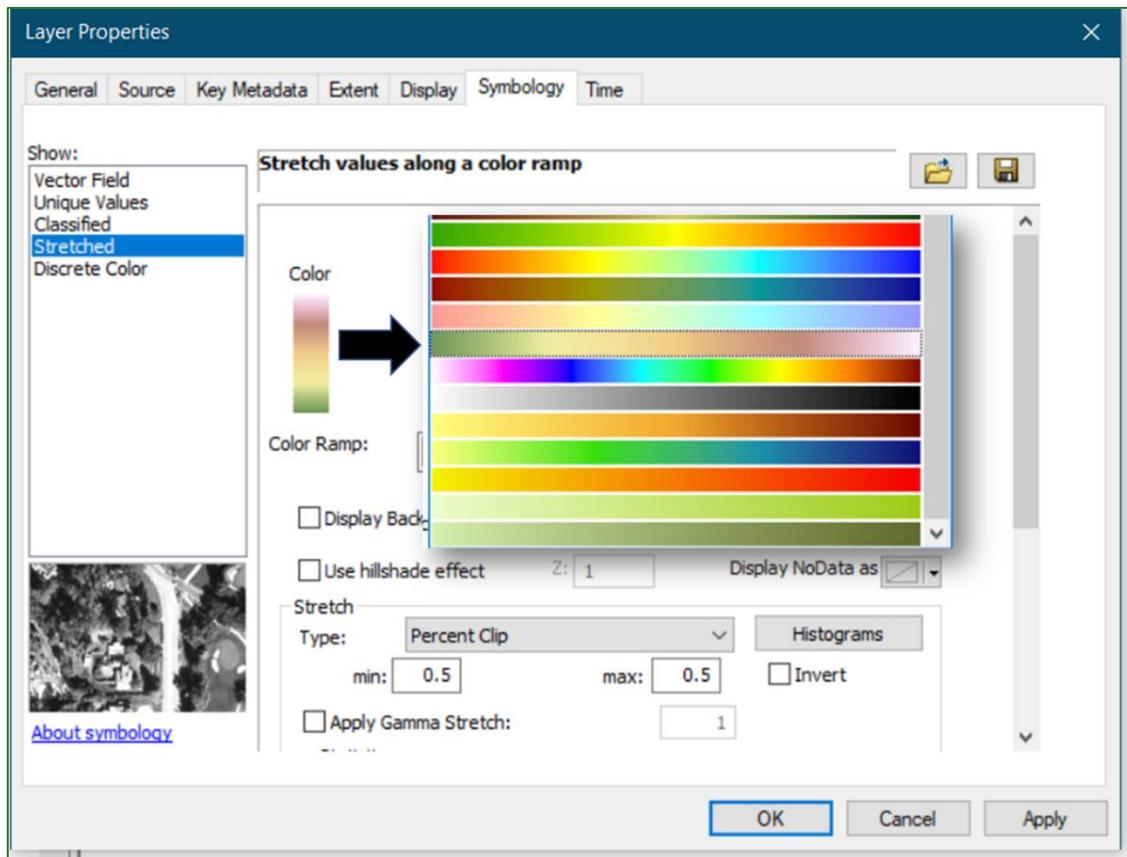




17. Limpie la Tabla de Contenido dejando solamente los archivos **Hillshade.tif**, **MDT_procesado.tif** y **zona_de_trabajo**, en el orden como se indica a continuación.



18. Acceda a las propiedades del **MDT_procesado** haciendo doble clic en el nombre del mismo y acceda a la pestaña de **Symbology**, asignando la paleta que se muestra a continuación.

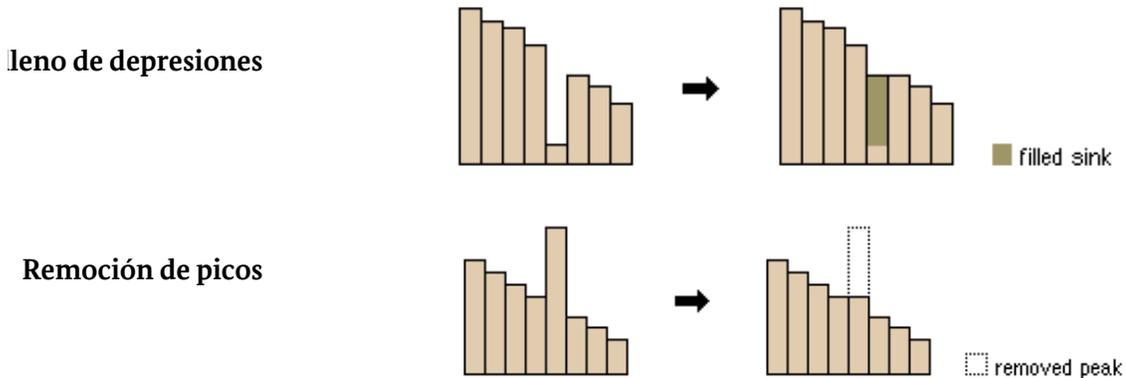


19. Luego en la misma ventana de **Layer Properties** acceda a la pestaña **Display** y asigne una **transparencia de 30%**. De esta forma se podrá visualizar tanto los rangos de elevación como la apariencia del relieve del hillshade.

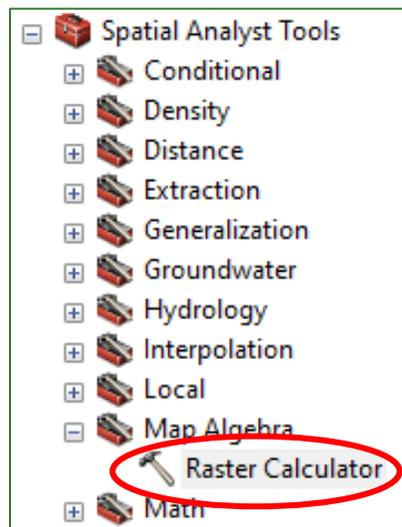


Parte 4. Corrección del Modelo Digital del Terreno (MDT)

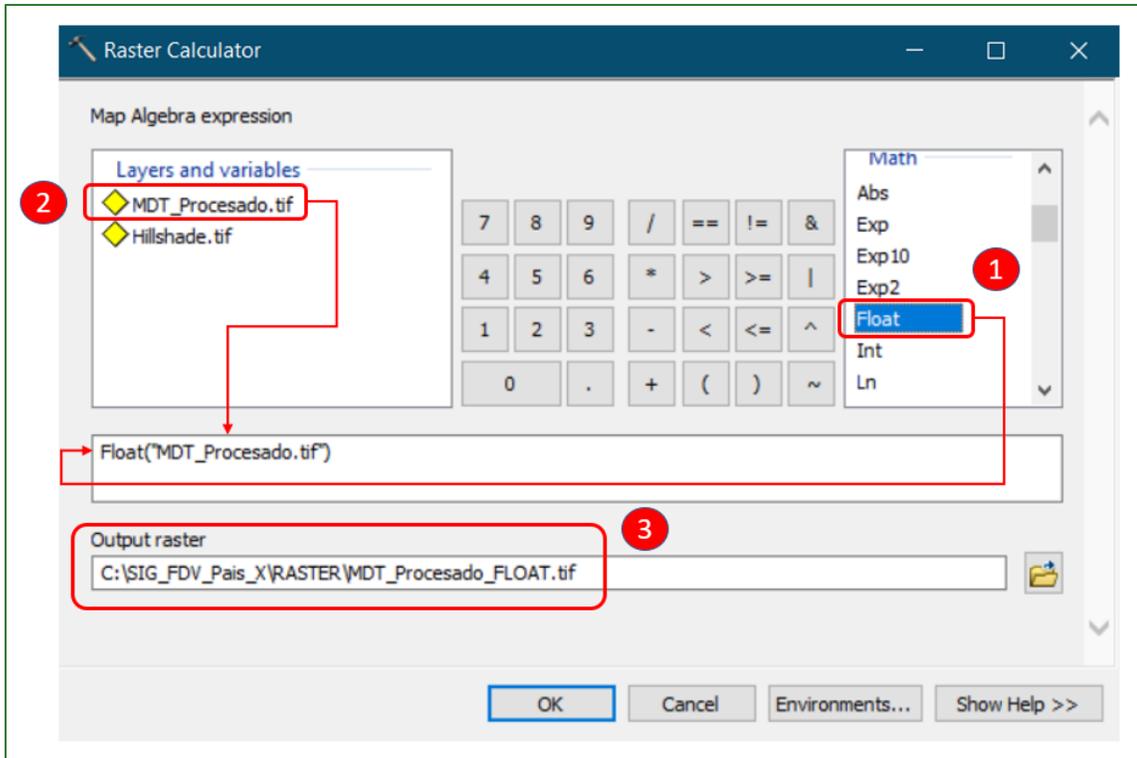
El MDT sin corregir contiene picos y depresiones que requieren ser corregidos para que en los procesos de simulación no trunquen la continuidad del flujo hídrico superficial.



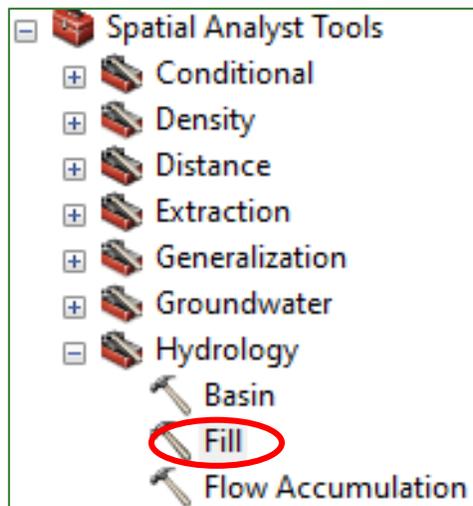
20. Antes de proceder a realizar la corrección del MDT, se requiere que los valores de este se conviertan de entero (INTEGER) a FLOAT. Para ello, utilice la herramienta **"Raster Calculador"** localizado en: **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**.



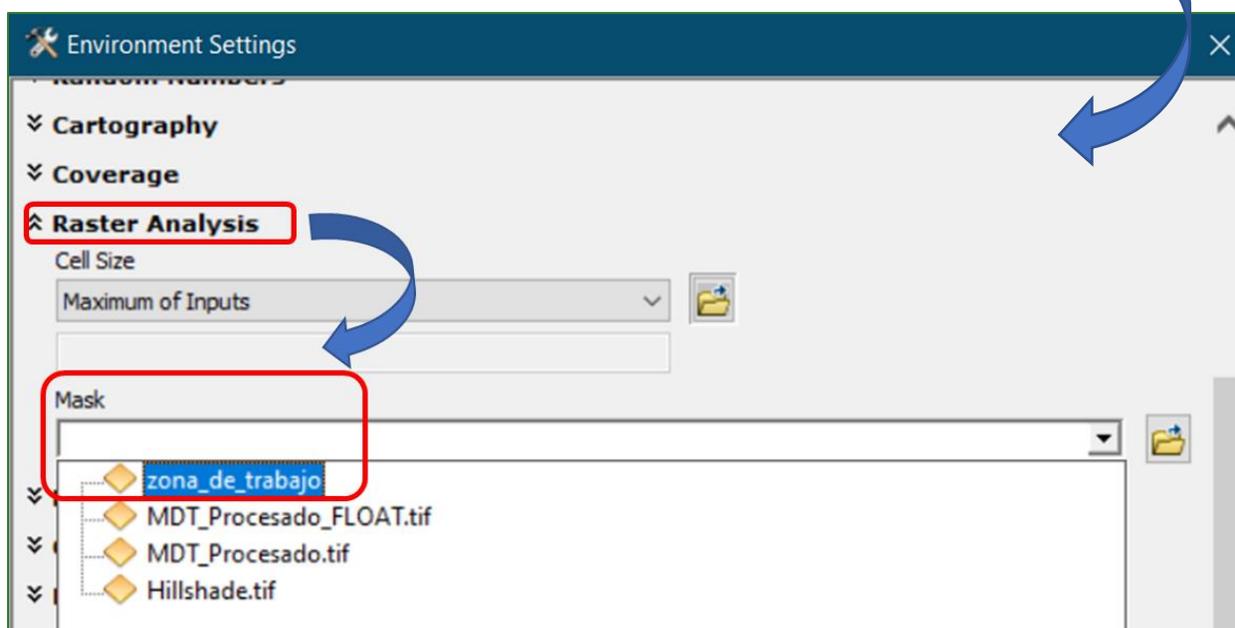
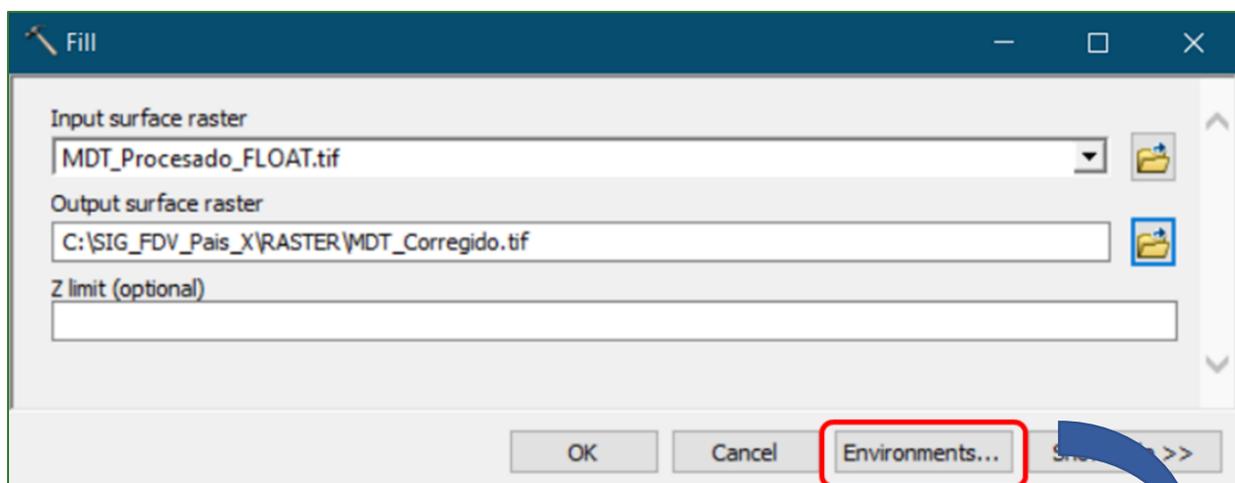
Aplique la formula como se indica a continuación: **Float("MDT_Procesado.tif")** como salida asigne el nombre de **MDT_proceado_FLOAT.tif** y almacénelo en la carpeta **RASTER/MDT**.



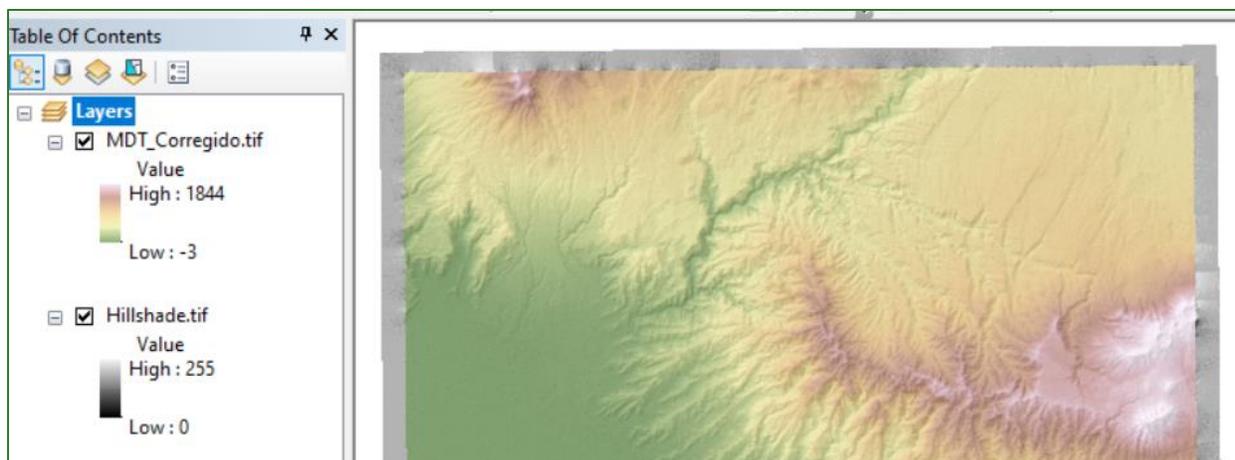
21. Ahora si podemos aplicar la herramienta FILL para rellenar las depresiones y remover los picos que impiden la continuidad del flujo hídrico superficial en el MDT. Para esto, aplicamos la herramienta “**Fill**” localizada en: **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Fill**.



Como Input debe seleccionar el **MDT_Procesado_FLOAT.tif** y como Output asigné el nombre **MDT_Corregido.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**. Aproveche este paso para cortar el archivo de salida contra la zona de trabajo. Para ello, haga clic en el botón **Environments...** y luego asigne el archivo **zona_de_trabajo.shp** en la sección **Raster Anaysis/Mask**.

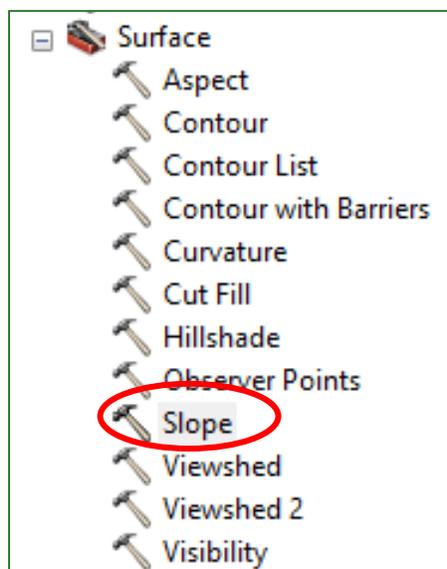


22. Asigne una paleta de colores al **MDT_corregido.tif** como lo hizo en los pasos anteriores y limpie la tabla de contenido dejando solamente los archivos **Hillshade.tif** y **MDT_corregido.tif**.

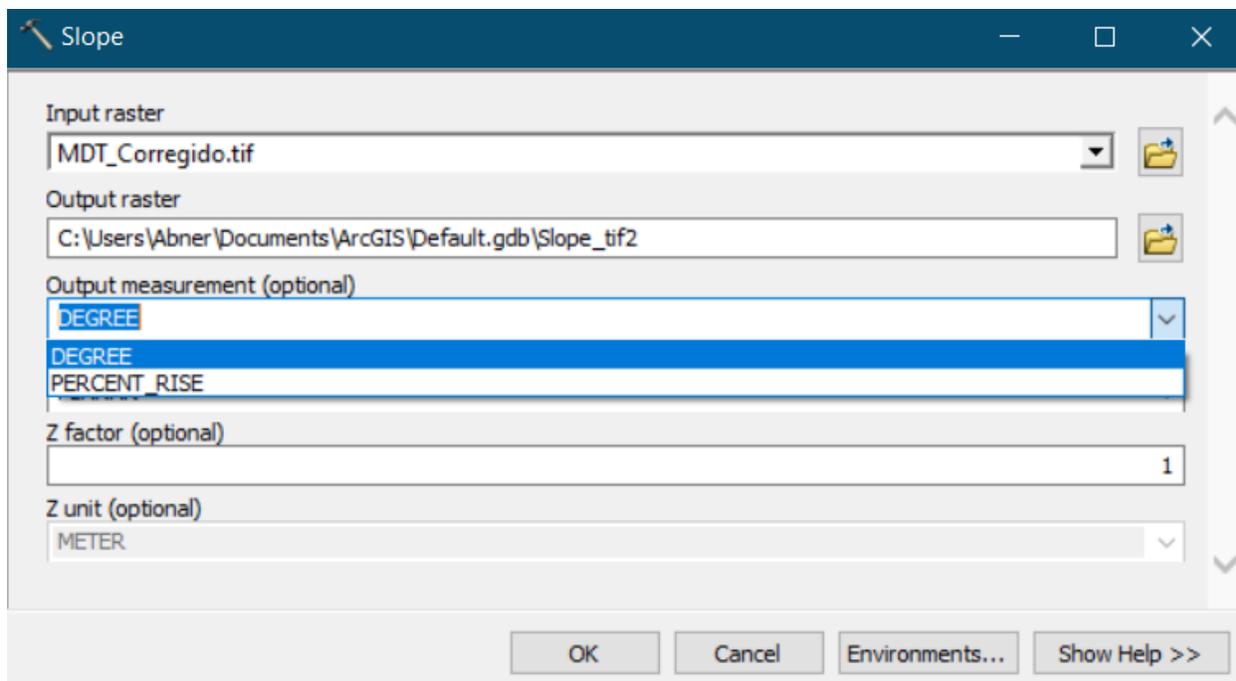


Parte 5. Obtención de métricas a partir del Modelo Digital del Terreno

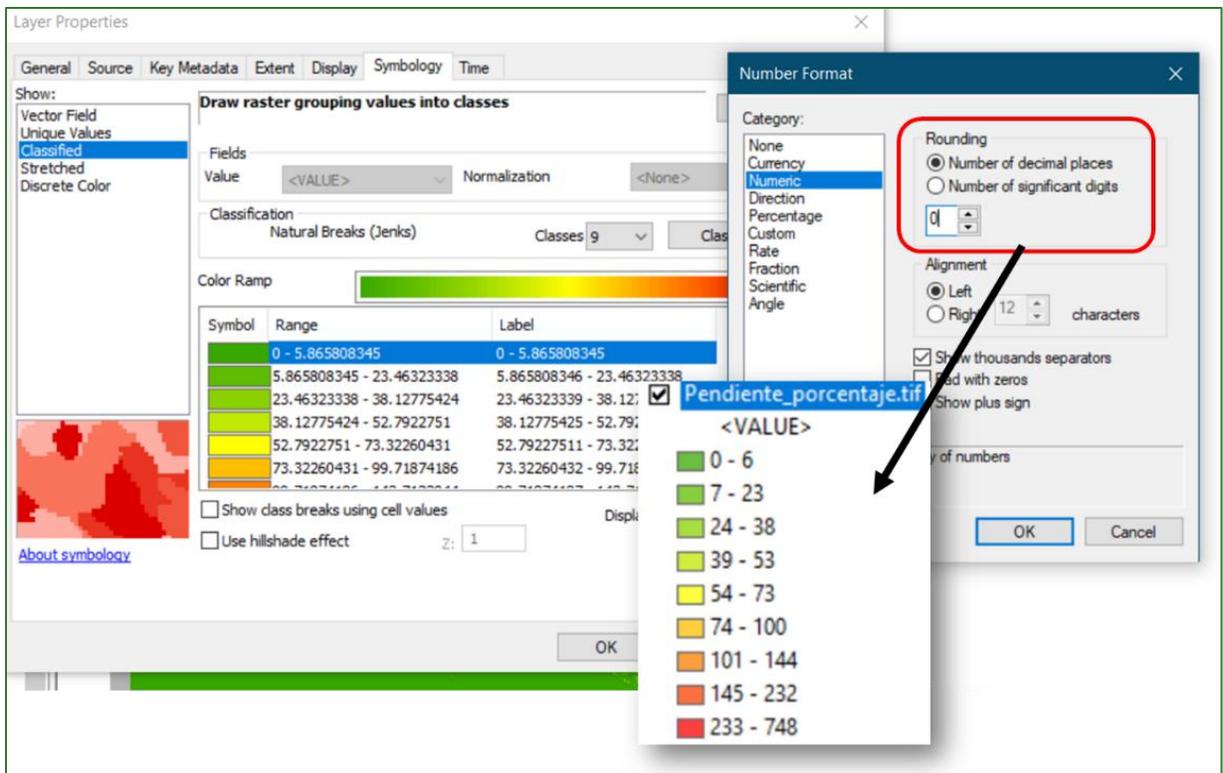
PENDIENTE DEL TERRENO: inclinación máxima que existe en los valores de elevación entre cada píxel y sus píxeles vecinos. Para obtener la pendiente del terreno del área de estudio, utilizaremos la herramienta “Slope” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tool/Surface/Slope**.



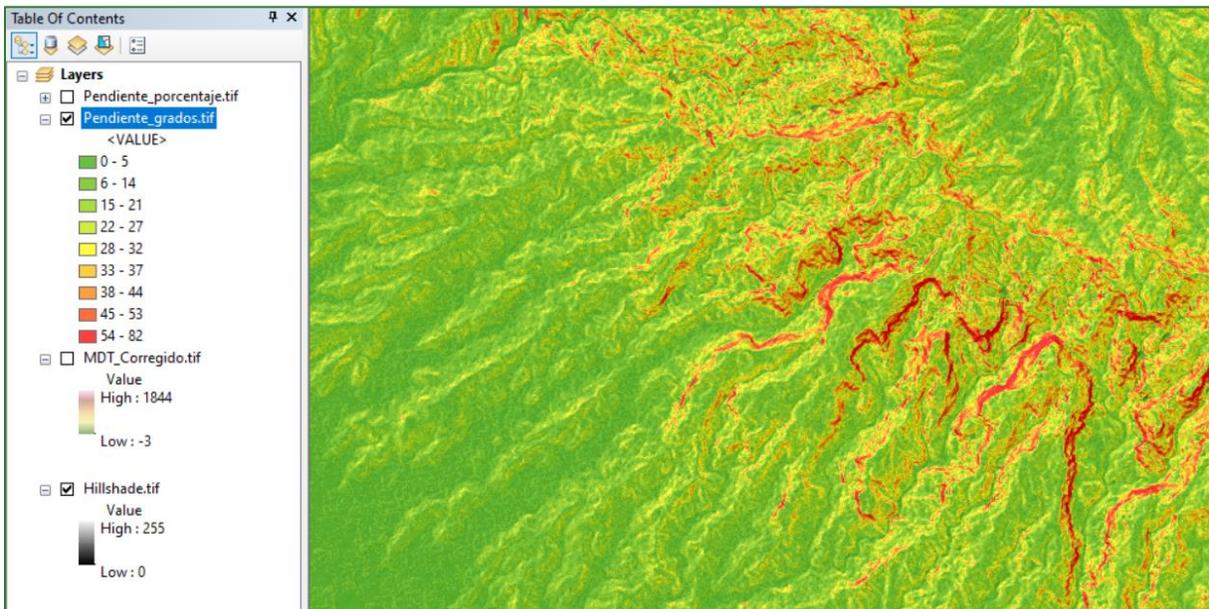
La pendiente se puede calcular en **grados** o en **porcentaje**:



23. Genere los ráster de **pendiente del terreno**, primero en grados y después en porcentaje, almacenándolos respectivamente con el nombre **pendiente_grados.tif** y **pendiente_porcentaje.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**.
24. Puede especificar el número de decimales que desean mostrar en los valores de la leyenda de un ráster, accediendo a la pestaña de simbología en las propiedades del ráster y haciendo clic derecho sobre la misma y seleccionado la opción **“Format Labels”**:

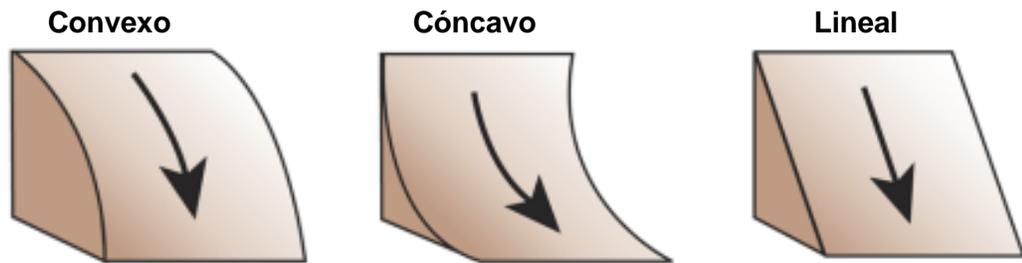


Ejemplo de resultado del cálculo de la pendiente del terreno:



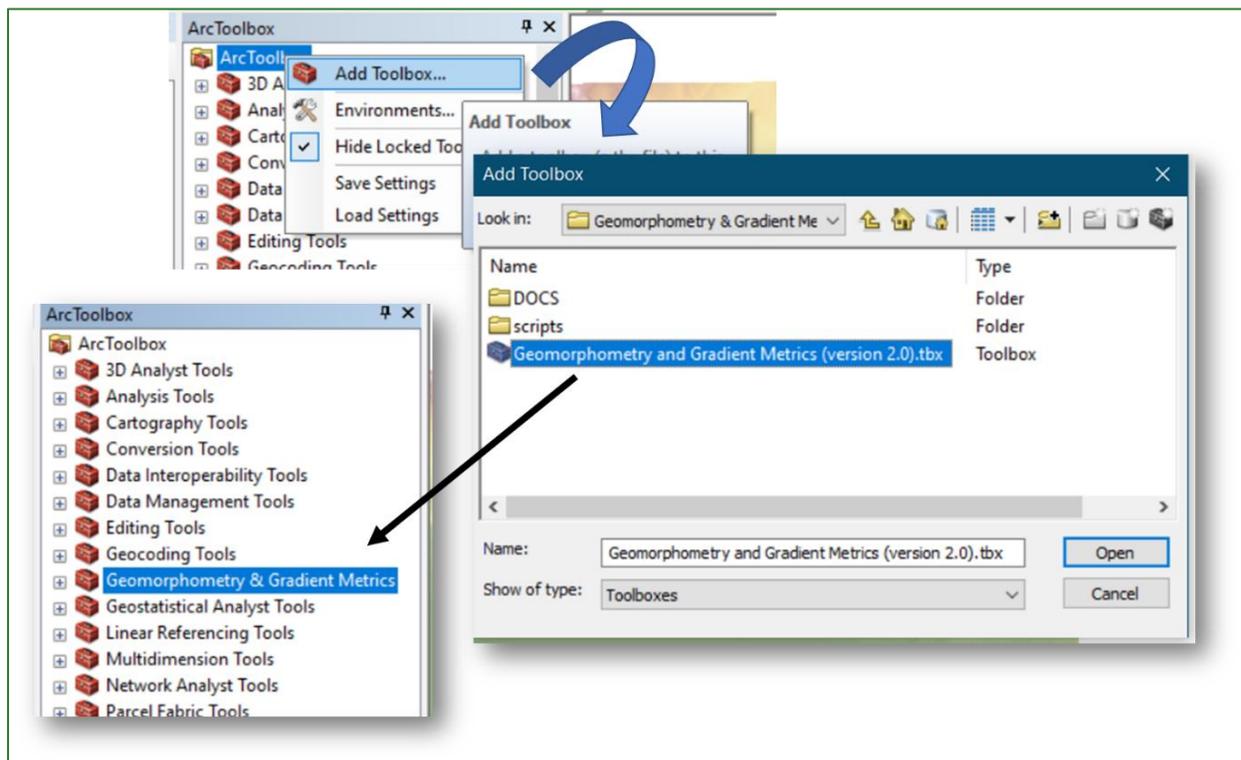
FORMA DEL TERRENO: se refiere la concavidad o convexidad de la superficie del terreno en la dirección de la pendiente. El cálculo de la forma se base en el concepto de curvatura.

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

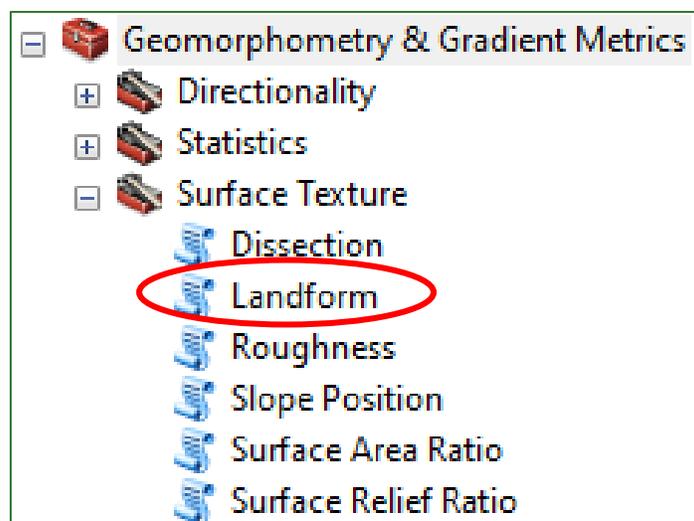


Para realizar este procedimiento se utilizará la herramienta (externa) “**Geomorphometry & Gradient Metrics**” localizada en la carpeta **SOFTWARE**.

25. Agregue la herramienta **Geomorphometry & Gradient Metrics** al **ArcToolBox** siguiendo los siguientes pasos.

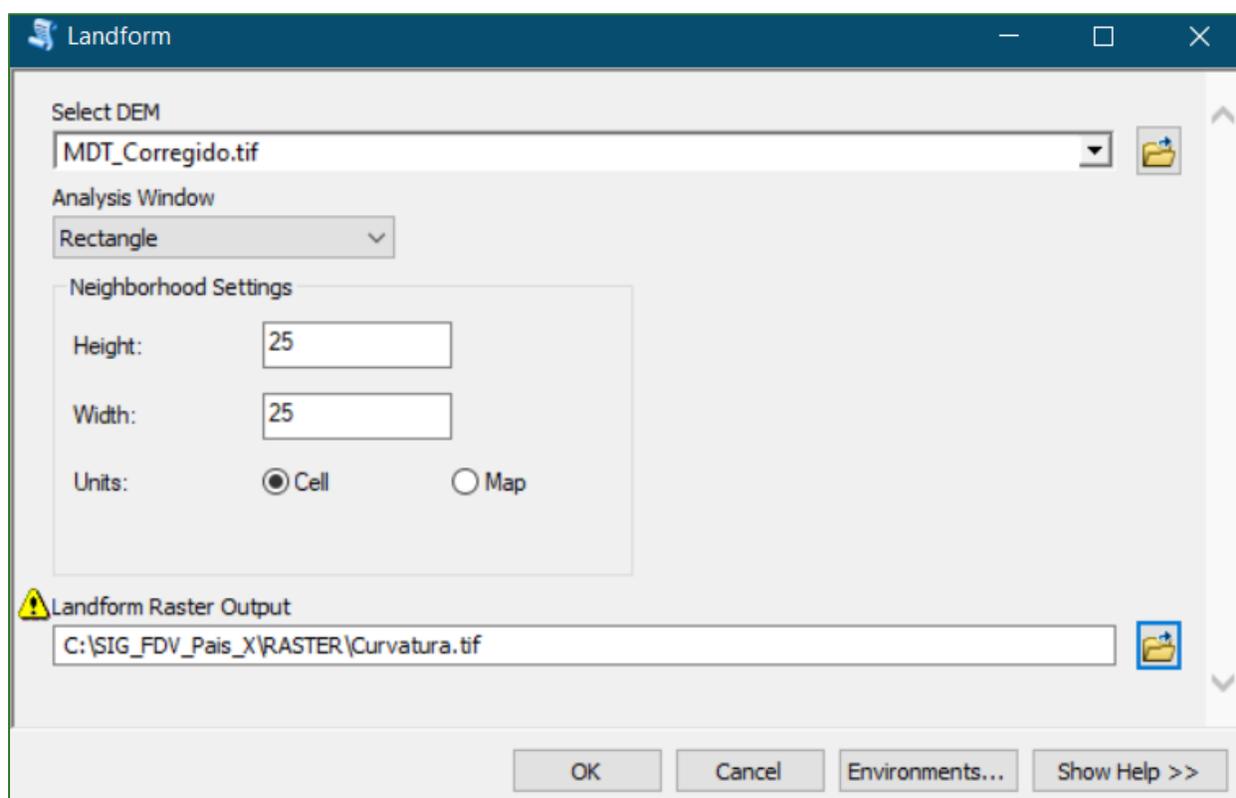


26. Desde **Geomorphometry & Gradient Metrics** acceda a la herramienta **Surface Texture/Landform**.



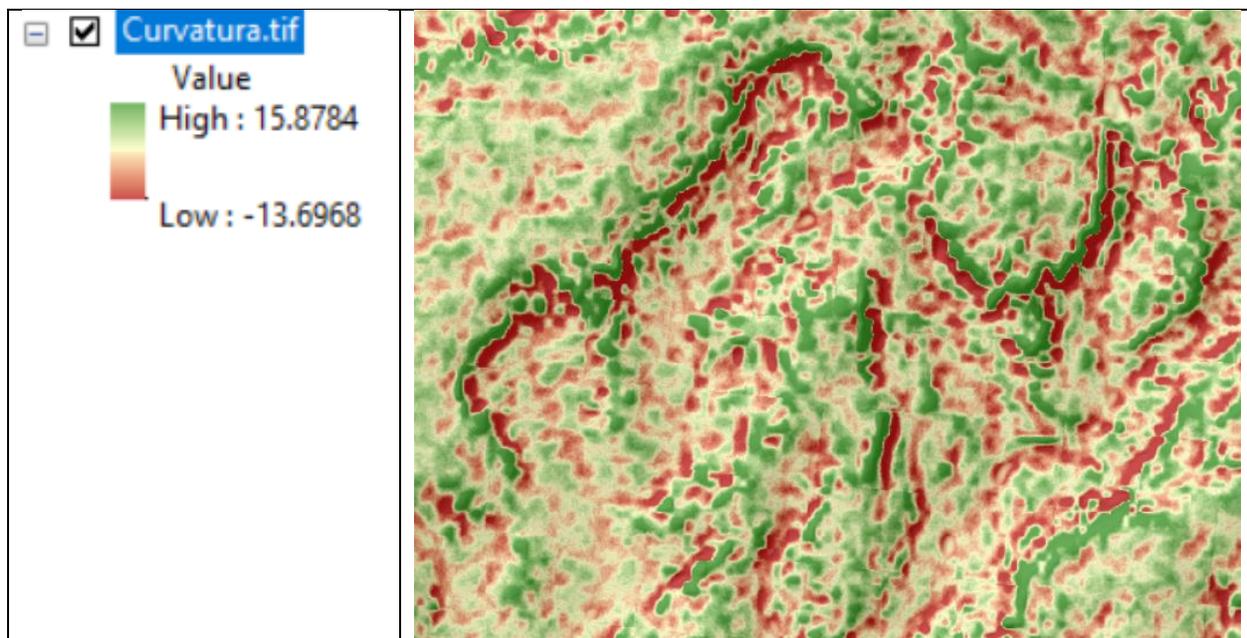
En Select DEM ingrese el **MDT_corregido.tif** y al archivo de salida asíguele el nombre de **Curvatura.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/MDT**.

Para un MDT de 3 m seleccione la opción de análisis **Rectangle** y con un valor de **25 (Cell)**, tanto para **Height** como para **Width**.



Asigne una leyenda al resultado, seleccionando una paleta de tres colores:

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la []generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA



Consideraciones generales: en algunas versiones de ArcMapa la herramienta Geomorphometry & Gradient Metrics puede presentar error al momento de su ejecución; una forma de resolverlo es mediante la edición del código. Siempre que se ejecuta una herramienta en un script, se requiere una licencia de ArcGIS. Las herramientas de las extensiones de ArcGIS, como la extensión ArcGIS Spatial Analyst, requieren una licencia adicional para esa extensión. Si las licencias necesarias no están disponibles, una herramienta falla y devuelve mensajes de error. La opción para resolver ese error es mediante la edición del código, mediante el cual se debe reemplazar “Avaible” por “NotLicensed”. A partir de ese momento la herramienta Geomorphometry & Gradient Metrics podrá ejecutarse sin problema. Mayor detalle sobre corrección de una extensión o herramienta debido a licencia está disponible en el siguiente enlace: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/python/access-to-licensing-and-extensions.htm>

```
landform.py: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
#-----
# Name:      Landform.py
# Purpose:
#
# Authors:   Jeff Evans and Jim Oakleaf
#
# Created:   09/09/2014
# Copyright: (c) Evans and Oakleaf 2014
# Licence:   Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)
#-----

from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import os
import geomorph_routines_module

class LicenseError(Exception):
    pass

try:
    #Check for spatial analyst license
    if arcpy.CheckExtension("Spatial") == "Available":
        arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
    else:
        raise LicenseError
    #Modeling polygon --- roadless
    inR = arcpy.GetParameterAsText(0)
    r = geomorph_routines_module.checkExt(inR)

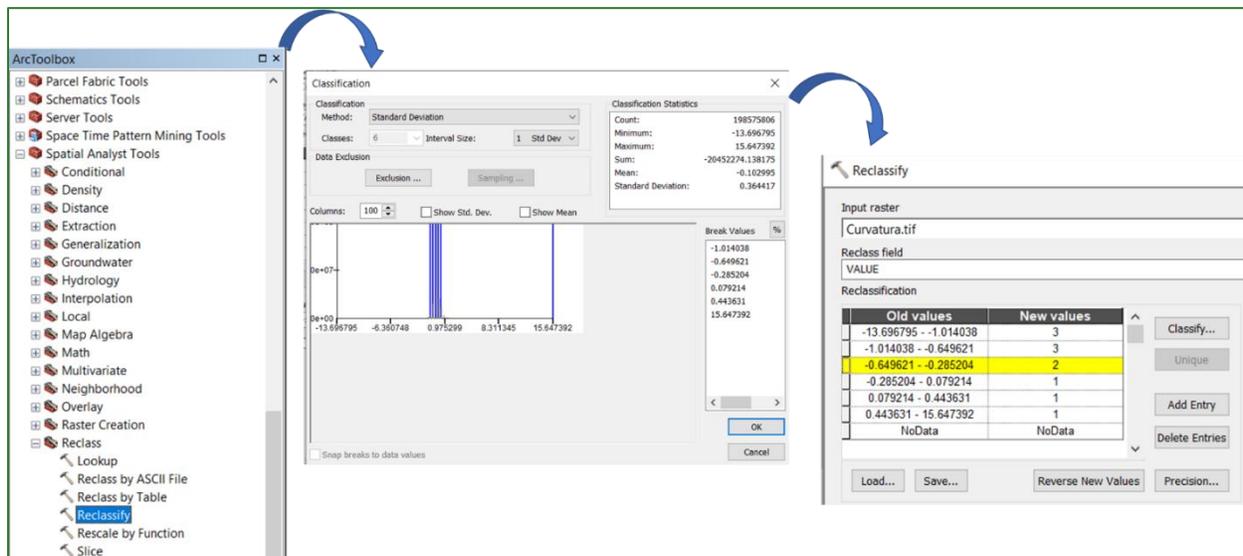
    # Set overwrite option
    env.overwriteOutput = True
```

Parte 6. Obtención de geformas y clasificación del relieve

1. Como primer paso debe reclasificar el archivo del ráster **Curvatura.tif**, esto lo realizará utilizando la herramienta “**Reclassify**” localizada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**.

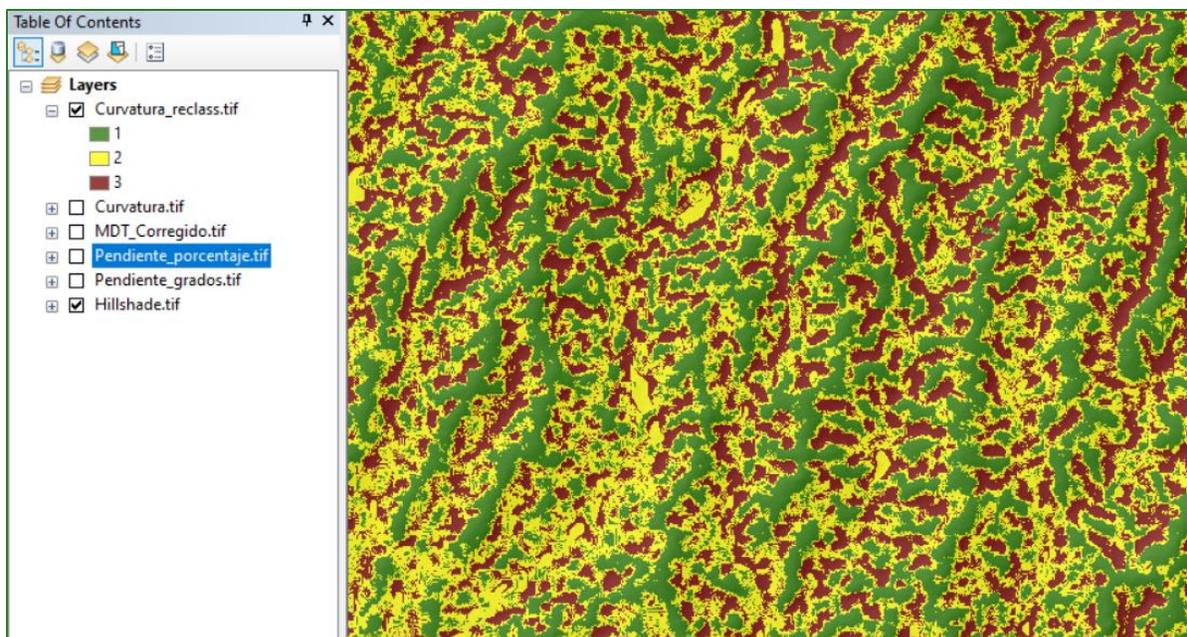
- En la casilla de Input Raster ingrese el ráster denominado **Curvatura.tif**.
- Clic en la ventana **Classify**.
- Reclasifíquelo usando el método de **Estándar Desviación**.
- Haga clic en el botón  para aplicar la reclasificación según el método **Estándar Desviación**. Asigne los **New values** según se indica en el siguiente cuadro. Al archivo de salida asígnele el nombre **Curvatura_reclass.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**.
- Asigne los valores según se muestran los siguientes rangos:

Pendiente	Nuevo Valor
Rangos menores que el rango medio	3
Rango medio	2
Rangos mayores que el rango medio	1



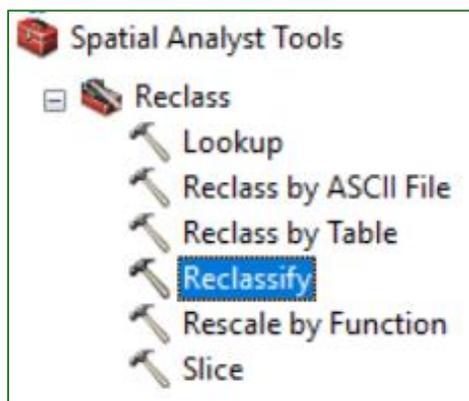
Ejemplo del resultado de la reclasificación de la curvatura:

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

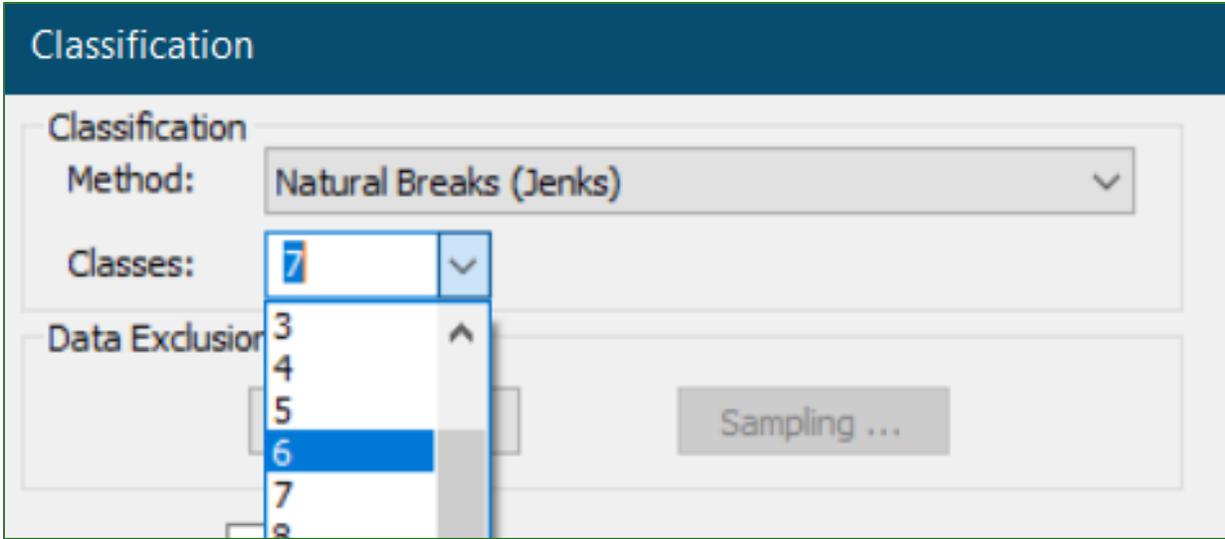


1 = Cresta (Convexo) 2 = Ladera recta / Llanura 3 = Pie de Ladera (Convexo)

Aplique la herramienta de reclasificación para obtener los ráster de reclasificación de **pendiente_porcentaje.tif** y **MDT_Corregido.tif**, utilizando los rangos de cuadro que se muestra a continuación.



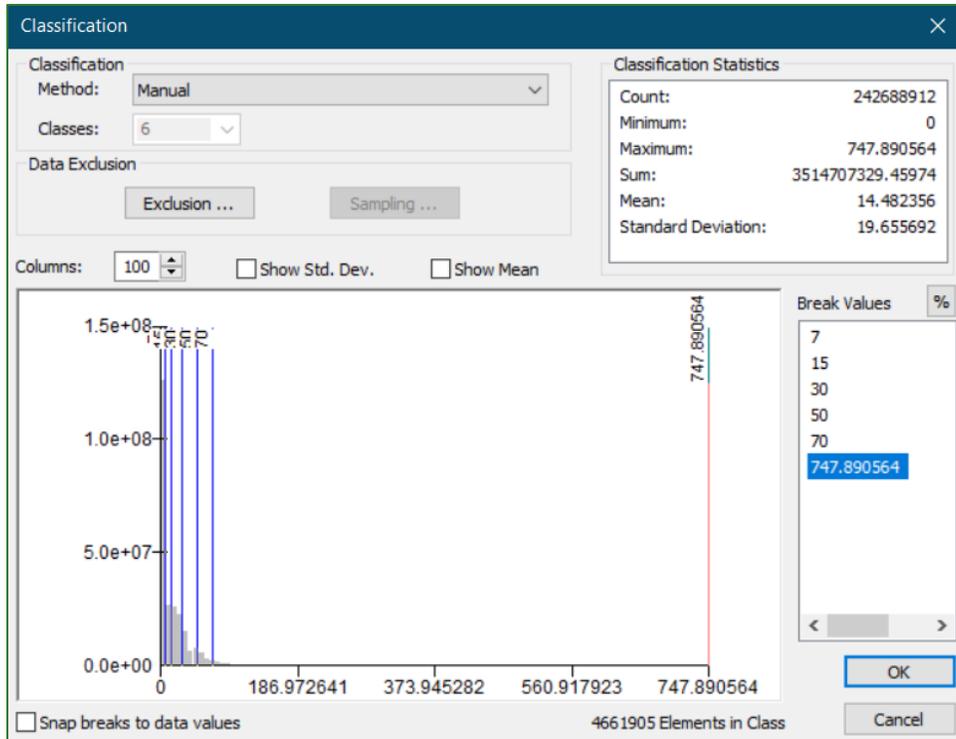
Para ello acceda al y asigne las clases según se indica en cuadro a continuación.



Pendiente	Nuevo Valor
0-7%	10
7-15%	20
15-30%	30
30-50%	40
50-70%	50
>70%	60

Altitud	Nuevo Valor
0-500	100
500-1,000	200
1,000-2,000	300
>2000	400

Al archivo de salida de la pendiente reclasificada asígnele el nombre de **Pendiente_porcentaje_reclass.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**.



Input raster: Pendiente_porcentaje.tif

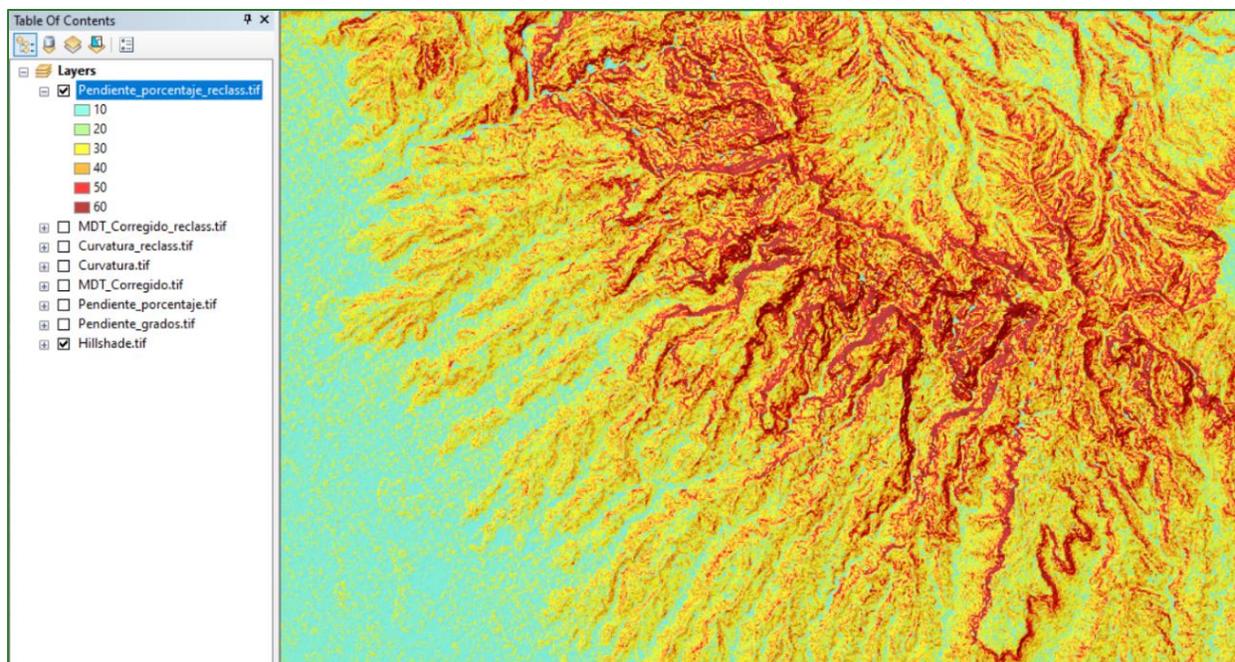
Reclass field: VALUE

Reclassification

Old values	New values
0 - 7	10
7 - 15	20
15 - 30	30
30 - 50	40
50 - 70	50
70 - 747.890564	60
NoData	NoData

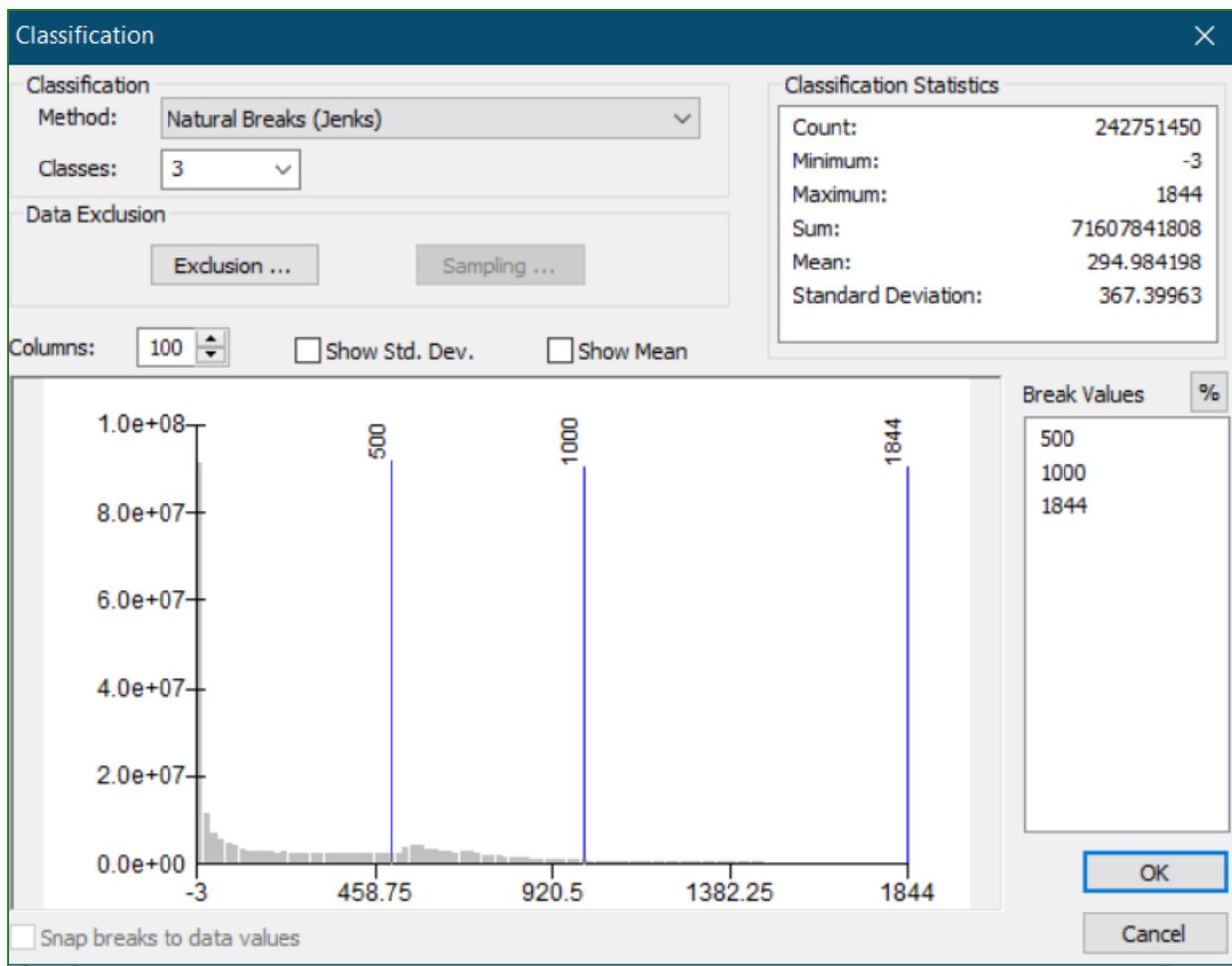
Buttons: Classify..., Unique, Add Entry, Delete Entries, Load..., Save..., Reverse New Values, Precision...

Output raster: C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\Pendiente_porcentaje_reclass.tif

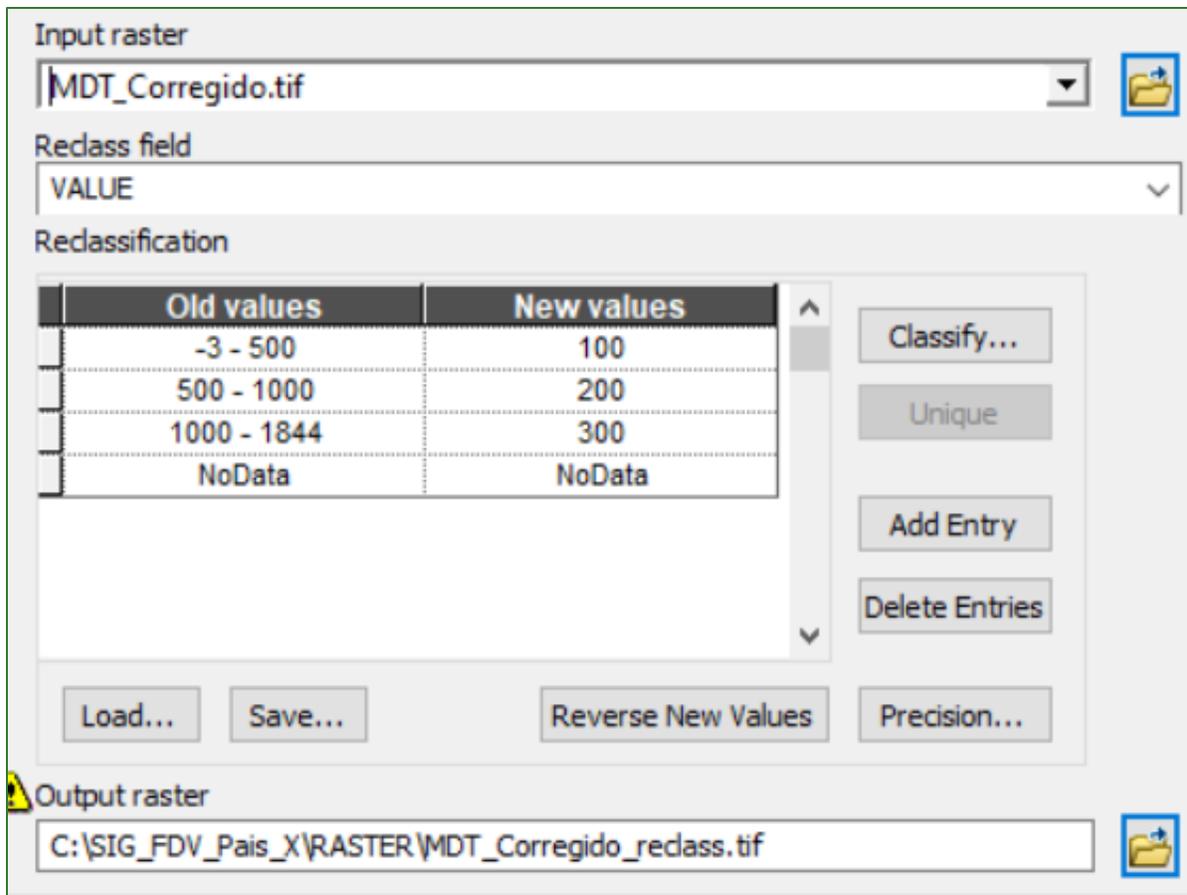


Ejemplo de salida de la pendiente reclasificada:

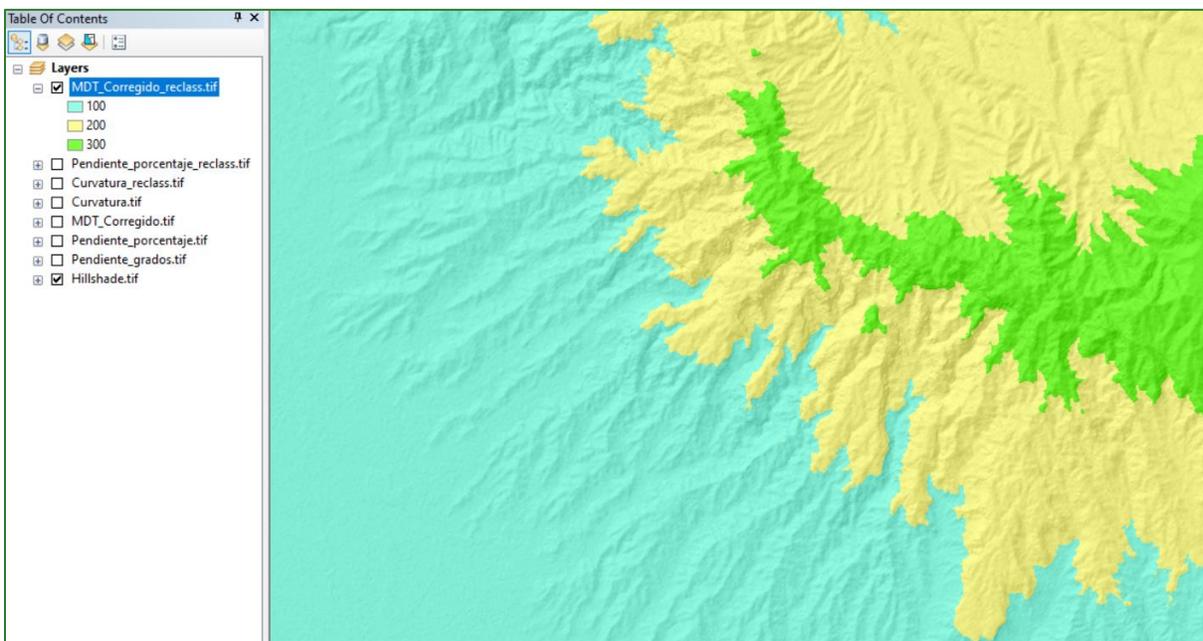
En el caso de la elevación (MDT), revise primero la altitud máxima de su zona de estudio y así defina el número de clases según la tabla.



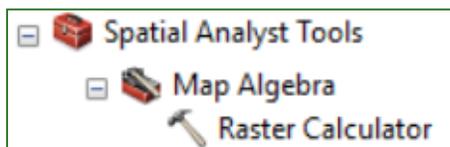
Al archivo de salida del MDT reclasificado, asígnele el nombre de **MDT_Corregido_reclass.tif** en la carpeta **RASTER/MDT**.



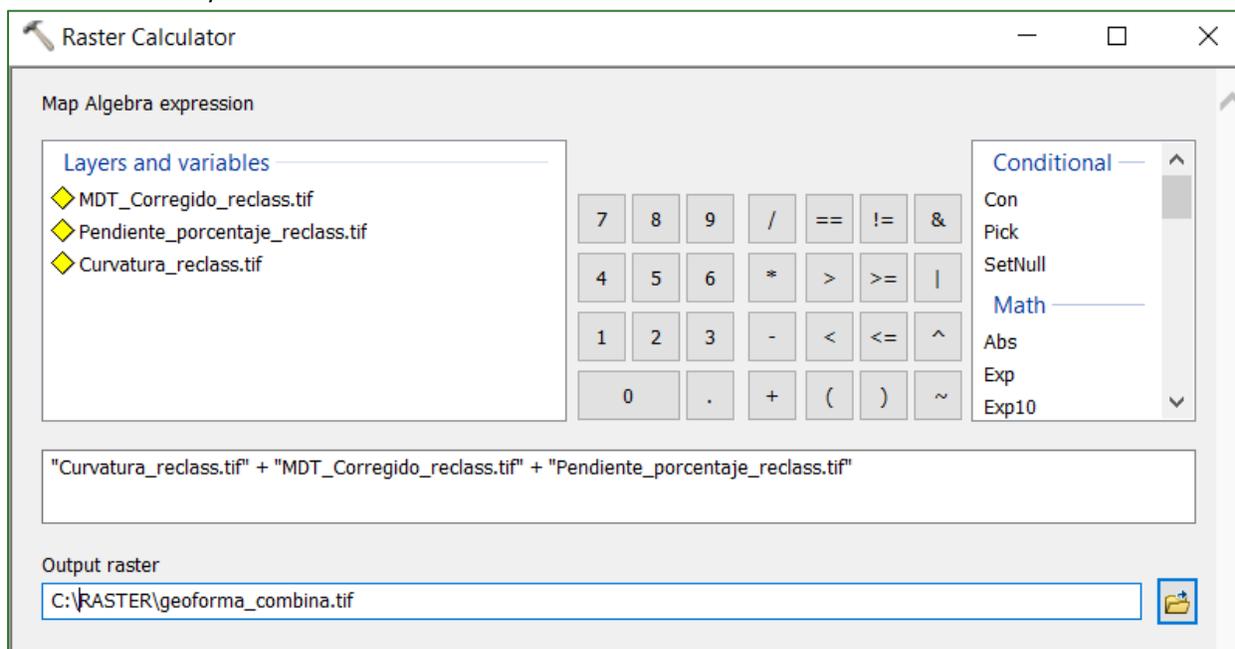
Ejemplo de salida del MDT reclasificado:



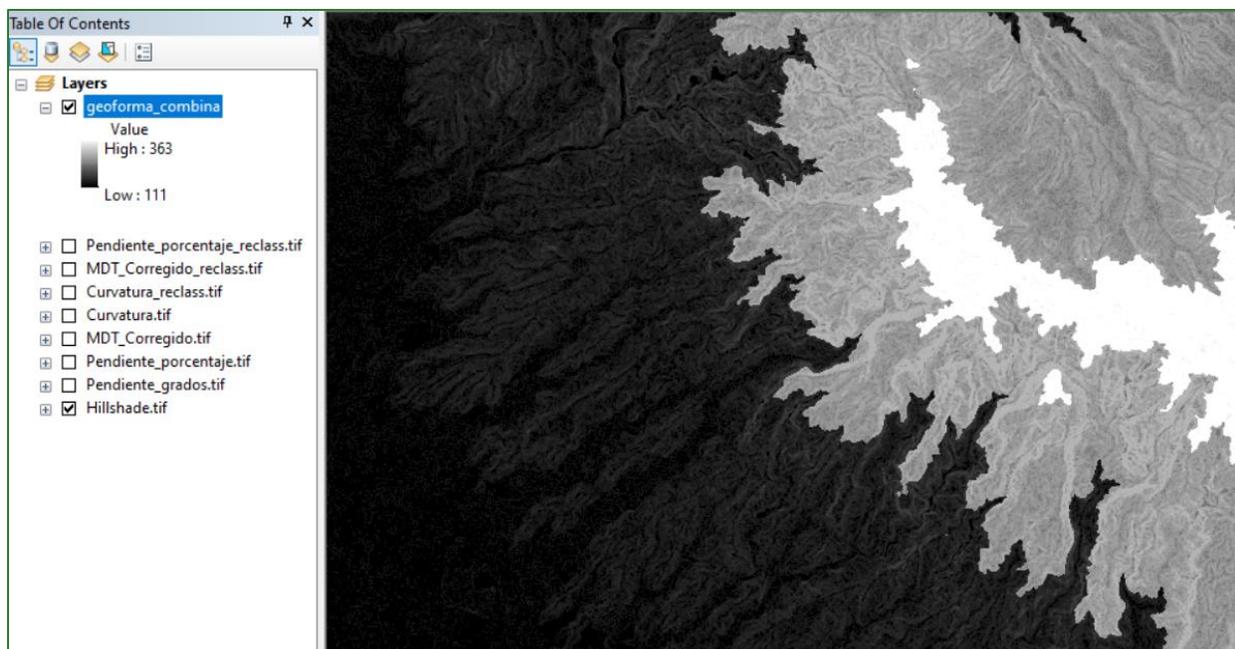
Sume los tres ráster reclasificados usando la calculadora de mapas (Raster Calculator), el orden de los archivos es relevante en este paso: **Curvatura_reclass.tif + MDT_Corregido_reclass.tif + Pendiente_porcentaje_reclass.tif**.



Al ráster de salida asíguele el nombre de **geoforma_combina.tif** y guárdelos en la carpeta **RASTER/MDT**.

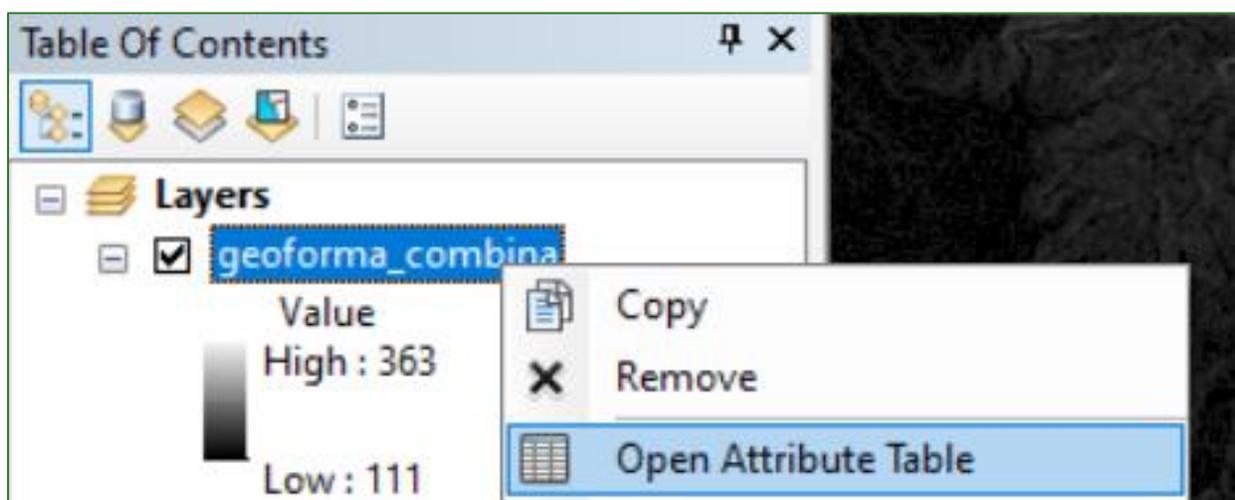


Como resultado se obtendrán valores que representan la combinación entre la pendiente, la altitud y la curvatura:

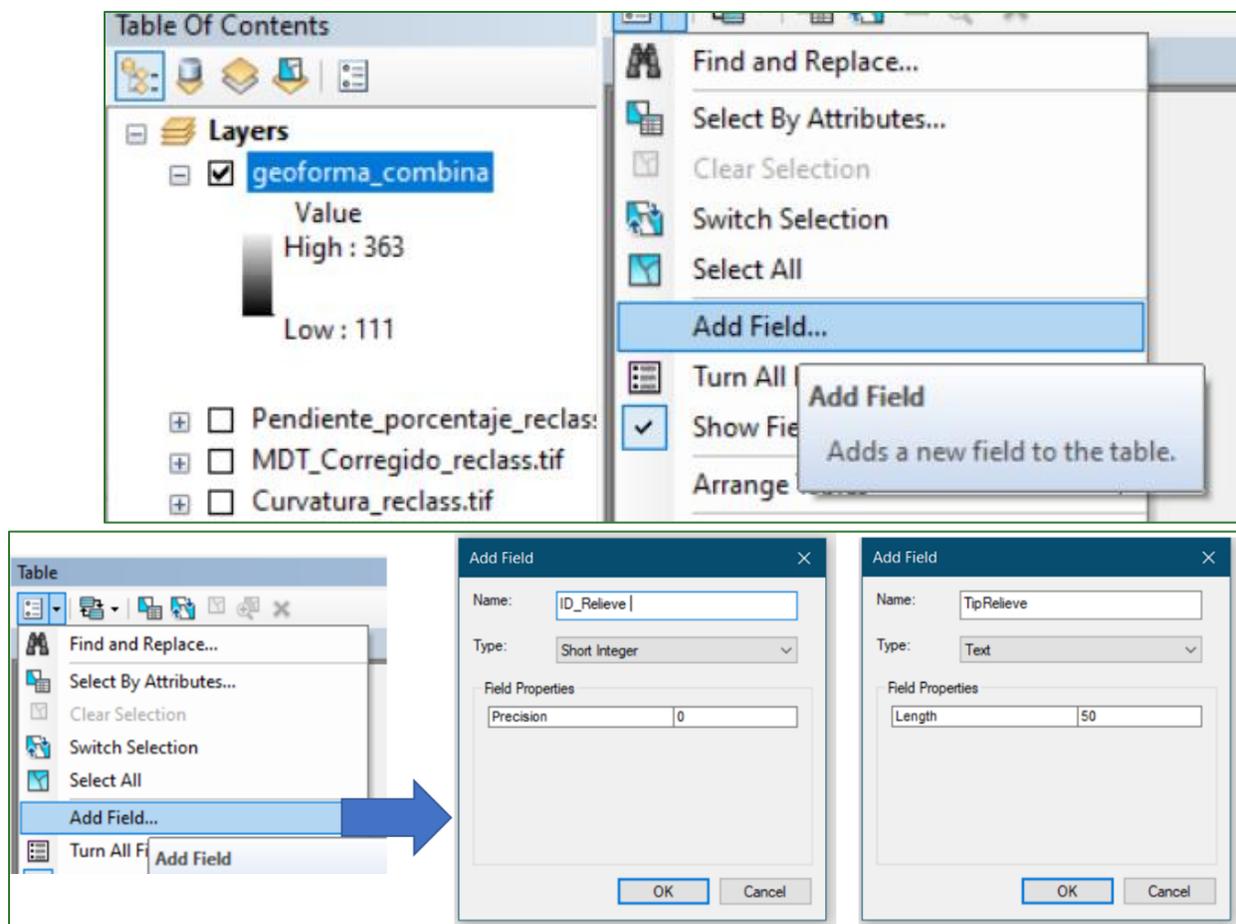


2. En la tabla de atributos de ráster resultante **geoforma_combina.tif** agregue los campos **ID_Relieve** (campo numérico) y **TipRelieve** (campo de texto).

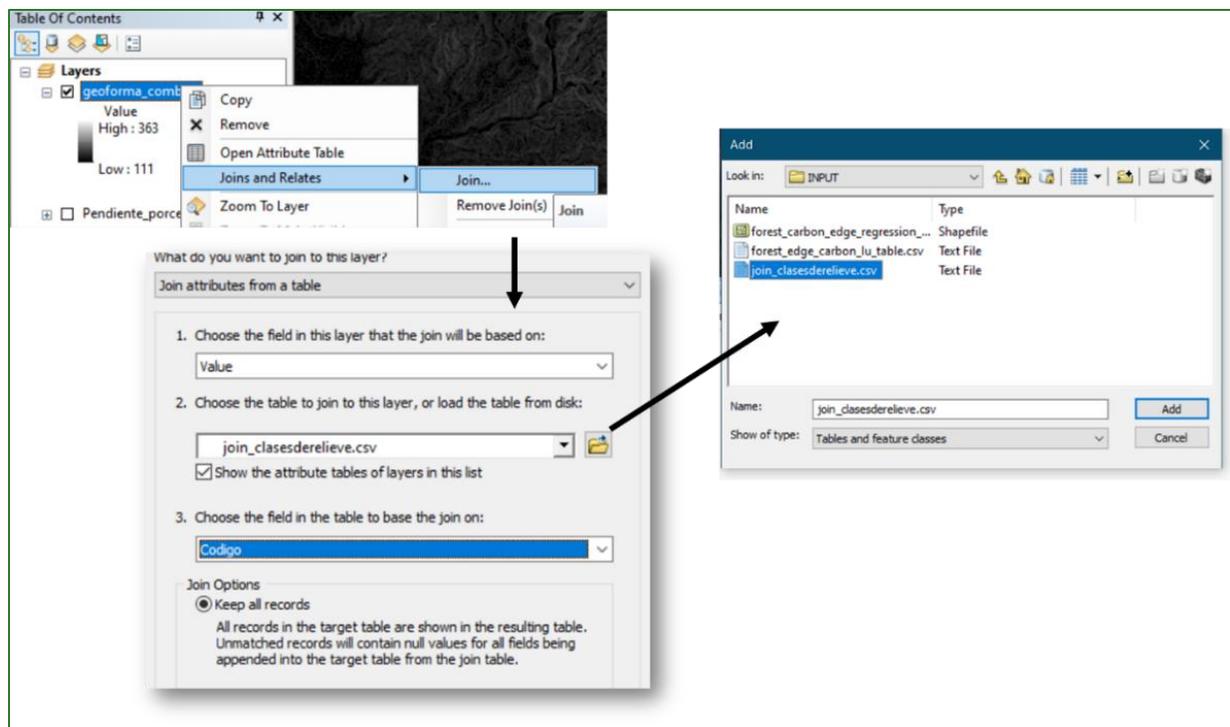
Para acceder a la tabla de atributos haga clic derecho en **geoforma_combina.tif** y luego en **Open Attribute Table**.



Para agregar cada campo haga clic en **Field**.



3. Haga un join entre la tabla de atributos **geoformas_combina.tif** y la tabla **“join_clasesderelieve.csv”**, se encuentra disponible en un repositorio web de GitHub y puede ser descargada en la siguiente dirección: <https://github.com/guialandscape/Tablas>

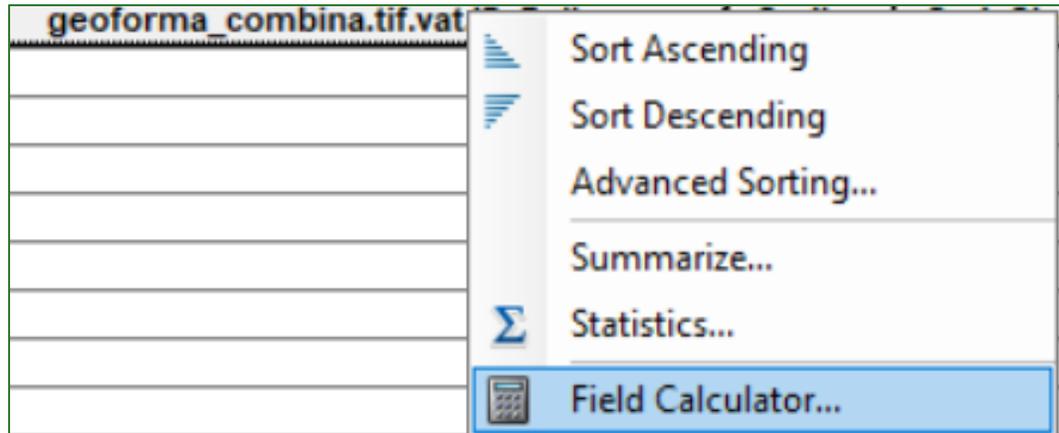


Como resultado se transfieren las siguientes 16 categorías de relieve al ráster **geoforma_combina.tif**.

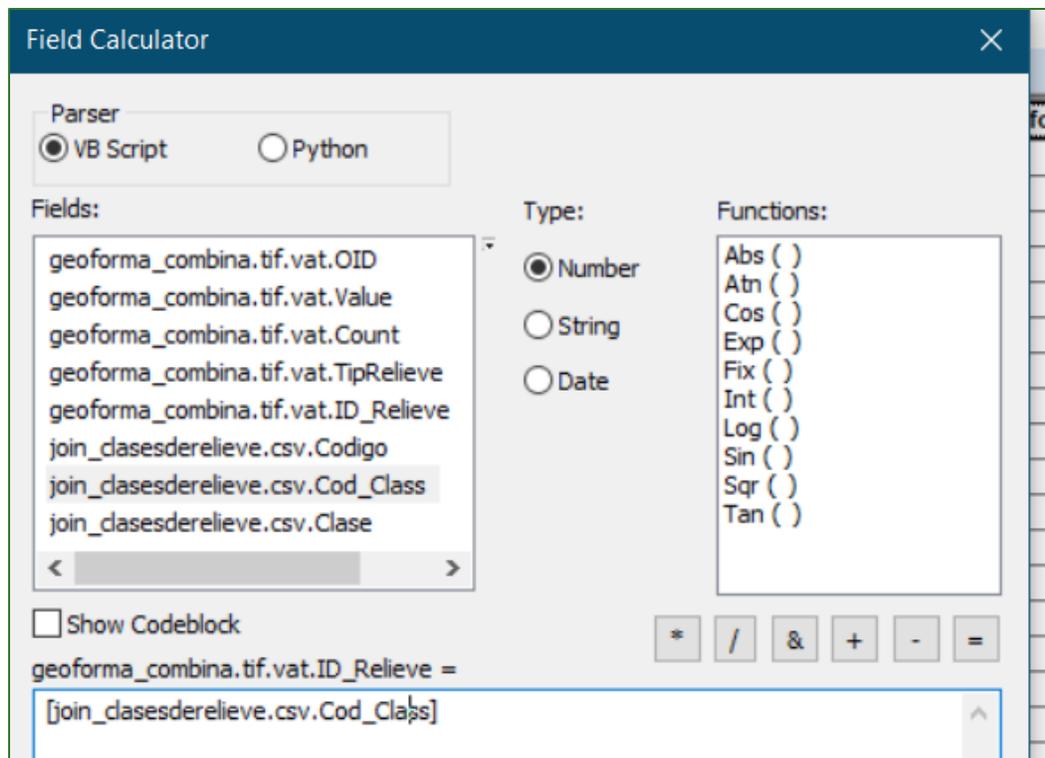
			Piso Altitudinal:	Tierras Bajas	Submontano	Montano	Altimontano	
				0-500	500-1000	1000-2000	>2000	
Pendiente		Forma del Terreno		100	200	300	400	
10	Plano	0-7%	11 Cresta	1	1	2	2	1 Llanura (plana) 2 Meseta (plana)
			12 Ladera/Llanura	1	1	2	2	
			13 Pie de Ladera	1	1	2	2	
20	Ligeramente Plano	7-15%	21 Cresta	3	3	4	4	3 Llanura (ondulada) 4 Meseta (ondulada)
			22 Ladera/Llanura	3	3	4	4	
			23 Pie de Ladera	3	3	4	4	
30	Moderadamente Inclinado	15-30%	31 Cresta	11	12	12	13	5 Ladera inclinada de tierras bajas 6 Ladera escarpada de tierras bajas
			32 Ladera/Llanura	5	7	7	9	
			33 Pie de Ladera	14	15	15	16	
40	Inclinado	30-50%	41 Cresta	11	12	12	13	7 Ladera inclinada de altitud media 8 Ladera escarpada de altitud media
			42 Ladera/Llanura	5	7	7	9	
			43 Pie de Ladera	14	15	15	16	
50	Escarpado	50-70%	51 Cresta	11	12	12	13	9 Ladera inclinada de elevada altitud 10 Ladera escarpada de elevada altitud
			52 Ladera/Llanura	6	8	8	10	
			53 Pie de Ladera	14	15	15	16	
60	Muy Escarpado	>70%	61 Cresta	11	12	12	13	11 Cresta en tierras bajas 12 Cresta en altitud media 13 Cresta en elevada altitud
			62 Ladera/Llanura	6	8	8	10	
			63 Pie de Ladera	14	15	15	16	

Como el join solo es temporal debe transferir los valores de los campos de la tabla **join_clasesderelieve.csv** a los campos de ráster **geoforma_combina.tif**. Para ello siga los siguientes pasos:

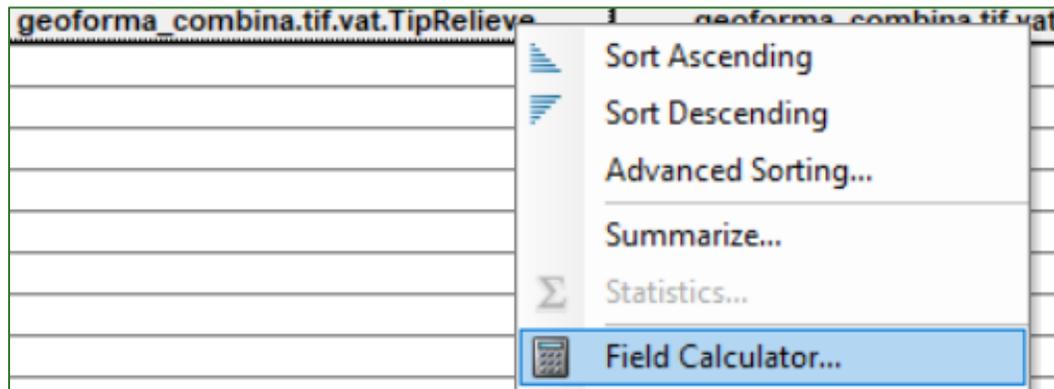
- Haga clic derecho sobre el campo **geoforma_combina.tif.vat.ID_Relieve** y seleccione la opción **Field Calculator**.



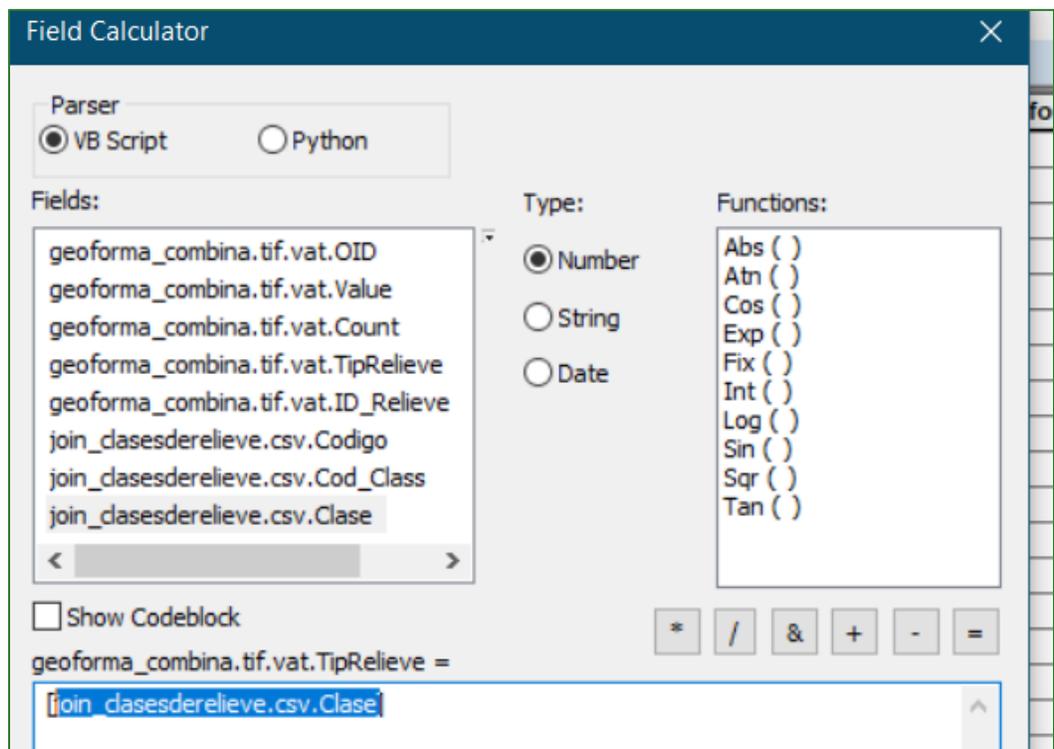
En la ventana que aparece haga doble clic en **join_clasesderelieve.csv.Cod_Class** y luego en OK.



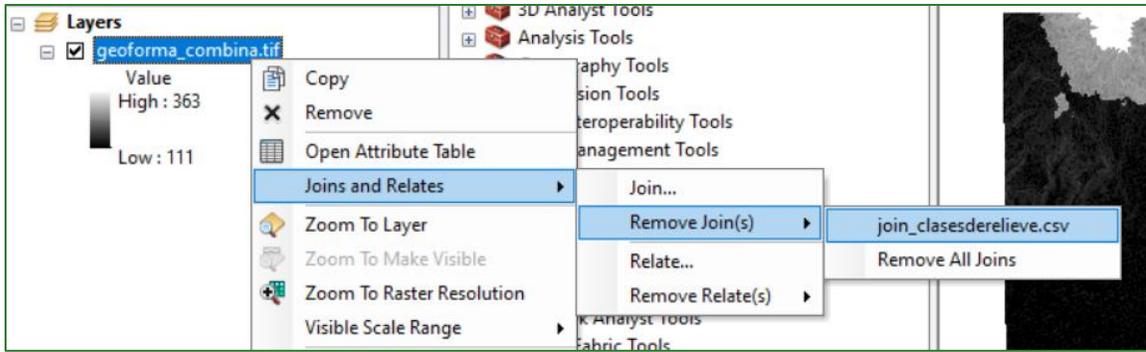
- Haga clic derecho sobre el campo `geoforma_combina.tif.vat.TipRelieve` y seleccione la opción **Field Calculator**.



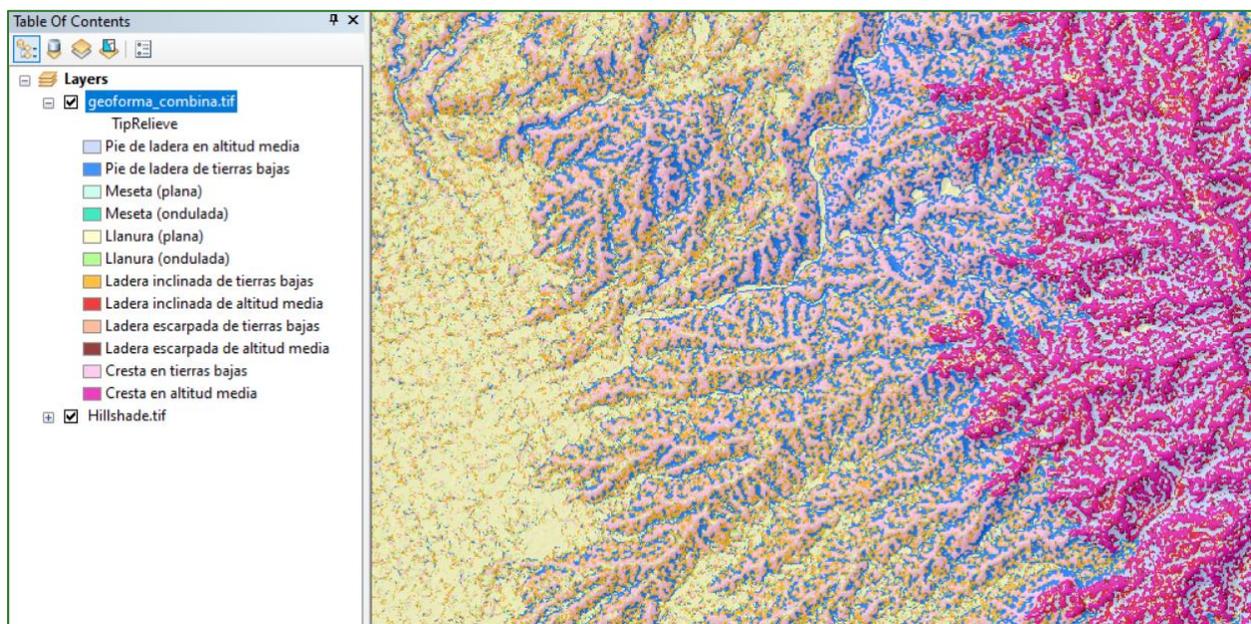
En la ventana que aparece haga doble clic en `join_clasesderelieve.csv.Clase` y luego en OK.



4. Cierre la tabla y deshaga el join haciendo clic derecho en el ráster `geoformas_combina.tif` y seleccionando la opción **Remove Join**.



5. Reclassifique el ráster según el tipo de relieve. A continuación, se ilustra el resultado:

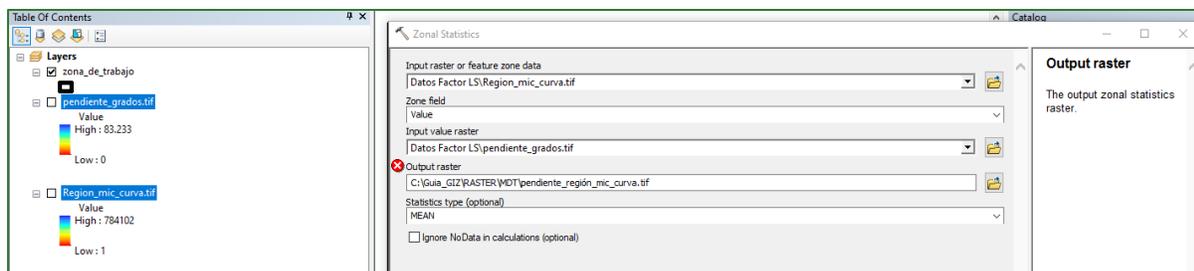


Un archivo layer con el formato de leyenda del ráster Geoforma combina, se encuentra disponible en un repositorio web de GitHub con el nombre “**geoforma_combina.tif.lyr**”, que puede ser descargado en la siguiente dirección: <https://github.com/guialandscape/Tablas>

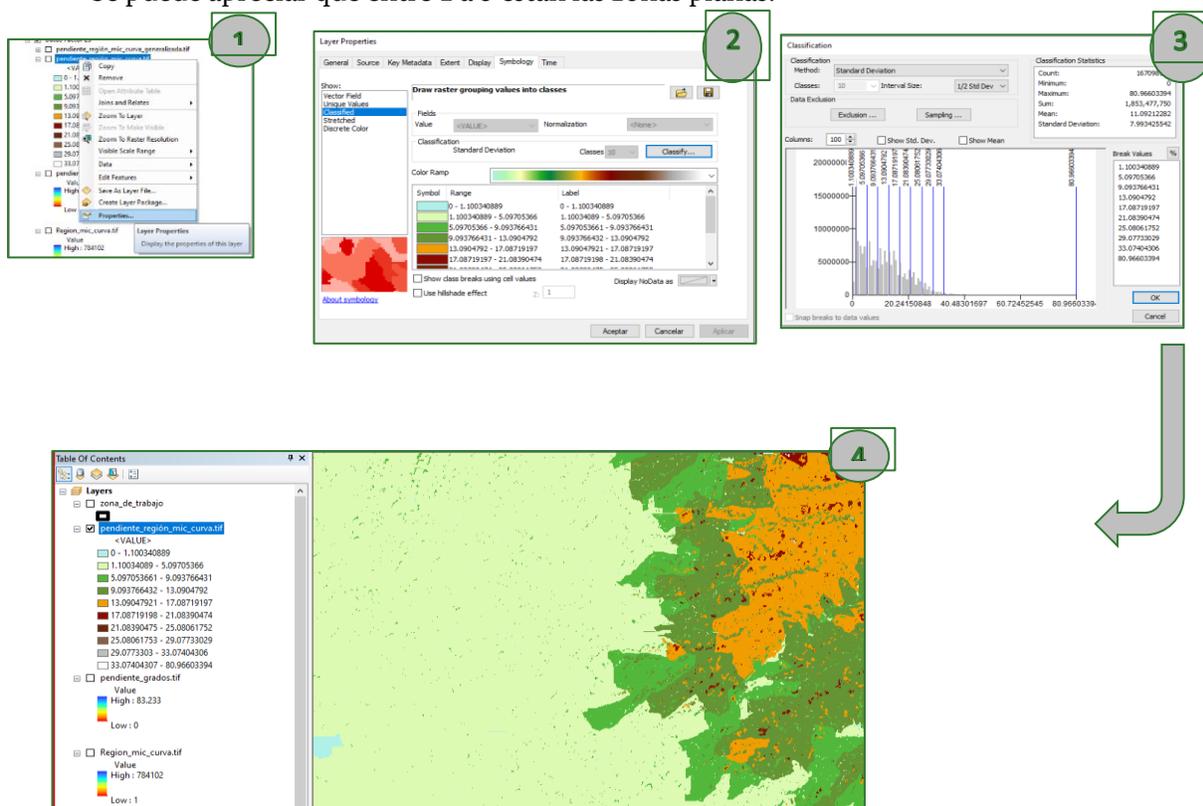
Generalización de pendiente en las planicies:

Al trabajar con un tamaño de píxel tan detallado como en este estudio, se presentan algunos cambios bruscos de pendientes en las zonas planas; por lo tanto, se recomienda:

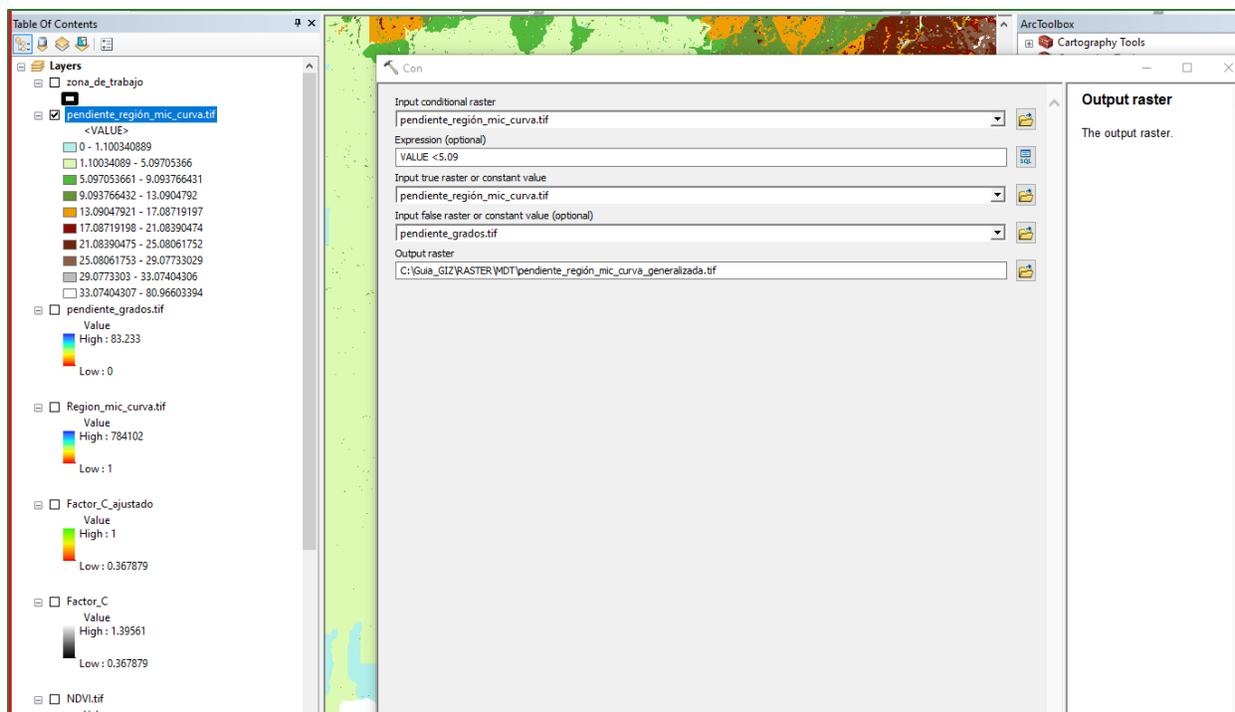
- Generalizar estas zonas calculando un promedio de la pendiente para las regiones geomorfológicas definidas en la ráster **región_mic_curva.tif** ubicado en la carpeta **RASTER/MDT**.
- Aplicar un zonal statistics utilizando la capa de **pendiente_grados.tif** y **región_mic_curva.tif** ubicado en la carpeta **RASTER/MDT** y al resultado guardarlo en la carpeta **RASTER/MDT** con el nombre **pendiente_region_mic_curva.tif**.



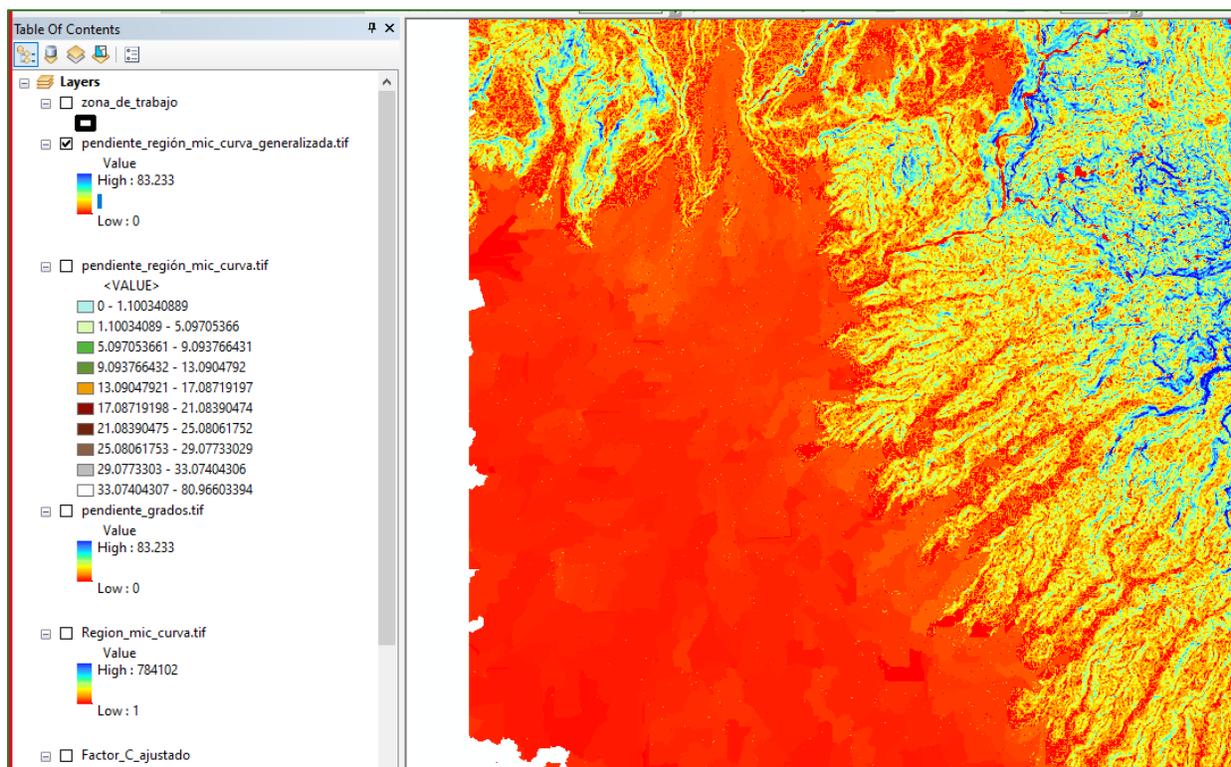
- Visualmente reclasificar el ráster **pendiente_region_mic_curva.tif** utilizando $\frac{1}{2}$ desviación estándar e identifique el umbral del extremo inferior que define las zonas planas.
- Se puede apreciar que entre 1 a 5 están las zonas planas.



- Luego, aplicar una condición para que todos los píxeles en el ráster **pendiente_region_mic_curva.tif** se ubiquen en el rango del extremo inferior al clasificar las pendientes en rangos de $\frac{1}{2}$ desviación estándar, tomen el valor de dicho ráster en la capa de **pendientes_grados.tif**. El resultado se debe guardar en la carpeta **RASTER/MDT** con el nombre **pendiente_region_mic_curva_generalizada.tif**.



- El resultado se visualizará de la siguiente manera:

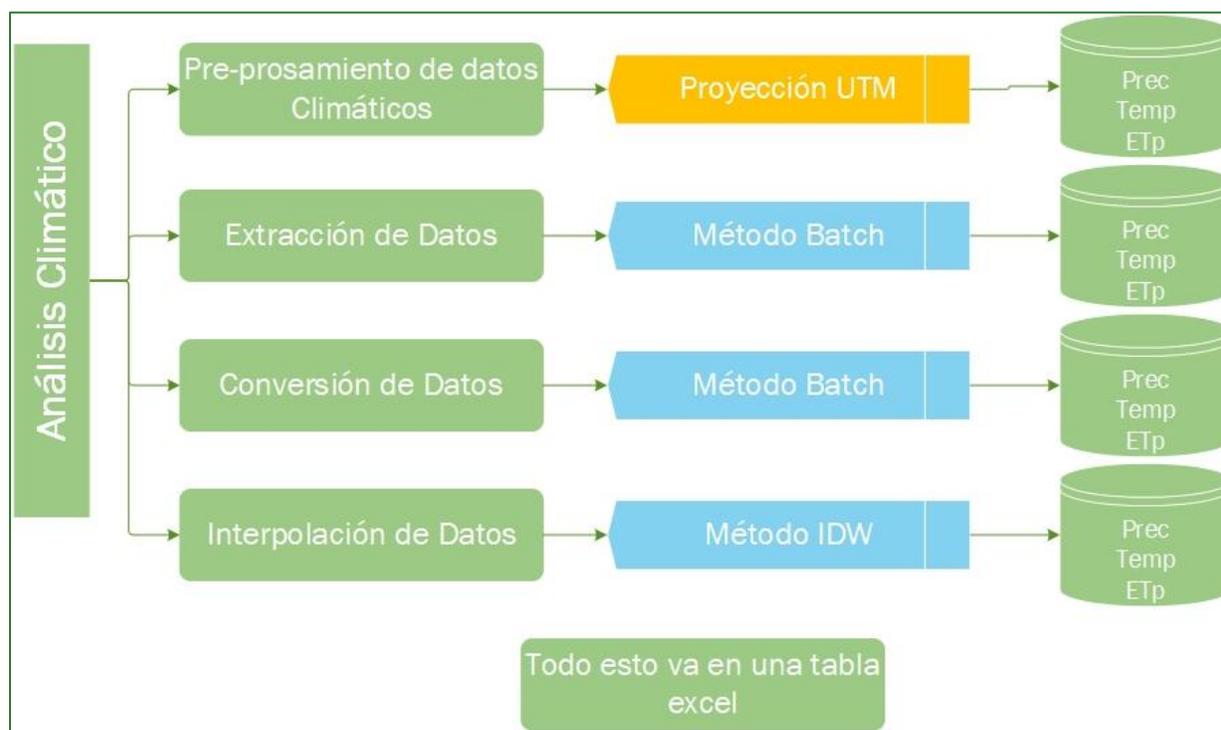




Datos base: Clima

Datos base: Clima

En la presente sección, realizará un análisis de datos climáticos enmarcados en el módulo de preparación de datos base; el análisis de datos climáticos corresponde a una serie de geo procesos de datos como precipitación, temperatura, radiación solar y evapotranspiración. Los procesos corresponderán a extracción de datos desde servidores web disponibles gratuitamente, así como la conversión de datos numéricos a vectoriales mediante una red sistemática de puntos y finalizando con una serie de interpolaciones en las cuales obtendrá valores para cada una de las métricas climáticas en toda la zona de estudio. Los datos generados en esta sección serán la base para el posterior análisis de erosión hídrica de la presente guía metodológica.

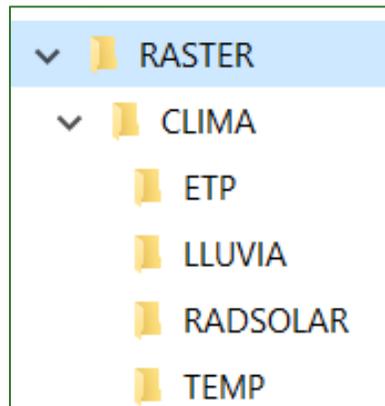


Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso:

<https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Parte 7. Preparación de los datos climáticos

1. Dentro de la carpeta RASTER cree una subcarpeta con el nombre CLIMA y dentro de esta las subcarpetas ETP, LLUVIA, TEMP y RADSOLAR. Estas carpetas corresponden a Evapotranspiración (ETP), Temperatura (TEMP) y Radiación Solar (RADSOLAR).



2. Una vez creadas las carpetas, procederemos a descargar los datos de precipitación, temperatura y radiación solar desde la plataforma WorldClim (<https://worldclim.org/data/index.html>)

La ventana se mostrará de la siguiente manera:

Global climate and weather data

[Historical climate data](#)
[Historical monthly weather data](#)
[Future climate data](#)

Welcome to the WorldClim data website.

WorldClim is a database of high spatial resolution global weather and climate data. These data can be used for mapping and spatial modeling. The data are provided for use in research and related activities; and some specialized skill and knowledge is needed to use them ([here is some help](#)). More easily available data for the general public will soon be [available here](#).

You can download gridded weather and climate data for [historical](#) (near current) and [future](#) conditions.

13 March 2020: The website is being redesigned. Sorry for the inconvenience. Please [let us know](#) if you find a broken link.



Luego se debe ingresar en la pestaña Historical climate data, y se mostrará una ventana de la siguiente manera:

Historical climate data

[Historical climate data](#)
[Historical monthly weather data](#)
[Future climate data](#)

This is WorldClim version 2.1 climate data for 1970-2000. This version was released in January 2020.

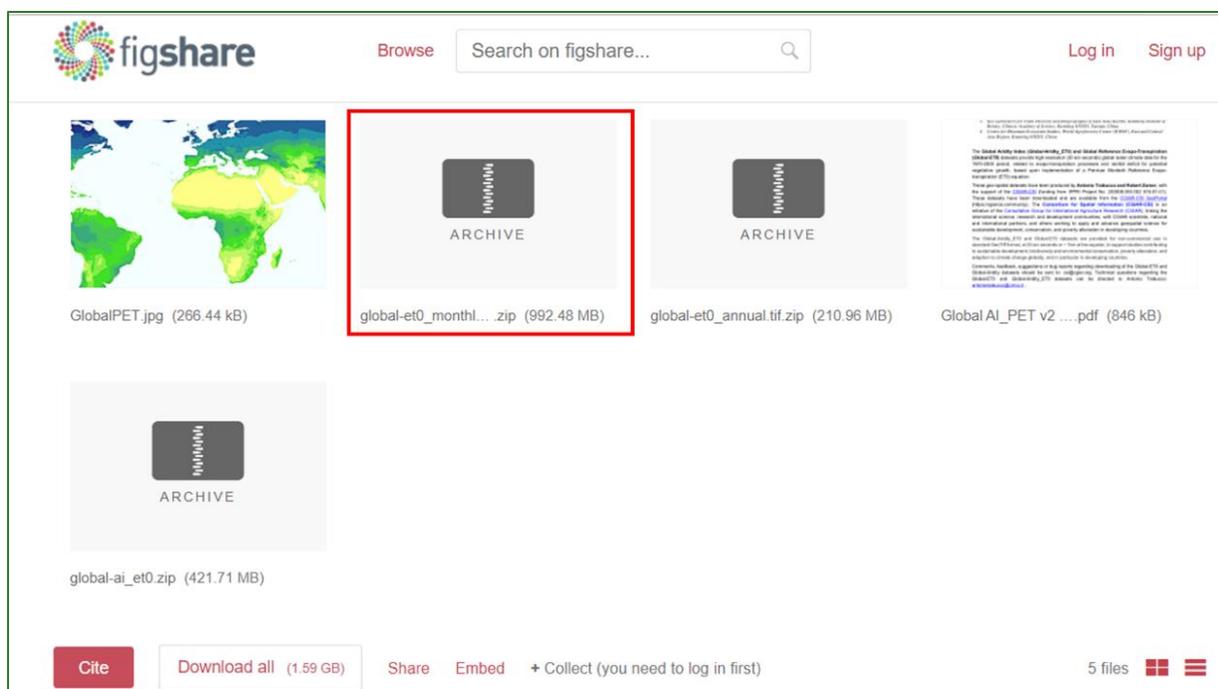
There are monthly climate data for minimum, mean, and maximum temperature, precipitation, solar radiation, wind speed, water vapor pressure, and for total precipitation. There are also 19 “bioclimatic” variables.

The data is available at the four spatial resolutions, between 30 seconds (~1 km²) to 10 minutes (~340 km²). Each download is a “zip” file containing 12 GeoTiff (.tif) files, one for each month of the year (January is 1; December is 12).

variable	10 minutes	5 minutes	2.5 minutes	30 seconds
minimum temperature (°C)	tmin 10m	tmin 5m	tmin 2.5m	tmin 30s
maximum temperature (°C)	tmax 10m	tmax 5m	tmax 2.5m	tmax 30s
average temperature (°C)	tavg 10m	tavg 5m	tavg 2.5m	tavg 30s
precipitation (mm)	prec 10m	prec 5m	prec 2.5m	prec 30s
solar radiation (kJ m ⁻² day ⁻¹)	srad 10m	srad 5m	srad 2.5m	srad 30s
wind speed (m s ⁻¹)	wind 10m	wind 5m	wind 2.5m	wind 30s
water vapor pressure (kPa)	vapr 10m	vapr 5m	vapr 2.5m	vapr 30s

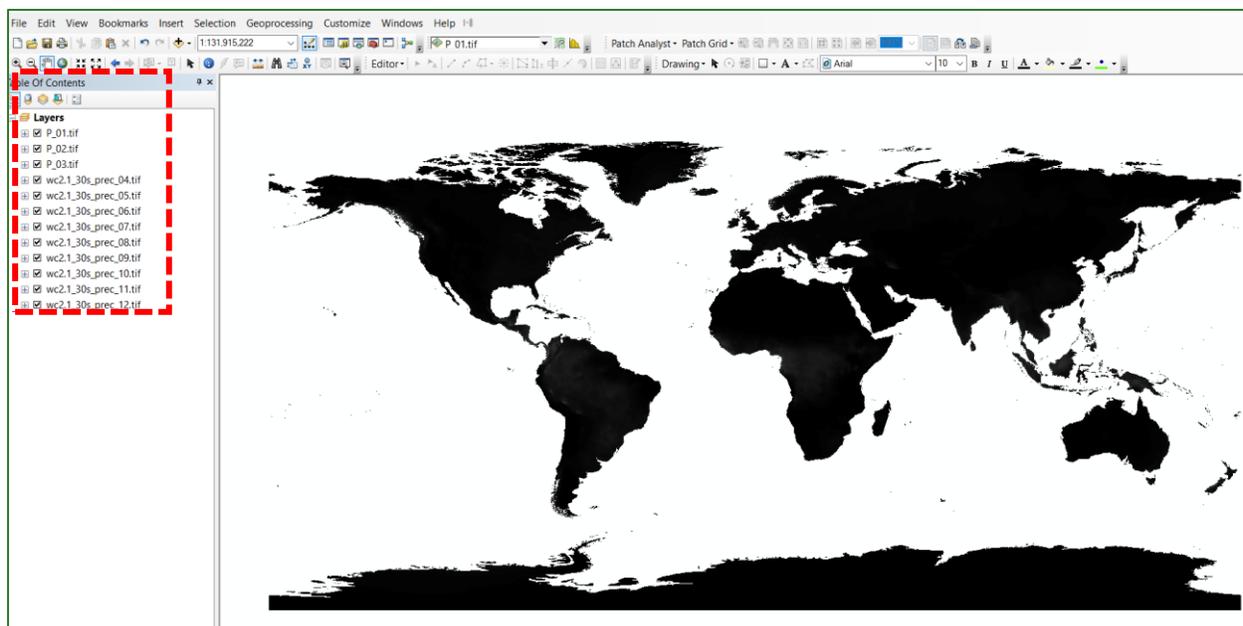
En este paso, se deberá descargar los datos de precipitación (mm), temperatura (T) y radiación solar (RS) con la mejor resolución (30s ≈ 1 km²) y almacenarlo en la carpeta GLOBAL_DATA/WorldClim.

- Los datos de Evapotranspiración (ETP) procederemos a descargarlos desde siguiente plataforma https://figshare.com/articles/Global_Aridity_Index_and_Potential_Evapotranspiration_ET0_Climate_Database_v2/7504448/3 y debe almacenarlos en la carpeta GLOBAL_DATA/WorldClim.

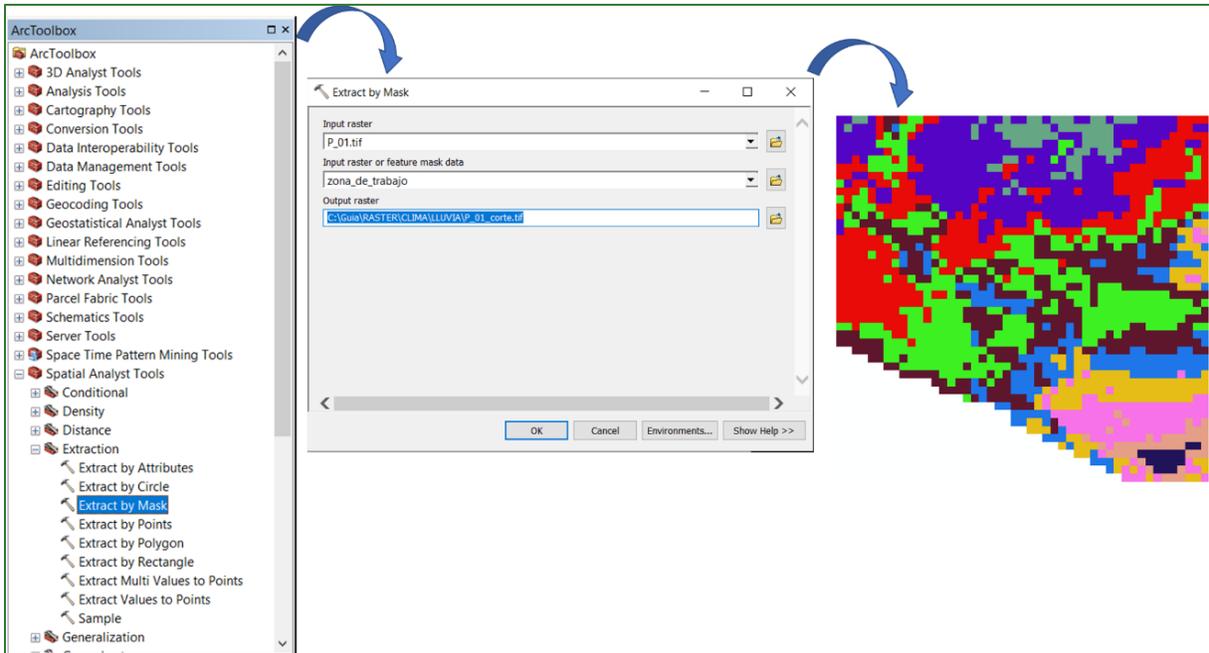


4. Ahora vamos a crear una malla de puntos con datos promedios anuales de las variables climáticas (ejemplo precipitación) calculados a partir de los datos descargados anteriormente siguiendo estos pasos:

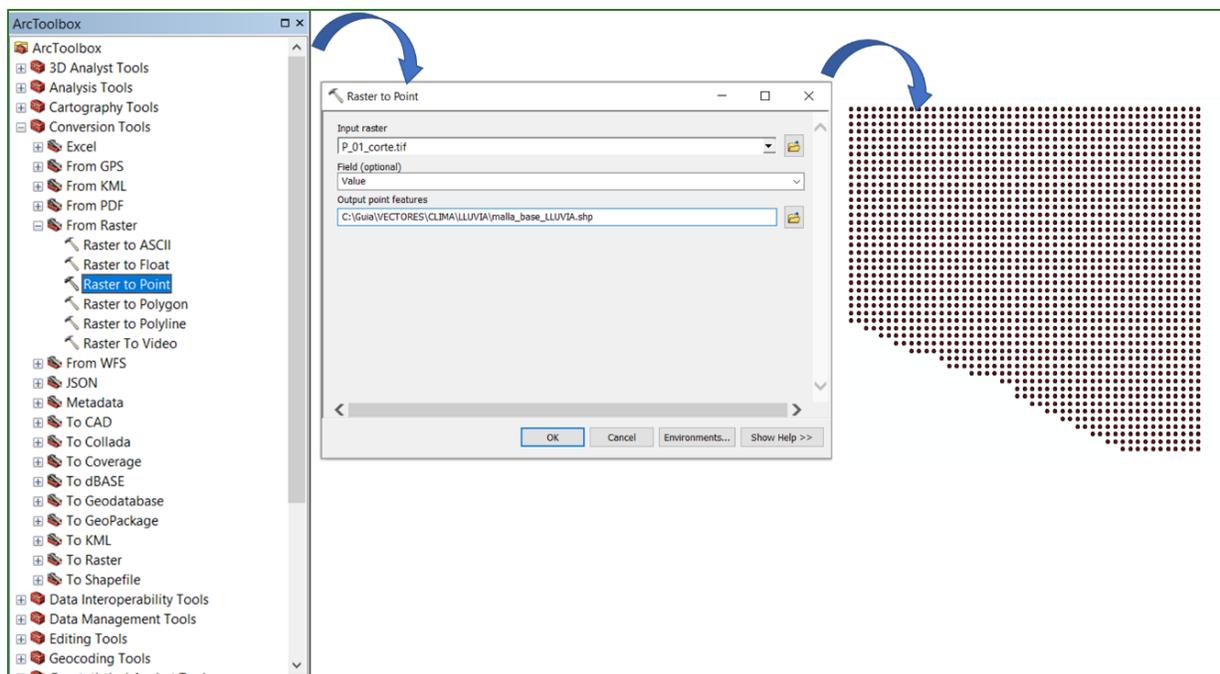
- a) Cargue todas las capas de precipitación mensual que obtuvo de WorldClim en ArcMap.
- b) Una vez cargadas en el ArcMap, renómbrelas como P1, P2, P3, según sea su mes.



- c) Seguidamente, haga un corte de una de las capas (puede ser P_01) con la capa del área de estudio denominada **zona_de_trabajo.shp**, este corte se realiza aplicando la herramienta “Extract by Polygon” para esto, acceda a la herramienta **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Mask** y guarde la capa en la carpeta **RASTER\CLIMA\LLUVIA** con el nombre **P_01_corte.tif**.



- d) Luego a la capa denominada **P_01_corte.tif** que resultó del proceso generaremos una malla de puntos, por lo tanto, cada pixel será convertido a punto y obtendremos como resultado una malla de puntos con información procedente del ráster **P_01_corte.tif**, para realizar ese procedimiento usaremos la herramienta “Raster to Point” localizada en: **ArcToolBox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Point**, el archivo lo almacenaremos en la carpeta **RASTER\CLIMA\LLUVIA** y nómbrelo como **malla_base_LLUVIA.shp**.



- e) Ahora, realice un procedimiento con el cual buscará asociar los valores de lluvia de los 12 ráster (uno por mes) a la malla de puntos generada en el paso anterior. Para realizar este procedimiento usaremos la herramienta “**Extract Multi Values To Point**” localizada en: **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Extraction/ Extract Multi Values To Point**. El archivo lo almacenaremos en la carpeta **RASTER\CLIMA\LLUVIA**, el archivo mantendrá como nombre **malla_base_LLUVIA.shp**

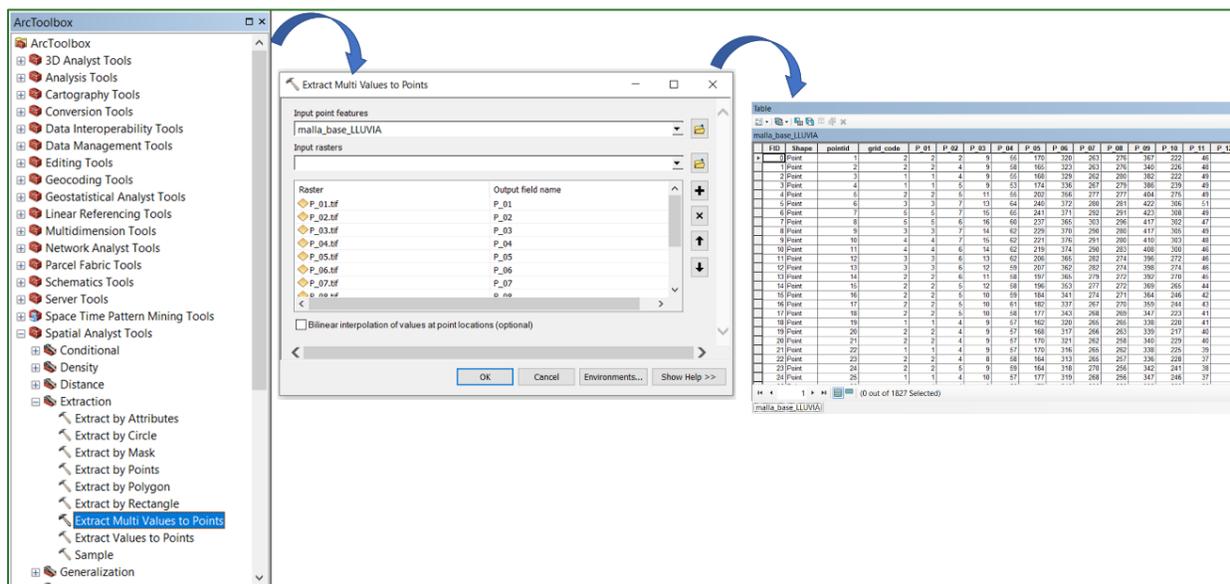


Table																
malla_base_LLUVIA																
FID	Shape	pointid	grid_code	P_01	P_02	P_03	P_04	P_05	P_06	P_07	P_08	P_09	P_10	P_11	P_12	
0	Point	1	2	2	2	9	55	170	320	263	276	367	222	46	4	
1	Point	2	2	2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3	
2	Point	3	1	1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4	
3	Point	4	1	1	5	9	53	174	336	267	279	386	239	49	6	
4	Point	5	2	2	5	11	55	202	356	277	277	404	275	49	7	
5	Point	6	3	3	7	13	64	240	372	280	281	422	306	51	7	
6	Point	7	5	5	7	15	65	241	371	292	291	423	308	49	7	
7	Point	8	5	5	6	16	60	237	365	303	296	417	302	47	7	
8	Point	9	3	3	7	14	62	229	370	290	280	417	305	49	8	
9	Point	10	4	4	7	15	62	221	376	291	280	410	303	48	8	
10	Point	11	4	4	6	14	62	219	374	290	283	408	300	46	8	
11	Point	12	3	3	6	13	62	206	365	282	274	396	272	46	6	
12	Point	13	3	3	6	12	59	207	362	282	274	398	274	46	6	
13	Point	14	2	2	6	11	58	197	365	279	272	392	270	45	5	
14	Point	15	2	2	5	12	58	196	353	277	272	369	265	44	5	
15	Point	16	2	2	5	10	59	184	341	274	271	364	246	42	5	
16	Point	17	2	2	5	10	61	182	337	267	270	359	244	43	5	
17	Point	18	2	2	5	10	58	177	343	268	269	347	223	41	4	
18	Point	19	1	1	4	9	57	162	320	265	265	338	220	41	3	
19	Point	20	2	2	4	9	57	168	317	266	263	339	217	40	4	
20	Point	21	2	2	4	9	57	170	321	262	258	340	229	40	4	
21	Point	22	1	1	4	9	57	170	316	265	262	338	225	39	4	
22	Point	23	2	2	4	8	58	164	313	265	257	336	228	37	3	
23	Point	24	2	2	5	9	59	164	318	270	256	342	241	38	4	
24	Point	25	1	1	4	10	57	177	319	268	256	347	246	37	4	

(0 out of 1827 Selected)

malla_base_LLUVIA

- f) Ahora tenemos una malla de puntos separados sistemáticamente cada 1 km con información de precipitación media mensual para cada uno de los 12 meses, con datos provenientes de WorldClim, el archivo es un vector nombrado como **malla_base_LLUVIA.shp** y almacenado en la carpeta **RASTER\CLIMA\LLUVIA**.
- g) Finalmente, si es necesario reprojete la malla de puntos al sistema de coordenadas de su país siguiendo los pasos expuestos en la PARTE 1 denominada “PARTE 1. PROYECTAR LAS CAPAS AL SISTEMA GEODÉSICO DEL PAÍS” del presente documento.
- h) El mismo procedimiento se debe realizar para los datos de Temperatura, Radiación Solar y Evapotranspiración. A continuación, se presentan una serie de figuras sobre el procedimiento a seguir.

TEMPERATURA: almacenarlo en la carpeta **RASTER\CLIMA\TEMP** con el nombre **malla_base_TEMP.shp**.

Extract Multi Values to Points

Input point features: malla_base_TEMP

Input rasters: malla_base_TEMP

Raster	Output field name
T_01.tif	T_01
T_02.tif	T_02
T_03.tif	T_03
T_04.tif	T_04
T_05.tif	T_05
T_06.tif	T_06
T_07.tif	T_07
T_08.tif	T_08
T_09.tif	T_09
T_10.tif	T_10
T_11.tif	T_11
T_12.tif	T_12

Bilinear interpolation of values at point locations (optional)

OK Cancel Environments... Show Help >>

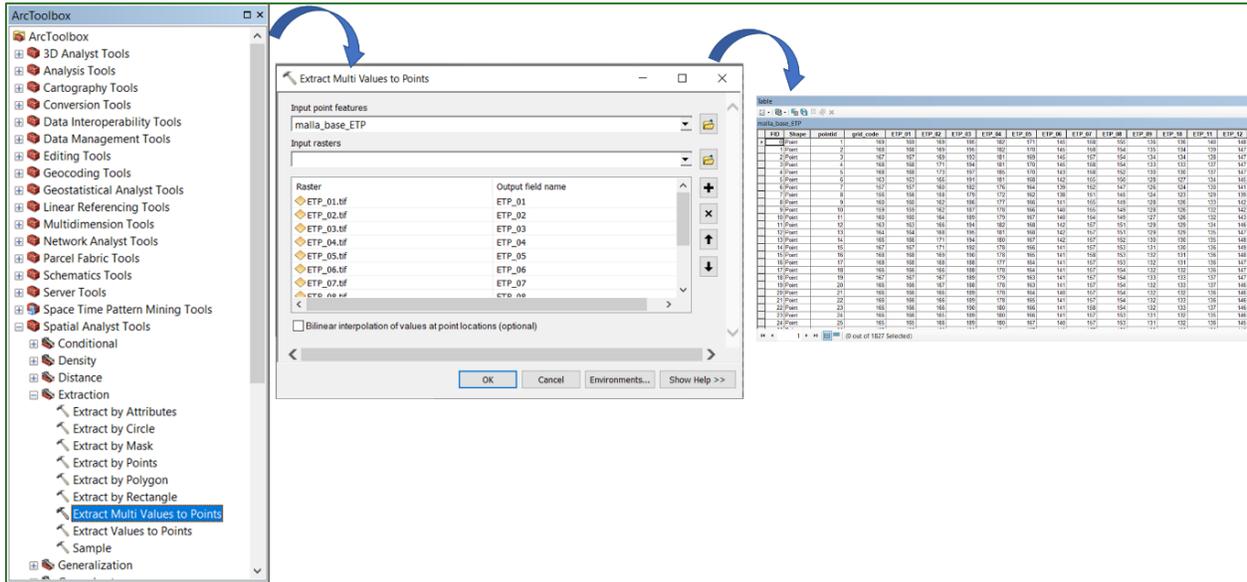
Table

malla_base_TEMP

FID	Shape	pointid	grid_code	T_01	T_02	T_03	T_04	T_05	T_06	T_07	T_08	T_09	T_10	T_11	T_12
0	Point	1	25.2	25.2	25.5	26.5	27	26.9	26.5	26.2	26.1	25.8	25.6	25.5	24.3
1	Point	2	24.9	24.9	25.3	26.2	26.8	26.6	26.2	26	25.9	25.5	25.3	25.2	24.2
2	Point	3	24.5	24.5	24.8	25.8	26.4	26.3	25.8	25.7	25.5	25.2	24.9	24.8	23.9
3	Point	4	23.9	23.9	24.3	25.3	25.8	25.7	25.3	25.2	25.1	24.6	24.4	24.2	23.4
4	Point	5	23.2	23.2	23.6	24.5	25	24.9	24.4	24.3	23.8	23.5	23.4	22.8	22.2
5	Point	6	22.6	22.6	23	23.8	24.2	24.2	23.6	23.9	23.6	23	22.8	22.6	22.2
6	Point	7	21.6	21.6	22	22.8	23.2	23	22.4	22.8	22.5	21.9	21.7	21.5	21.3
7	Point	8	20.9	20.9	21.3	22	22.4	22.3	21.6	22	21.7	21.1	20.9	20.8	20.5
8	Point	9	22.2	22.2	22.6	23.4	23.9	23.8	23.2	23.5	23.2	22.6	22.4	22.2	21.8
9	Point	10	22.2	22.2	22.6	23.4	23.9	23.8	23.1	23.5	23.2	22.6	22.3	22.2	21.8
10	Point	11	22.3	22.3	22.7	23.5	24	23.9	23.2	23.6	23.2	22.7	22.4	22.2	21.9
11	Point	12	22.7	22.7	23.1	24	24.5	24.4	23.8	24.1	23.7	23.2	22.9	22.7	22.3
12	Point	13	22.8	22.8	23.2	24.1	24.6	24.5	23.9	24.1	23.8	23.3	23	22.8	22.4
13	Point	14	23	23	23.4	24.3	24.8	24.7	24.1	24.3	24	23.5	23.2	23	22.5
14	Point	15	23	23	23.5	24.4	24.9	24.8	24.2	24.3	24	23.5	23.2	23.1	22.6
15	Point	16	23.2	23.2	23.6	24.5	25.1	24.9	24.3	24.4	24.1	23.6	23.4	23.2	22.7
16	Point	17	23.3	23.3	23.7	24.7	25.2	25.1	24.4	24.5	24.2	23.7	23.5	23.3	22.8
17	Point	18	23.6	23.6	24	25	25.6	25.4	24.8	24.8	24.5	24.1	23.8	23.6	23.1
18	Point	19	23.8	23.8	24.2	25.3	25.9	25.7	25	25	24.7	24.3	24.1	23.9	23.3
19	Point	20	23.7	23.7	24.2	25.2	25.8	25.6	24.9	24.9	24.7	24.2	24	23.8	23.2
20	Point	21	23.6	23.6	24.1	25.1	25.7	25.5	24.8	24.8	24.5	24.1	23.9	23.7	23.1
21	Point	22	23.7	23.7	24.1	25.2	25.8	25.6	24.9	24.9	24.6	24.2	24	23.8	23.2
22	Point	23	23.7	23.7	24.2	25.2	25.8	25.6	24.9	24.9	24.6	24.2	24	23.8	23.2
23	Point	24	23.5	23.5	23.9	25	25.5	25.3	24.6	24.6	24.3	23.9	23.7	23.5	23
24	Point	25	23.4	23.4	23.8	24.8	25.4	25.2	24.4	24.5	24.2	23.7	23.5	23.3	22.9

(0 out of 1827 Selected)

EVAPOTRANSPIRACIÓN: almacenarlo en la carpeta RASTER\CLIMA\ETP con el nombre malla_base_ETP.shp.



Table

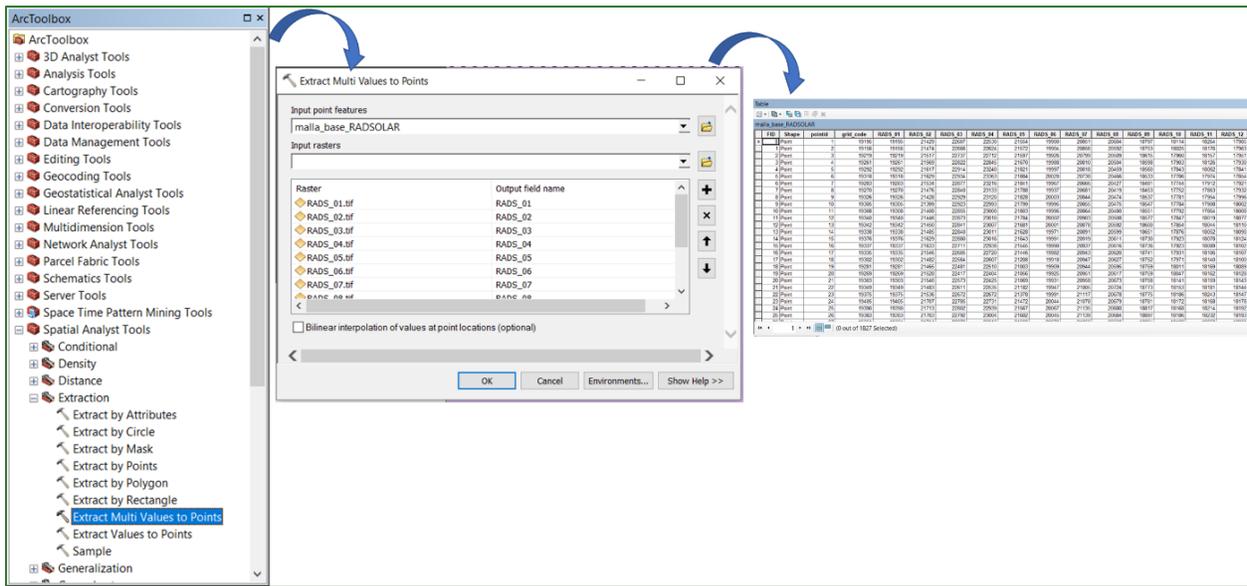
malla_base_ETP

FID	Shape	pointid	grid_code	ETP_01	ETP_02	ETP_03	ETP_04	ETP_05	ETP_06	ETP_07	ETP_08	ETP_09	ETP_10	ETP_11	ETP_12
0	Point	1	169	169	169	195	182	171	145	158	155	136	136	140	148
1	Point	2	168	168	169	195	182	170	145	158	154	135	134	139	147
2	Point	3	167	167	169	193	181	169	145	157	154	134	134	138	147
3	Point	4	168	168	171	194	181	170	145	158	154	133	133	137	147
4	Point	5	168	168	173	197	185	170	143	158	152	130	130	137	147
5	Point	6	163	163	166	191	181	168	142	155	150	128	127	134	145
6	Point	7	157	157	160	182	176	164	139	152	147	126	124	130	141
7	Point	8	156	156	158	179	172	162	138	151	145	124	123	129	139
8	Point	9	160	160	162	186	177	166	141	155	149	128	126	133	142
9	Point	10	159	159	162	187	178	166	140	155	149	128	126	132	142
10	Point	11	160	160	164	189	179	167	140	154	149	127	126	132	143
11	Point	12	163	163	166	194	182	168	142	157	151	129	129	134	146
12	Point	13	164	164	168	195	181	168	142	157	151	129	129	135	147
13	Point	14	166	166	171	194	180	167	142	157	152	130	130	135	148
14	Point	15	167	167	171	192	178	166	141	157	153	131	130	136	149
15	Point	16	168	168	169	190	178	165	141	158	153	132	131	136	148
16	Point	17	168	168	168	188	177	164	141	157	153	132	131	136	147
17	Point	18	166	166	166	188	178	164	141	157	154	132	132	136	147
18	Point	19	167	167	167	189	179	163	141	157	154	133	133	137	147
19	Point	20	166	166	167	188	178	163	141	157	154	132	133	137	146
20	Point	21	166	166	166	189	178	164	140	157	154	132	132	136	146
21	Point	22	166	166	166	189	178	165	141	157	154	132	133	136	146
22	Point	23	166	166	166	190	180	166	141	158	154	132	133	137	146
23	Point	24	166	166	165	189	180	166	141	157	153	131	132	135	146
24	Point	25	165	165	166	189	180	167	140	157	153	131	132	136	145

(0 out of 1827 Selected)

RADIACIÓN SOLAR: almacenarlo en la carpeta **RASTER\CLIMA\RADSOLAR** con el nombre **mall_a_base_RADSOLAR.shp**.

Nota: en el caso de la radiación solar deberá renombrar los campos con nombres más cortos (RADS) como se muestra a continuación:

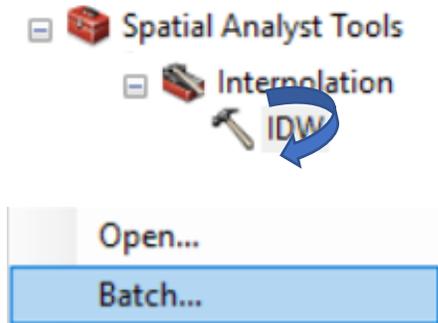


Table

mall_a_base_RADSOLAR

FID	Shape	pointid	grid code	RADS_01	RADS_02	RADS_03	RADS_04	RADS_05	RADS_06	RADS_07	RADS_08	RADS_09	RADS_10	RADS_11	RADS_12
0	Point	1	19195	19195	21429	22607	22530	21554	19900	20851	20604	18797	18114	18264	17985
1	Point	2	19156	19156	21474	22666	22624	21572	19904	20856	20592	18753	18025	18176	17963
2	Point	3	19219	19219	21517	22737	22712	21597	19926	20799	20509	18615	17960	18157	17951
3	Point	4	19261	19261	21569	22822	22845	21670	19988	20810	20504	18598	17903	18126	17930
4	Point	5	19292	19292	21617	22914	23240	21821	19997	20818	20459	18560	17843	18062	17841
5	Point	6	19318	19318	21629	22934	23363	21884	20020	20738	20466	18533	17786	17974	17854
6	Point	7	19283	19283	21534	22877	23216	21841	19967	20666	20427	18481	17744	17912	17921
7	Point	8	19270	19270	21476	22840	23133	21788	19937	20681	20419	18453	17752	17863	17932
8	Point	9	19326	19326	21428	22929	23120	21828	20003	20844	20474	18537	17781	17954	17996
9	Point	10	19305	19305	21399	22923	22993	21799	19995	20855	20475	18547	17784	17908	18002
10	Point	11	19308	19308	21408	22855	23000	21803	19996	20864	20480	18551	17792	17864	18008
11	Point	12	19340	19340	21446	22873	23010	21784	20002	20903	20508	18577	17847	18019	18077
12	Point	13	19342	19342	21450	22841	23007	21681	20001	20878	20592	18600	17854	18044	18110
13	Point	14	19338	19338	21485	22840	23011	21628	19971	20891	20599	18651	17876	18052	18090
14	Point	15	19376	19376	21629	22880	23016	21643	19991	20919	20611	18730	17923	18078	18124
15	Point	16	19337	19337	21633	22711	22938	21545	19990	20937	20616	18736	17923	18089	18102
16	Point	17	19335	19335	21546	22605	22720	21446	19982	20943	20620	18741	17931	18106	18107
17	Point	18	19302	19302	21482	22564	22607	21208	19918	20947	20627	18752	17971	18140	18100
18	Point	19	19281	19281	21465	22481	22510	21003	19909	20944	20595	18759	18011	18169	18089
19	Point	20	19269	19269	21528	22417	22404	21056	19925	20951	20617	18759	18047	18162	18128
20	Point	21	19303	19303	21540	22573	22425	21069	19931	20958	20673	18758	18141	18159	18143
21	Point	22	19349	19349	21483	22611	22535	21182	19947	21005	20724	18773	18153	18181	18144
22	Point	23	19375	19375	21536	22672	22672	21378	19991	21117	20678	18775	18186	18243	18147
23	Point	24	19405	19405	21707	22785	22731	21472	20044	21078	20679	18781	18172	18168	18178
24	Point	25	19390	19390	21713	22802	22939	21567	20067	21135	20680	18817	18168	18214	18192
25	Point	26	19383	19383	21703	22792	23004	21602	20045	21139	20684	18897	18186	18232	18193

5. Ahora está listo para realizar las interpolaciones de cada una de las variables climáticas mensuales de la zona de estudio. Para ello utilice la herramienta **Spatial Analyst Tools/Interpolation/IDW**, pero aplicando el procedimiento **Batch** explicado anteriormente.



Siga las indicaciones para completar cada uno de los campos de la tabla de Batch:

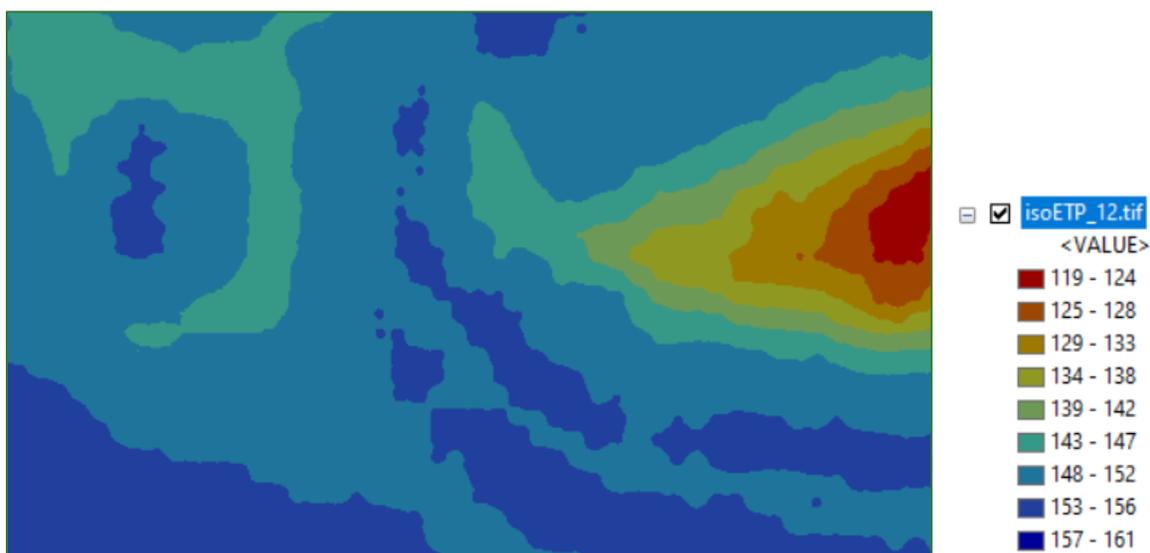
	Input point features	Z value field	Output raster
1	malla_base_ETP	ETP_01	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_01.tif

Input point features	Seleccione la malla de la variable climática correspondiente, por ejemplo, malla_base_ETP
Z value field	Seleccione el campo que contiene los valores de cada mes, por ejemplo: ETP_01 ETP_02 ...
Output raster	El nombre de salida del raster. Utilice el prefijo iso antes del nombre de cada raster mensual y almacénelo en la carpeta RASTER/CLIMA: por ejemplo CLIMA\ETP\isoETP_01.tif CLIMA\ETP\isoETP_02.tif ...

A continuación, se muestra cómo debería quedar la tabla Batch de la ETP, y siguiendo la misma lógica se deberá hacer con las otras variables.

	Input point features	Z value field	Output raster
1	malla_base_ETP	ETP_01	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_01.tif
2	malla_base_ETP	ETP_02	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_02.tif
3	malla_base_ETP	ETP_03	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_03.tif
4	malla_base_ETP	ETP_04	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_04.tif
5	malla_base_ETP	ETP_05	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_05.tif
6	malla_base_ETP	ETP_06	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_06.tif
7	malla_base_ETP	ETP_07	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_07.tif
8	malla_base_ETP	ETP_08	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_08.tif
9	malla_base_ETP	ETP_09	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_09.tif
10	malla_base_ETP	ETP_10	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_10.tif
11	malla_base_ETP	ETP_11	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_11.tif
12	malla_base_ETP	ETP_12	C:\SIG_FDV_Pais_X\RASTER\CLIMA\ETP\iso_ETP_12.tif

Un ejemplo de uno de los ráster interpolados se muestra a continuación:



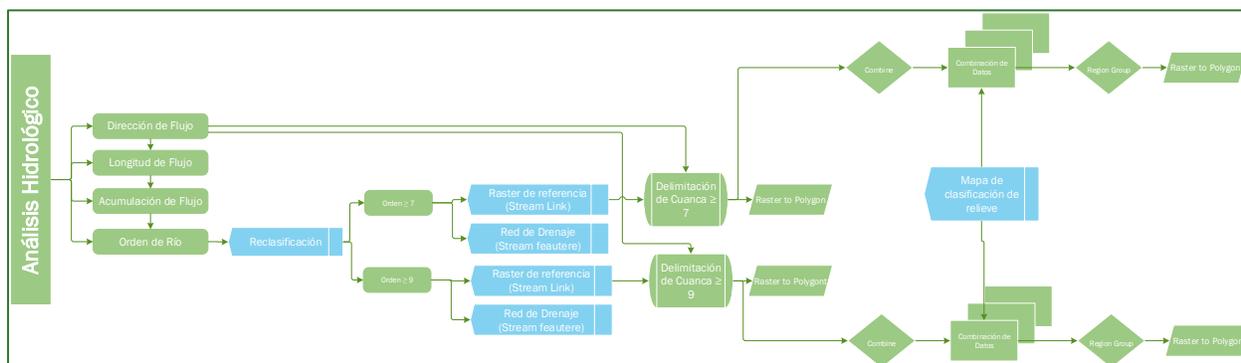
Consideraciones generales: en el presente ejercicio utilizamos datos provenientes de fuentes de información global con el objetivo de trabajar con datos homogéneos de fuentes conocidas. Si usted dispone de información proveniente de fuentes nacionales puede utilizarlos aplicando el método antes expuesto.



Datos base: Hidrografía

Datos base: Hidrografía

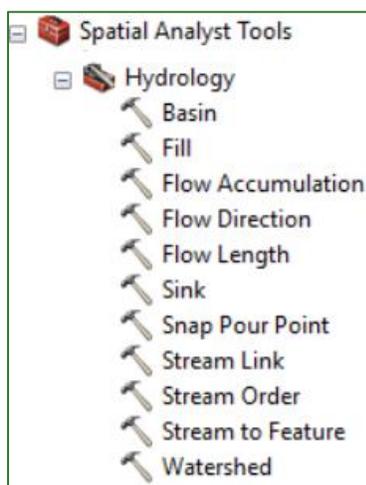
En la presente sección, realizará un análisis hidrológico en el cual modelará una serie de datos hidrográficos mediante una serie de geo procesos de datos como ser flujo, escorrentía superficial y delimitación de cuencas y subcuencas hidrográficas. Los datos generados en esta sección serán la base para el posterior análisis de infiltración y erosión hídrica de la presente guía metodológica.



Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso:
<https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Parte 8. Preparación de los datos de hidrografía y microcuencas

Utilice la herramienta de Hidrología (**Hydrology**) para realizar los procesos indicados en esta sección. La herramienta se encuentra disponible en: **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Hydrology**.



1. Como primer paso vamos a crear el ráster de Dirección de Flujo usando la herramienta **Flow Direction**. Utilice el archivo **MDT_corregido.tif** como archivo de entrada y nombre el archivo de salida **como flowdir.tif**, guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

Input surface raster
MDT_Corregido.tif

Output flow direction raster
C:\DATOS_HIDRO\flowdir.tif

Force all edge cells to flow outward (optional)

Output drop raster (optional)

Flow direction type (optional)
D8

2. Crear el ráster de Longitud de Flujo usando la herramienta **Flow Length**, para esto utilice como dato de entrada el archivo dirección de flujo creado anteriormente flowdir.tif y el archivo de salida nómbrelo **flowlength.tif**. Guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

Input flow direction raster
flowdir.tif

Output raster
C:\DATOS_HIDRO\flowlength.tif

Direction of measurement (optional)
DOWNSTREAM

Input weight raster (optional)

3. Crear el ráster de Acumulación de Flujo usando la herramienta **Flow Accumulation**, para esto utilice como dato de entrada el archivo dirección de flujo creado anteriormente flowdir.tif y el archivo de salida nómbrelo **flowacc.tif**. Guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

Input flow direction raster
flowdir.tif

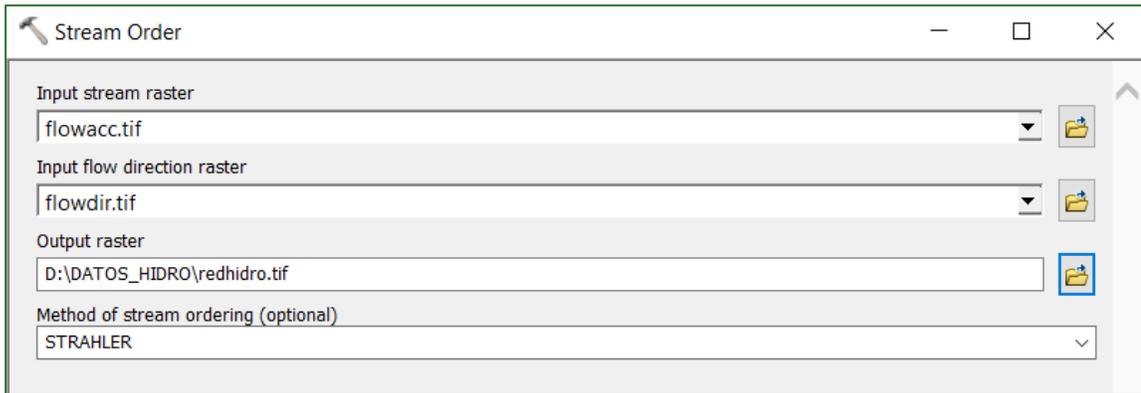
Output accumulation raster
C:\DATOS_HIDRO\flowacc.tif

Input weight raster (optional)

Output data type (optional)
FLOAT

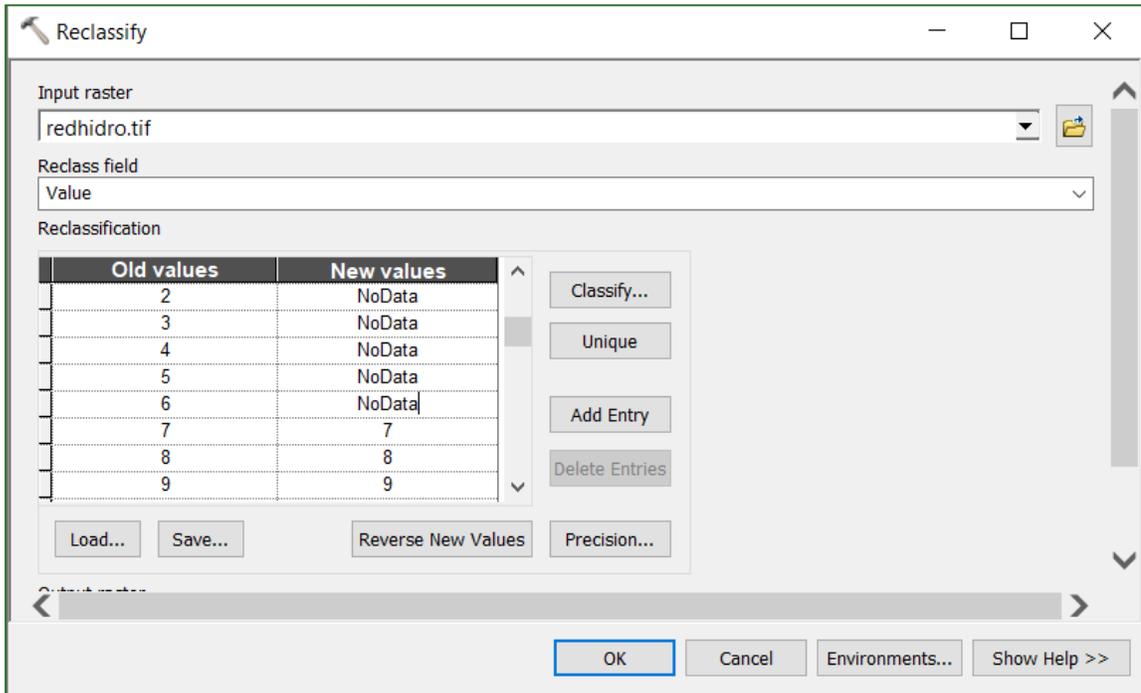
4. Obtener el ráster de Orden de la Red de Drenaje usando la herramienta **Stream Order**, para esto utilice como dato de entrada el archivo acumulación de flujo creado anteriormente

flowacc.tif y el archivo de salida nómbrelo **redhidro.tif**. Guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



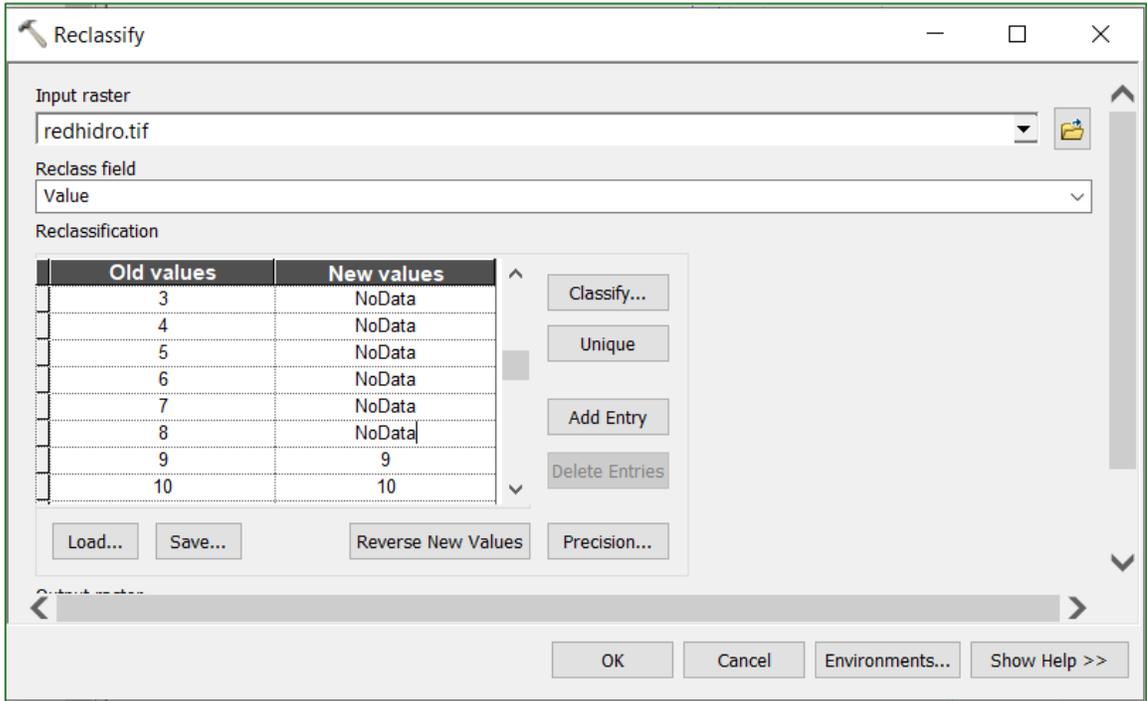
5. Reclassifique **redhidro.tif** para obtener la red de drenaje mayor o igual al orden 7 utilizando la herramienta **Reclassify**. El archivo de salida nómbrelo como **redhidro_orden7.tif** y guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

Utilizando todos los valores igual o mayor a 7 mantendrán su valor original y a los demás valores menores a 7 se les asignará NoData.

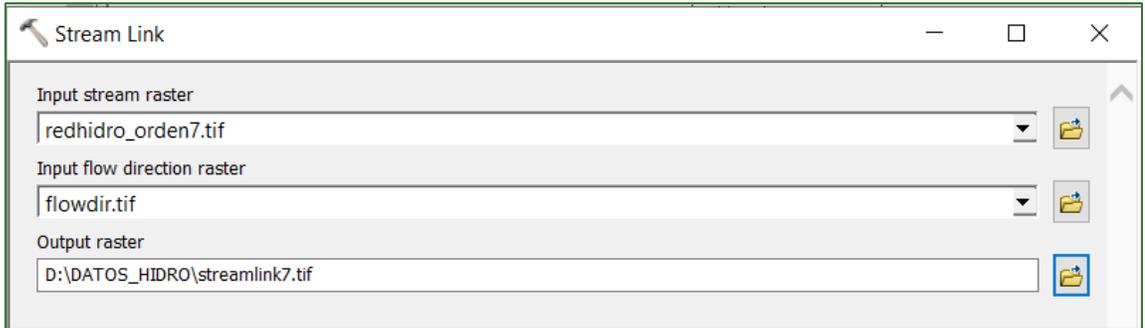


Reclasifique **redhidro.tif** para obtener la red de drenaje mayor o igual al orden 9 usando la herramienta **Reclassify**. El archivo de salida nómbrelo como **redhidro_orden9.tif** y guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

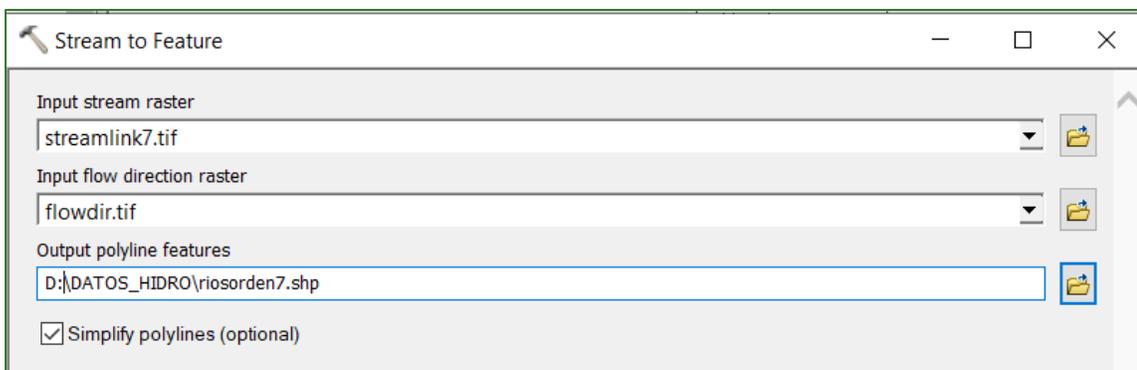
Utilizando todos los valores igual o mayor a 9 mantendrán su valor original y a los demás valores menores a 9 se les asignará NoData.



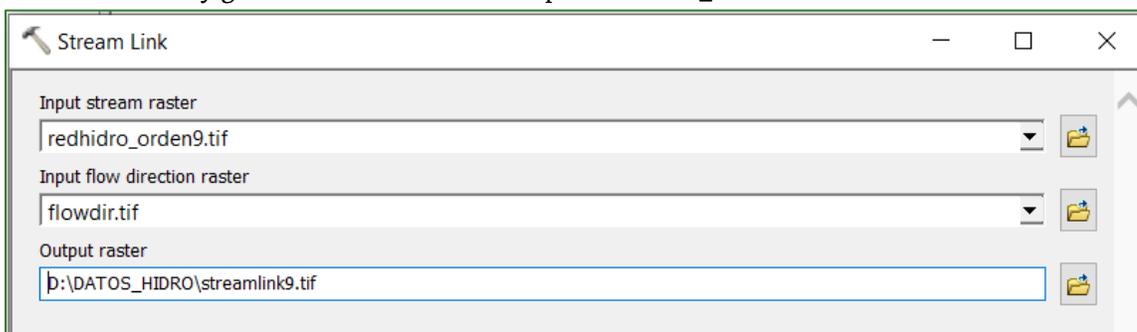
6. A partir de **redhidro_orden7.tif** genere el ráster de referencia para la delimitación de la cuenca de orden 7 aplicando la herramienta **Stream Link**. El archivo de salida nómbrelo como **streamlink7.tif** y guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



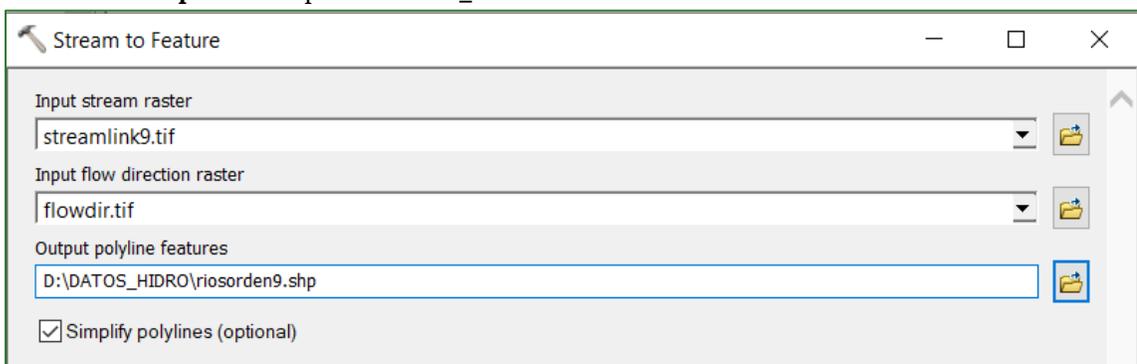
En este paso puede aprovechar para convertir a shapefile la red de drenaje de orden 7 usando la herramienta **Stream to Feature**, marque la casilla Simplify Polylines y el archivo guárdelo como **riosorden7.shp** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



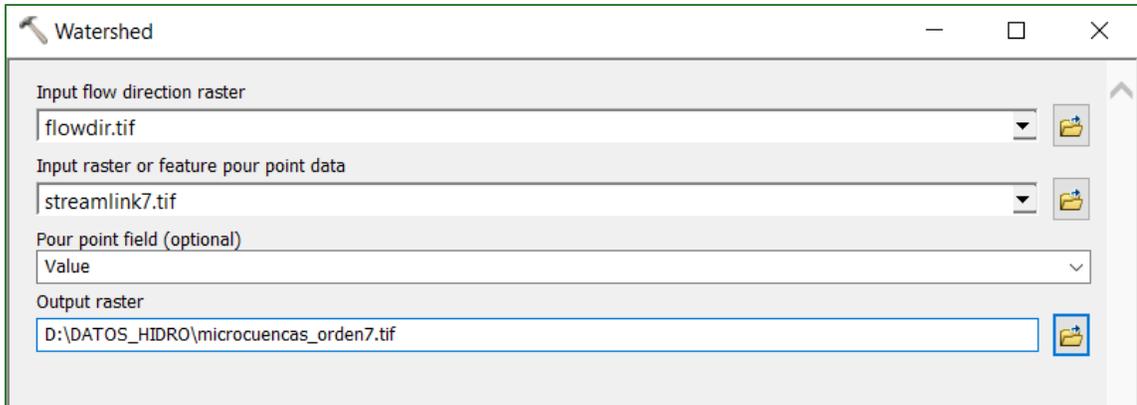
7. A partir de **redhidro_orden9.tif** genere el ráster de referencia para la delimitación de la cuenca de orden 9 aplicando la herramienta **Stream Link**. El archivo de salida nómbrelo como **streamlink9.tif** y guarde el archivo en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



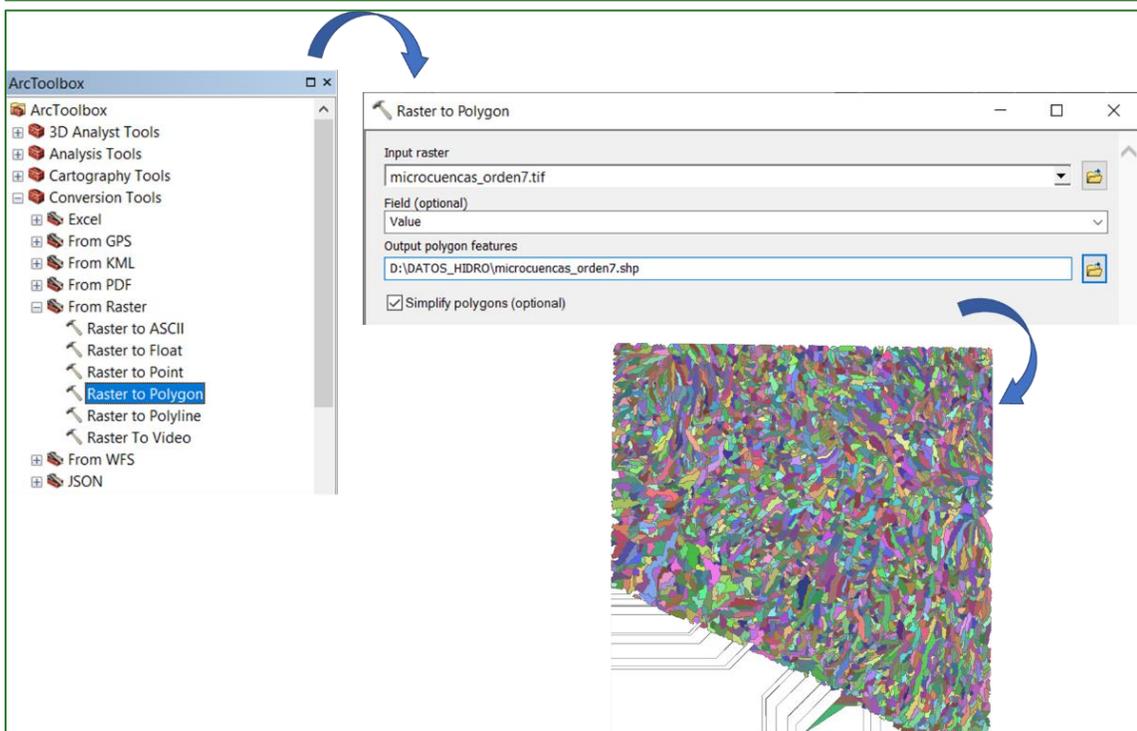
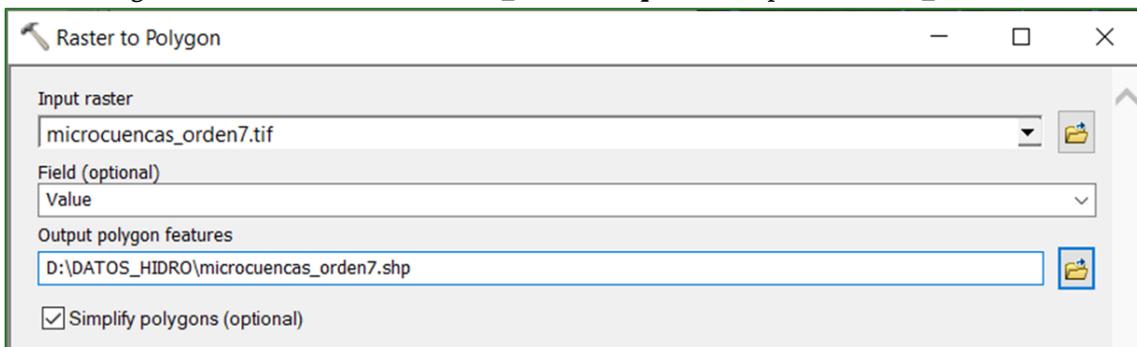
En este paso puede aprovechar para convertir a shapefile la red de drenaje de orden 9 usando la herramienta **Stream to Feature**, marque la casilla Simplify Polylines y el archivo guárdelo como **riosorden9.shp** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



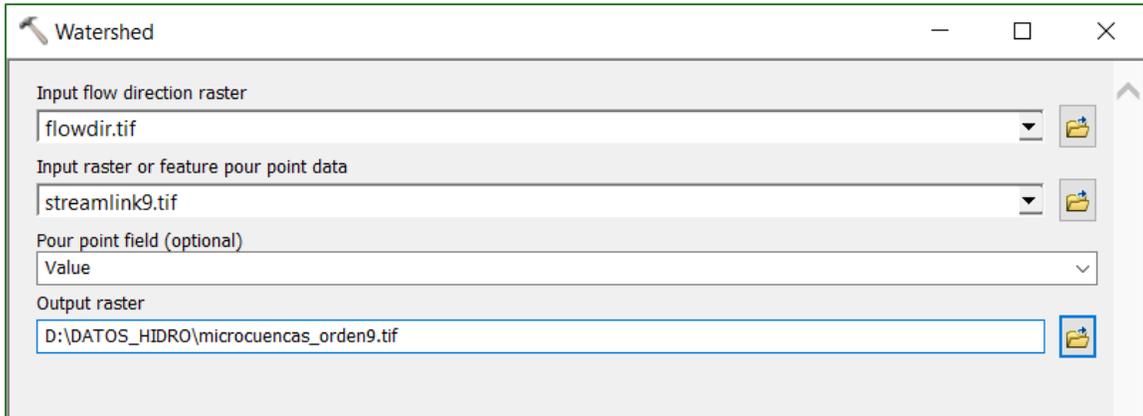
8. Genere las microcuencas de orden 7 con la herramienta **Watershed** y el archivo guárdelo como **microcuencas_orden7.tif** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



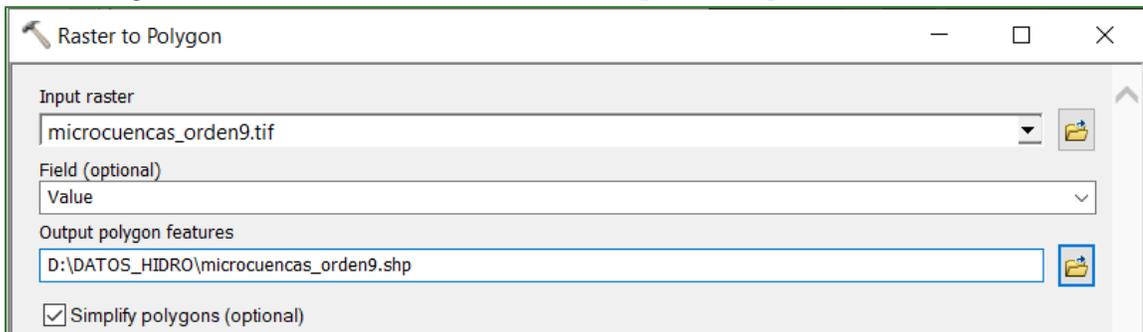
Convierta el ráster de **microcuencas_orden7.tif** a shapefile con la herramienta **Raster to Polygon** y el archivo guárdelo como **microcuencas_orden7.shp** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

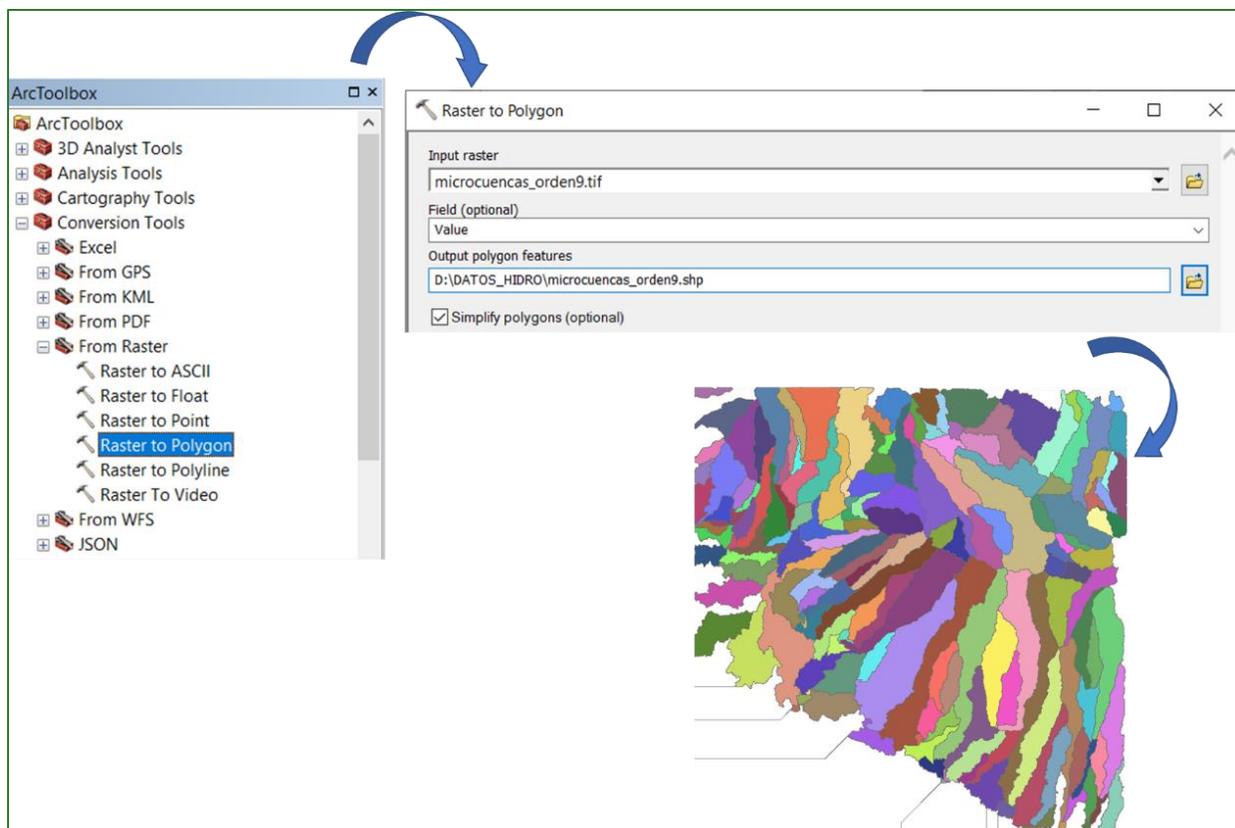


9. Genere las microcuencas de orden 9 con la herramienta **Watershed** y el archivo guárdelo como **microcuencas_orden9.tif** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.

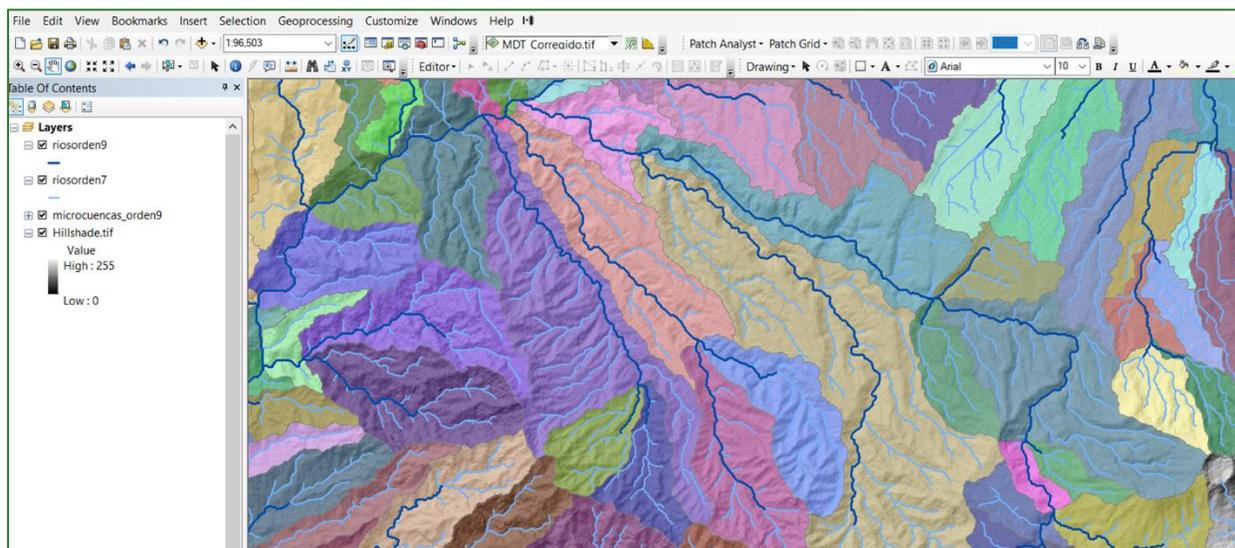


- Convierta el ráster de **microcuencas_orden9.tif** a shapefile con la herramienta **Raster to Polygon** y el archivo guárdelo como **microcuencas_orden9.shp** en la carpeta **DATOS_HIDRO**.



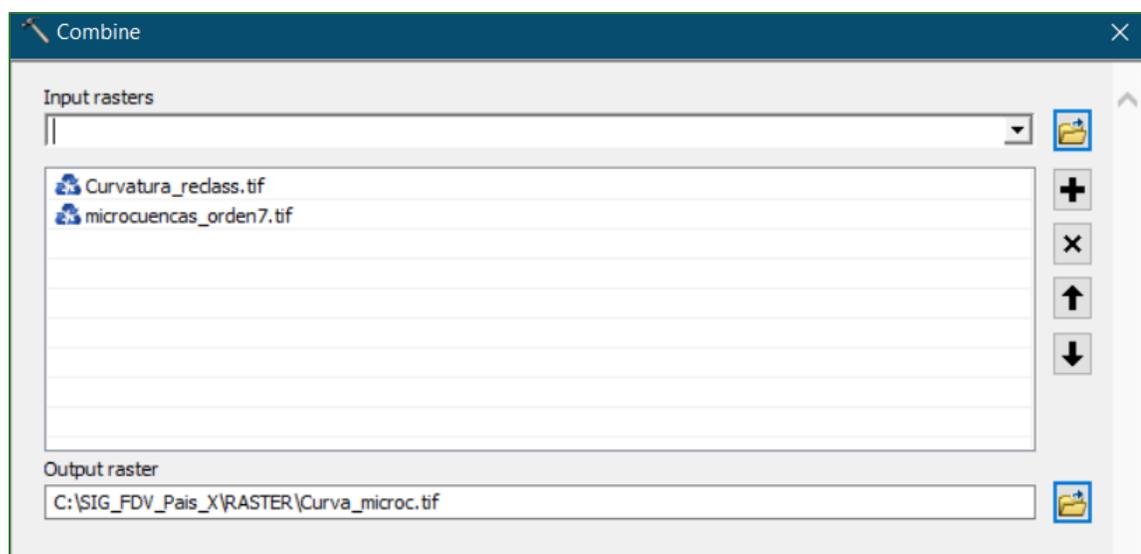
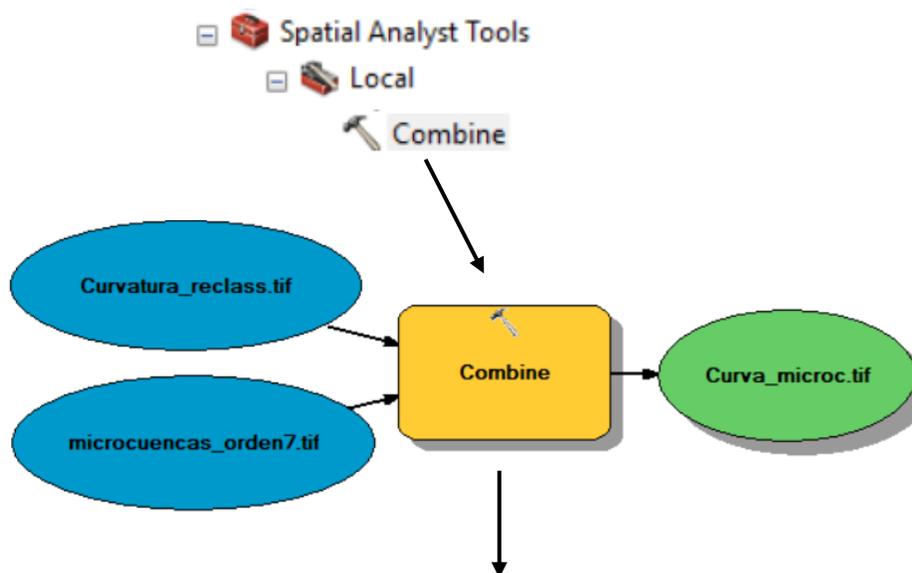


El resultado de la obtención de la hidrografía y microcuencas se tendría que ver como se muestra a continuación:



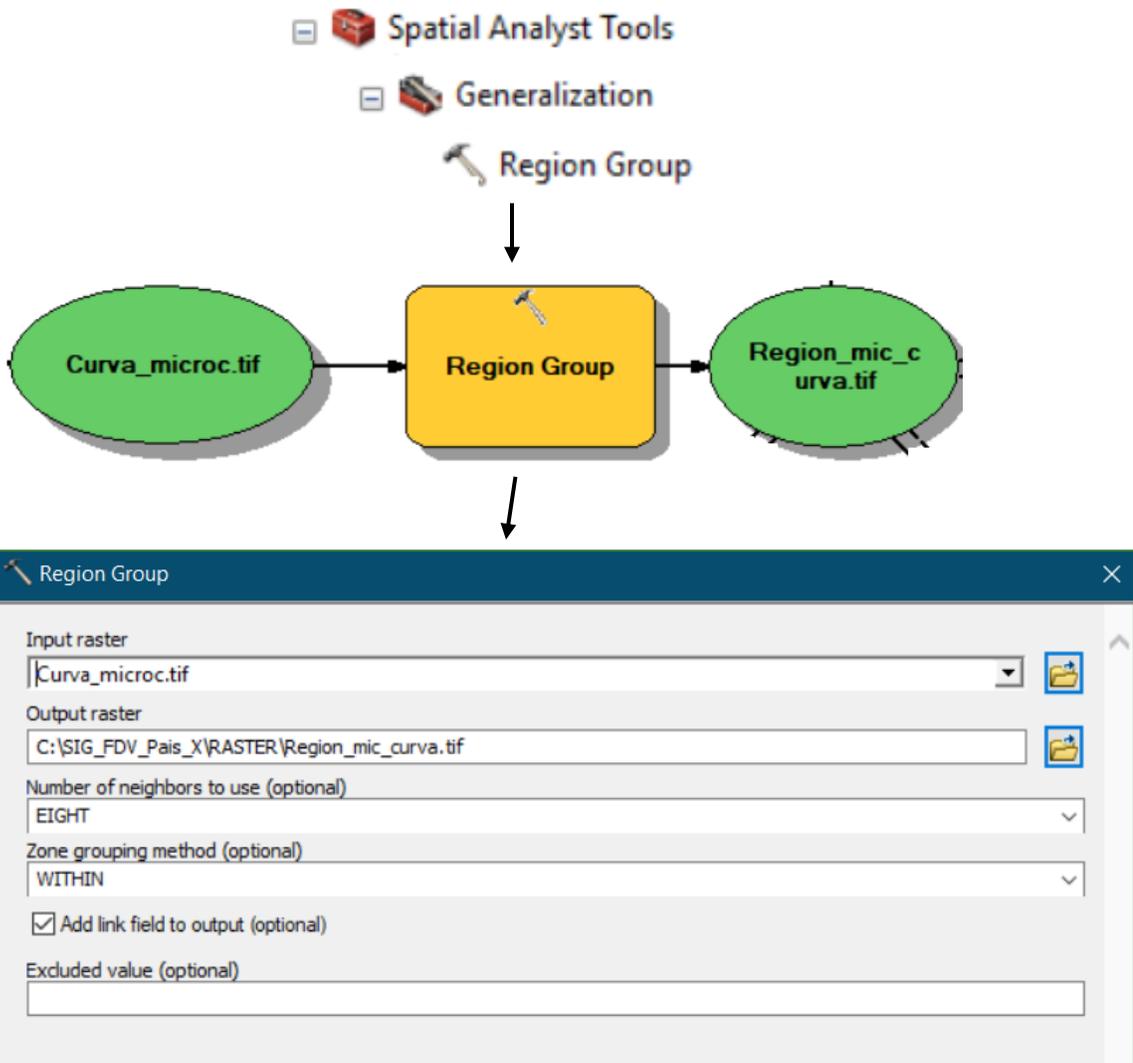
Parte 9. Obtención de unidades base de relieve (region-group)

Combine el ráster de **curvatura_reclass.tif** y el ráster de **microcuencas_orden7.tif** utilizando la herramienta **Combine**. El archivo de salida guárdelo en la carpeta **RASTER/MDT** con el nombre de **Curva_micro.tif**.

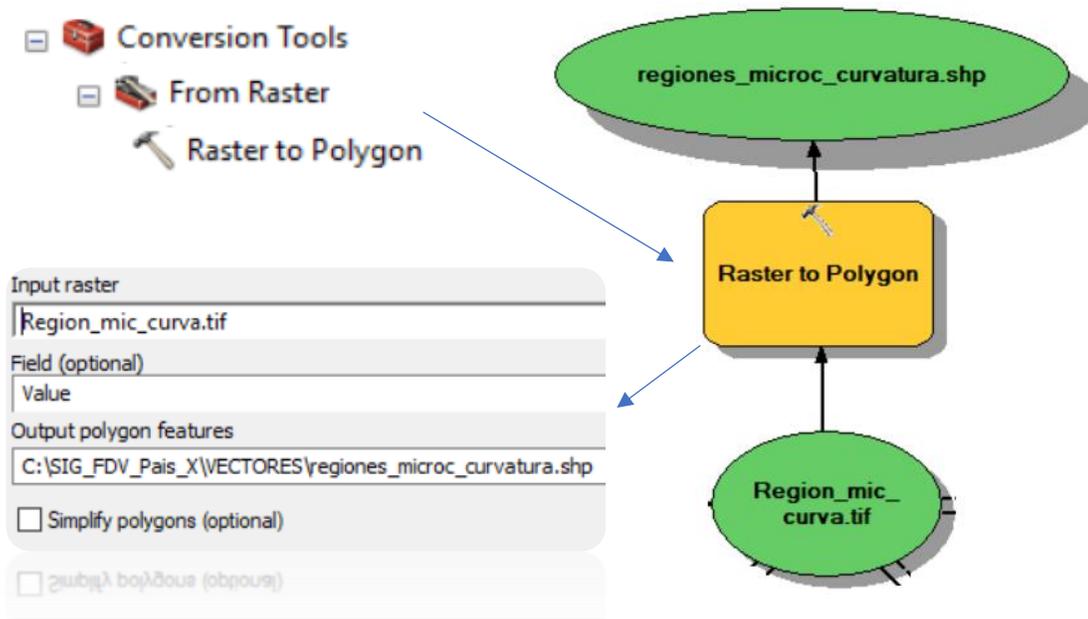


10. Posteriormente, al archivo resultante del paso anterior **Curva_micro.tif** aplíquese la herramienta **Region Group**. El archivo de salida guárdelo en la carpeta **RASTER** con el nombre **Region_mic_curva.tif**.

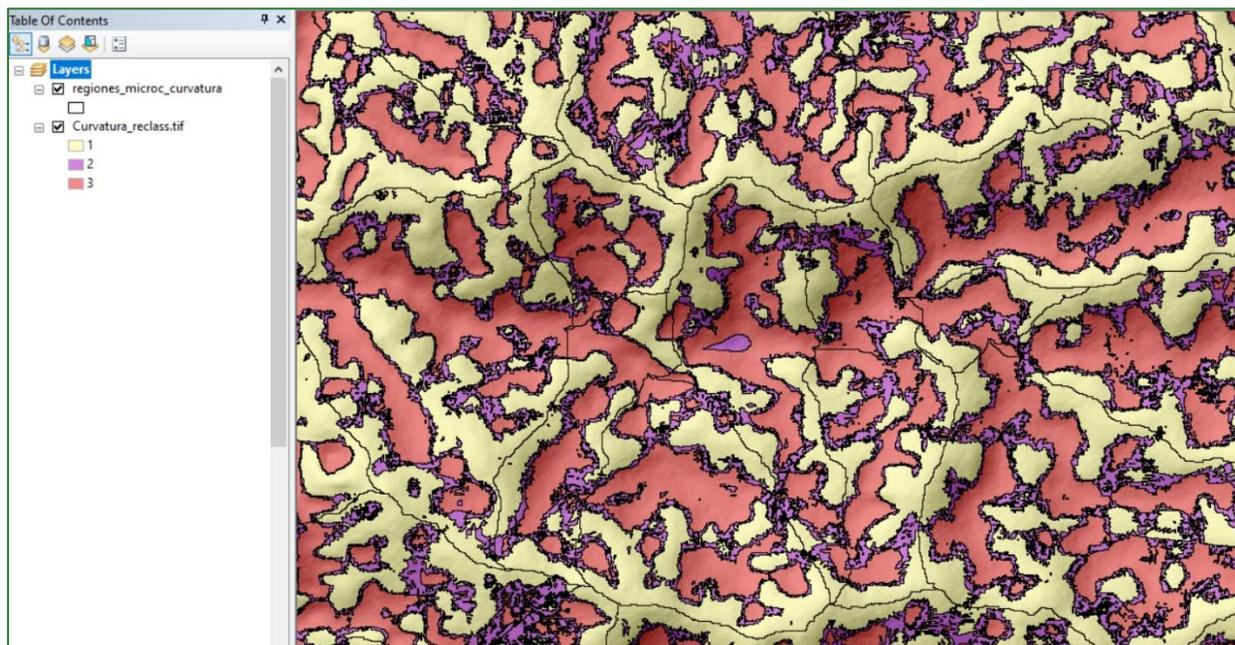
Nota: El tiempo para realizar el proceso del procesamiento del archivo **Region_mic_curva.tif** depende en gran medida del tipo de procesador de su computador, se estima que completar el proceso puede tardar entre 15 a 20 minutos.



11. Convierta a shapefile el archivo resultante del paso anterior **Region_mic_curva.tif**. El archivo de salida guárdelo en la carpeta **VECTORES** con el nombre **regiones_microc_curvatura.shp** y guárdelo en la carpeta **RASTER/MDT**, este archivo vectorial se obtiene solo para fines de visualización, por lo tanto, no será requerido en posteriores procesos.



El archivo resultante se debería de ver como se muestra a continuación: **Este archivo generado será el que se utilizara en la parte 12**

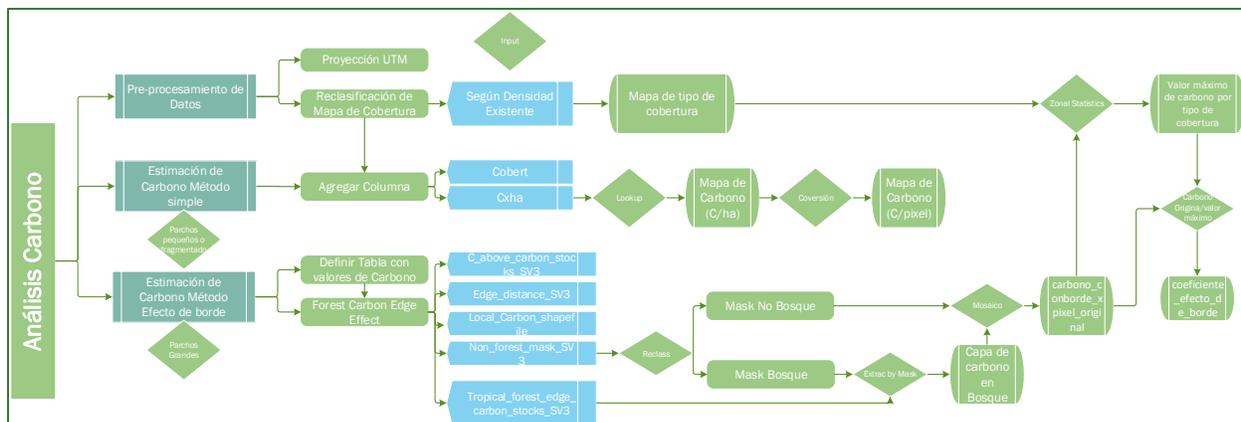
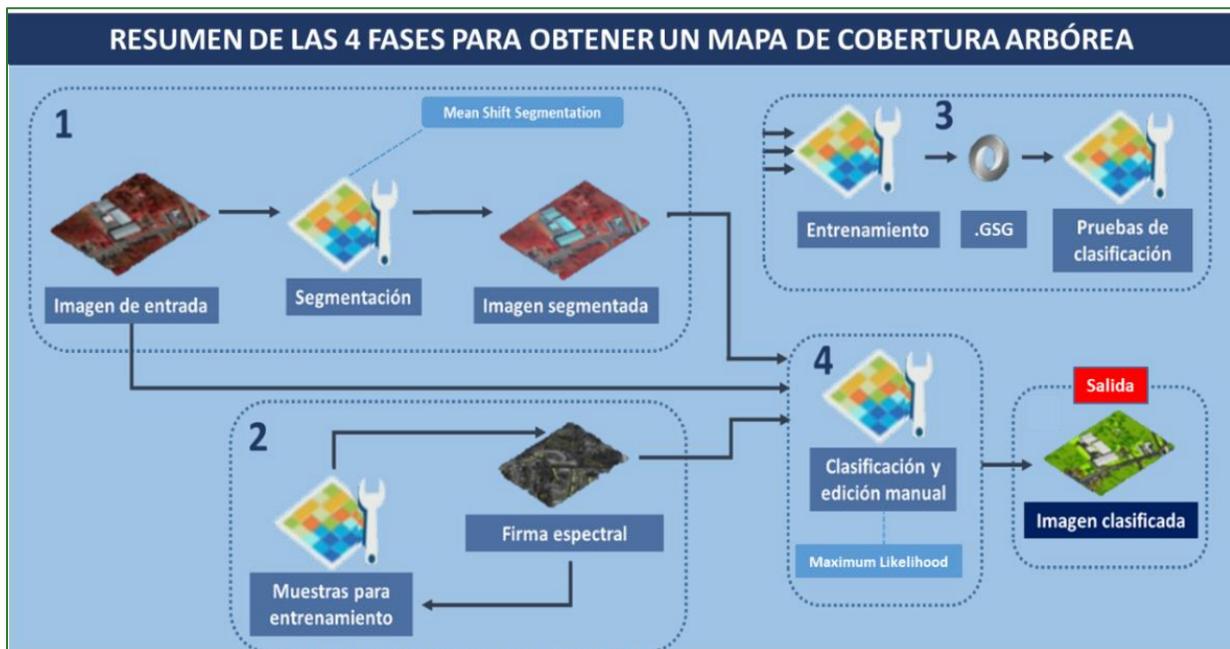




Datos base: Cobertura arbórea

Datos base: Cobertura arbórea, carbono y suelo

En la presente sección, realizará una serie de geo procesos para la generación de un mapa de cobertura arbórea y carbono forestal. Los procesos corresponderán a la generación de un mosaico a partir de imágenes satelitales, levantamiento de firmas espectrales y el mapeo de la cobertura arbórea. A partir de este mapa, estimará el carbono almacenado en la cobertura arbórea mediante dos tipos de métodos. Los datos generados en esta sección serán la base para el posterior análisis de erosión hídrica y conectividad biológica de la presente guía metodológica.



Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso:

<https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Parte 10. Obtención del mapa de cobertura

Introducción

Para la generación de cartografía temática referente a la cobertura arbórea, el uso de imágenes y datos provenientes de sensores remotos es fundamental gracias a que estos brindan la posibilidad de obtener información de la superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algún caso temporal. Desde la aparición de las primeras imágenes de sensores remotos hasta la fecha, se han incrementado notoriamente las aplicaciones para el seguimiento de las coberturas de la tierra, incluido el Bosque (Achard & Hansen, 2013) y cada vez se cuenta con mayor número de programas satelitales y aerotransportados que toman y distribuyen los datos de imágenes, así como métodos de procesamiento, programas computacionales y recursos tecnológicos encaminados al monitoreo de las coberturas.

La generación de cartografía temática referente a la cobertura arbórea requiere la aplicación de la teledetección junto con herramientas de procesamiento geográfico a través de una plataforma integrada como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La clasificación de imágenes de teledetección es un flujo de trabajo largo y en ocasiones lento con muchas fases de procesamiento necesarias para llegar del procesamiento previo a la segmentación, la selección de muestras de formación, la formación, la clasificación, el control de calidad y el procesamiento posterior. Los pasos son en muchos casos iterativos y, dependiendo de los resultados intermedios, pueden hacer necesario repetir el proceso varias veces para obtener unos resultados óptimos. Crear un mapa de clasificación exacto es un proceso intensivo, y los usuarios tendrán que conocer a fondo sus datos de entrada, el esquema de clasificación, los algoritmos de clasificación, los resultados esperados y la exactitud aceptable.

Para la presente guía de análisis geoespacial, para la construcción de las líneas base biofísicas de los Proyectos del Fondo de Desarrollo Verde, el mapa de cobertura arbórea es un elemento clave en el proceso. A continuación, se describen los principales pasos para generar un mapa de cobertura arbórea mediante la clasificación de imágenes de satélite Planet.

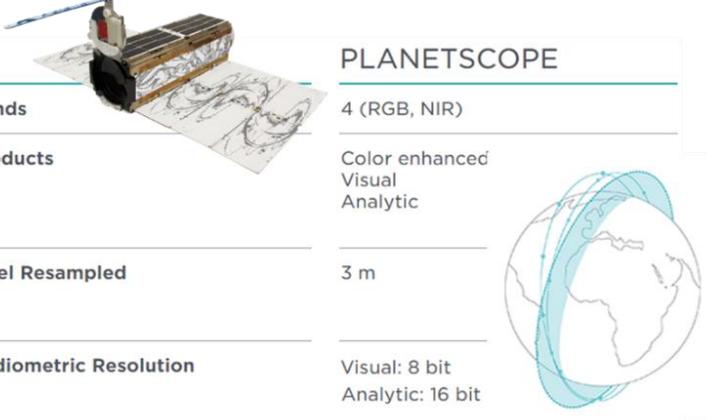
- **Insumos para la obtención de la cobertura arbórea**

El insumo serán imágenes Planet con las siguientes características capturadas desde nanosatélites.



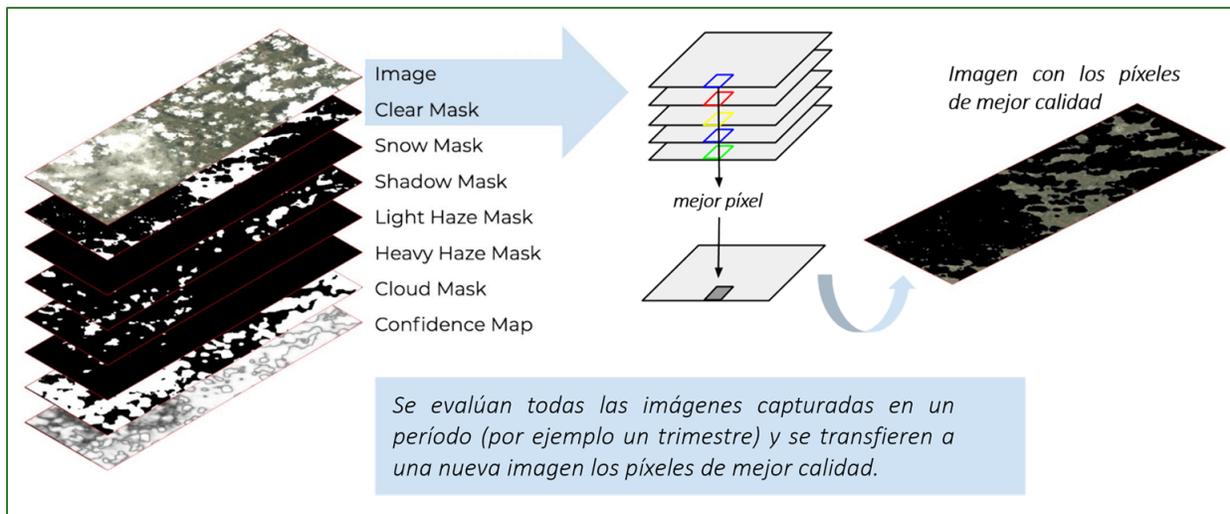
120 Nanosatélites llamados "Dove" (paloma). Compuestos por un cilindro de 30cm (formato "Cubesat") con una cámara dentro y dos paneles solares que se despliegan a los lados cuando están en órbita.

PLANETSCOPE	
Bands	4 (RGB, NIR)
Products	Color enhanced Visual Analytic
Pixel Resampled	3 m
Radiometric Resolution	Visual: 8 bit Analytic: 16 bit
Positional Accuracy	<10 m RMSE



PRODUCTO: MOSAICOS

Mejores píxeles de un período



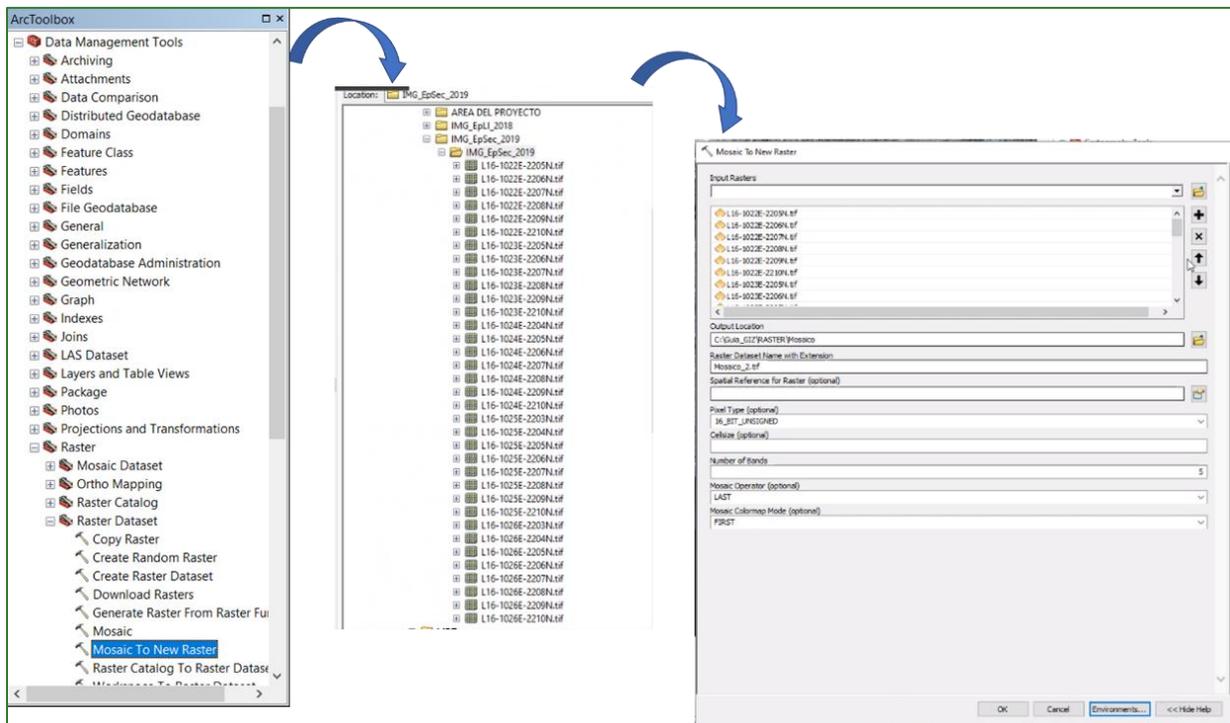
El programa que se utilizará para la generación del mapa de cobertura arbórea corresponde a ArcMap de ArcGIS ESRI, queda a discreción de los especialistas de cada país una vez que conozcan el procedimiento y el resultado realizarlo en el programa de preferencia, el objetivo es obtener manual es mostrar el procedimiento y el resultado.

Fase 1: Construcción del mosaico de imágenes satelitales para la zona de estudio

Antes de iniciar, es necesario la preparación de la estructura de archivos por carpeta: agregue una nueva carpeta con el nombre **COBERTURA**.

- Parte 1: procederemos a conformar un mosaico con las imágenes satelitales, el proceso es el siguiente:
Usaremos la herramienta denominada “**Mosaic to New Raster**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic to New Raster**.

En la casilla Input Raster debe ingresar cada una de las imágenes, guarde el mosaico con el nombre **Mosaico.tif** en la carpeta **COBERTURA**, en la casilla Pixel Type seleccione la opción **16_BIT_UNSIGNED**.

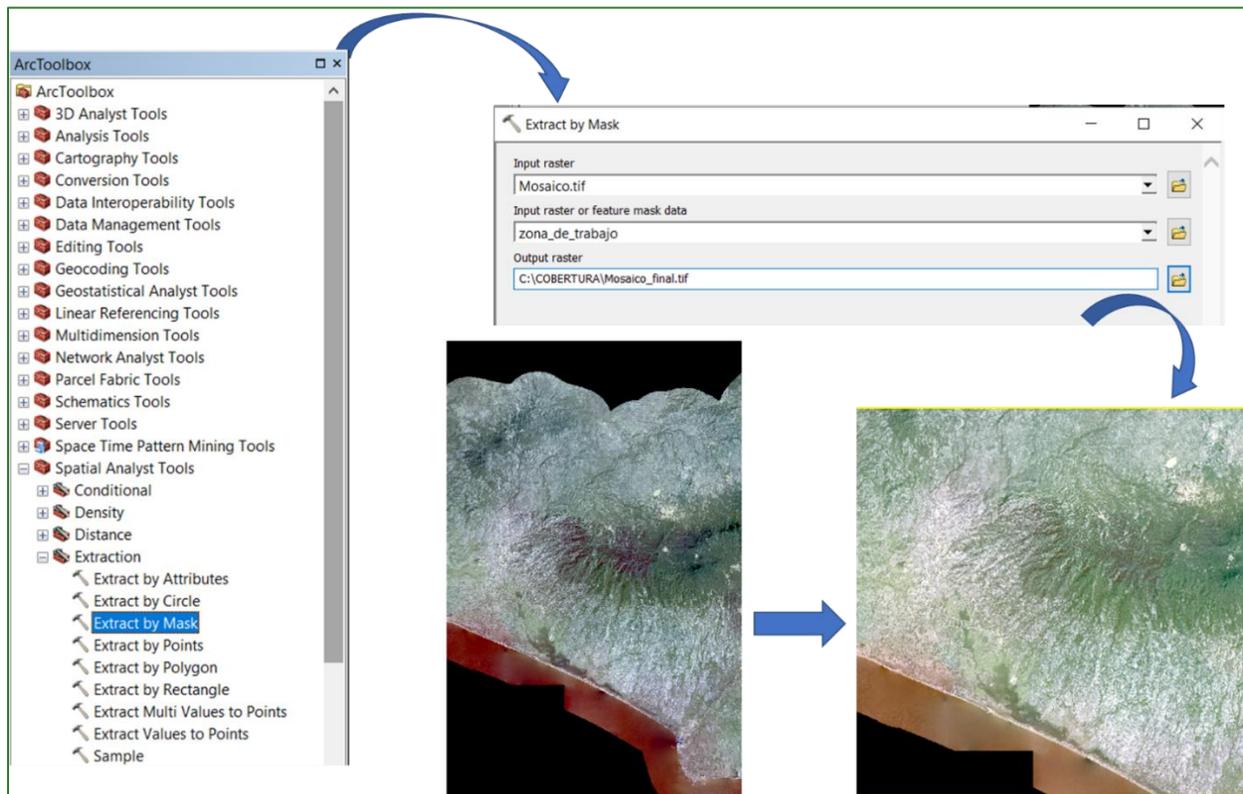


- Ahora proceda a cortar el mosaico para la zona específica de trabajo, para esto utilice la herramienta “**Extract by Mask**” que se encuentra localizada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Mask**.

En la casilla Input Raster ingrese el mosaico denominado Mosaico.tif y en la casilla Input raster or feature mask data ingrese en archivo de la zona de estudio, este archivo se encuentra en la carpeta **VECTORES** con el nombre de **zona_de_trabajo.shp**.

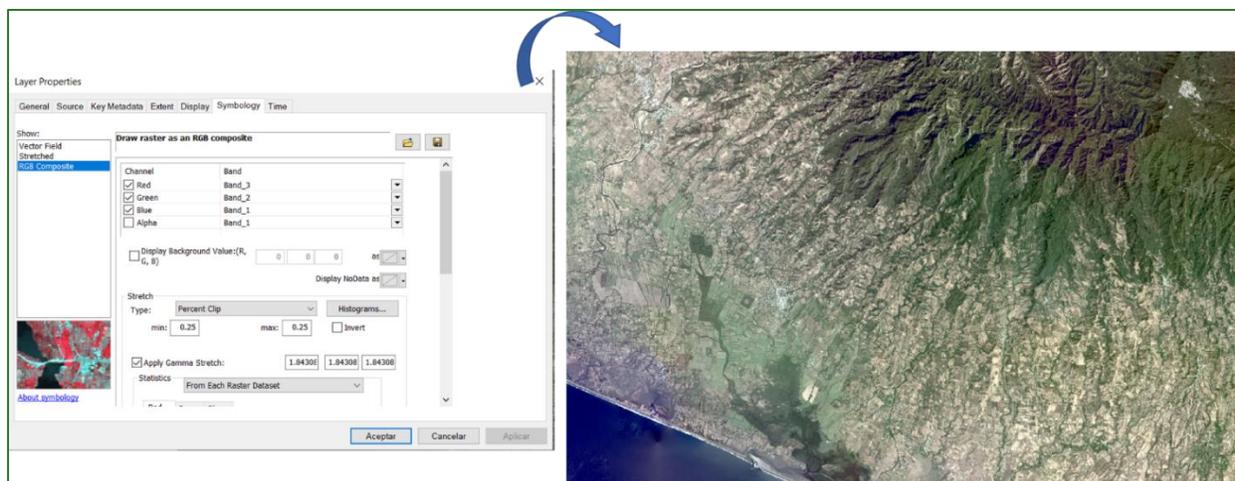
Guarde el archivo en la carpeta COBERTURA con el nombre **Mosaico_final.tif**.

Como resultado obtendrá un mosaico de imágenes satelitales cortado con el límite de la zona de trabajo.



- Ahora nos posicionamos sobre la imagen Mosaico.tif y clic derecho/Propiedades/Simbología y realizamos la combinación de color verdadero: las imágenes de las distintas **bandas** se pueden combinar entre ellas para producir una imagen en color real o falso, color en función de las **bandas** escogidas. Esto se hace aplicando cada uno de los tres colores primarios (rojo, verde, azul) a una **banda** distinta de la imagen. Bandas 3, 2, 1 (RGB): es una imagen de color natural. Refleja el área tal como la observa el ojo humano en una fotografía aérea a color.

Colocamos las bandas de colores de la siguiente forma.



Fase 2: Segmentación de imagen satelital

Clasificación de la cobertura arbórea basada en segmentos: este tipo de clasificación basado en objetos agrupa los píxeles vecinos según su similitud en un proceso conocido como segmentación. La segmentación tiene en cuenta las características de color y de forma al decidir qué píxeles se deben agrupar. Como este método esencialmente promedia los valores de los píxeles y tiene en cuenta la información geográfica, los objetos que se crean a partir de la segmentación se asemejan más a las entidades del mundo real presentes en las imágenes y los resultados de la clasificación son más limpios.

La segmentación de imágenes se basa en el enfoque de desplazamiento medio. La técnica utiliza una ventana móvil que calcula un valor medio de píxeles para determinar los píxeles que deben incluirse en cada segmento. A medida que la ventana se mueve por la imagen, vuelve a calcular de forma iterativa el valor para asegurarse de que cada uno de los segmentos sea adecuado. El resultado es una agrupación de los píxeles de la imagen en un segmento caracterizado por un color medio.

La herramienta Segmentación (desplazamiento medio) acepta cualquiera de los ráster que se admiten en Esri y genera una imagen segmentada de 3 bandas y colores de 8 bits con una propiedad clave establecida en Segmentada. Las características de los segmentos de la imagen dependen de tres parámetros: detalle espectral, detalle espacial y tamaño mínimo de segmento. Puede variar el nivel de detalle que caracteriza una entidad de interés. Por ejemplo, si está más interesado en entidades impermeables que en edificios concretos, puede ajustar el parámetro de detalle espacial a un número más bajo, de este modo obtendrá más suavizado y menos detalle.

Para definir el nivel de importancia del segmento, se define lo que se denomina “Detalle espectral”, en el detalle espectral se definen los valores válidos de 1,0 a 20,0. Un valor más alto es adecuado cuando dispone de entidades que desea clasificar por separado, pero tienen características espectrales parecidas de alguna manera. Los valores más pequeños crean salidas más uniformes espectralmente. Por ejemplo, con un mayor detalle espectral en una escena de bosque, podrá distinguir mejor entre especies de árboles distintas.

Adicionalmente, se define lo que se denomina “Detalle espacial”, aquí se establece el nivel de importancia dado a la proximidad entre entidades en las imágenes. Los valores válidos varían de 1 a 20. Un valor más elevado es adecuado para una escena donde las entidades de interés son pequeñas y

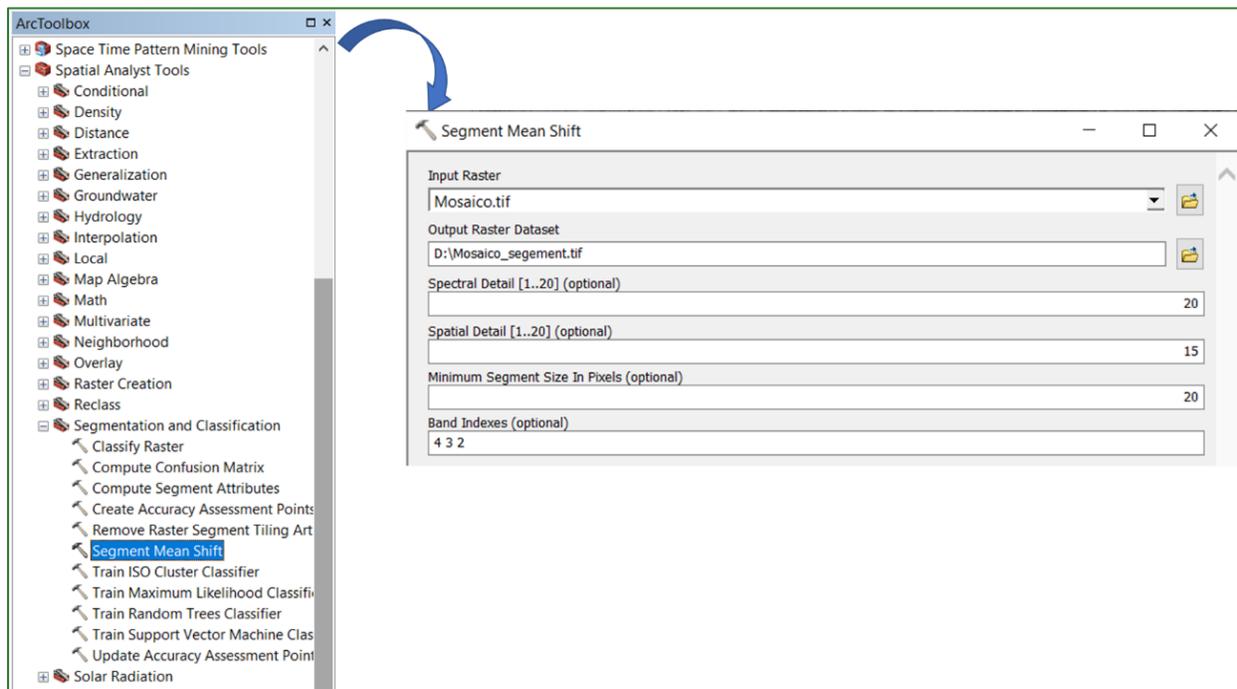
están agrupadas. Los valores más pequeños crean salidas más uniformes espacialmente. Por ejemplo, en una escena urbana, podría clasificar una superficie impermeable utilizando un menor detalle espacial o podría clasificar edificios y carreteras como clases separadas utilizando un detalle espacial mayor.

El procedimiento se muestra a continuación:

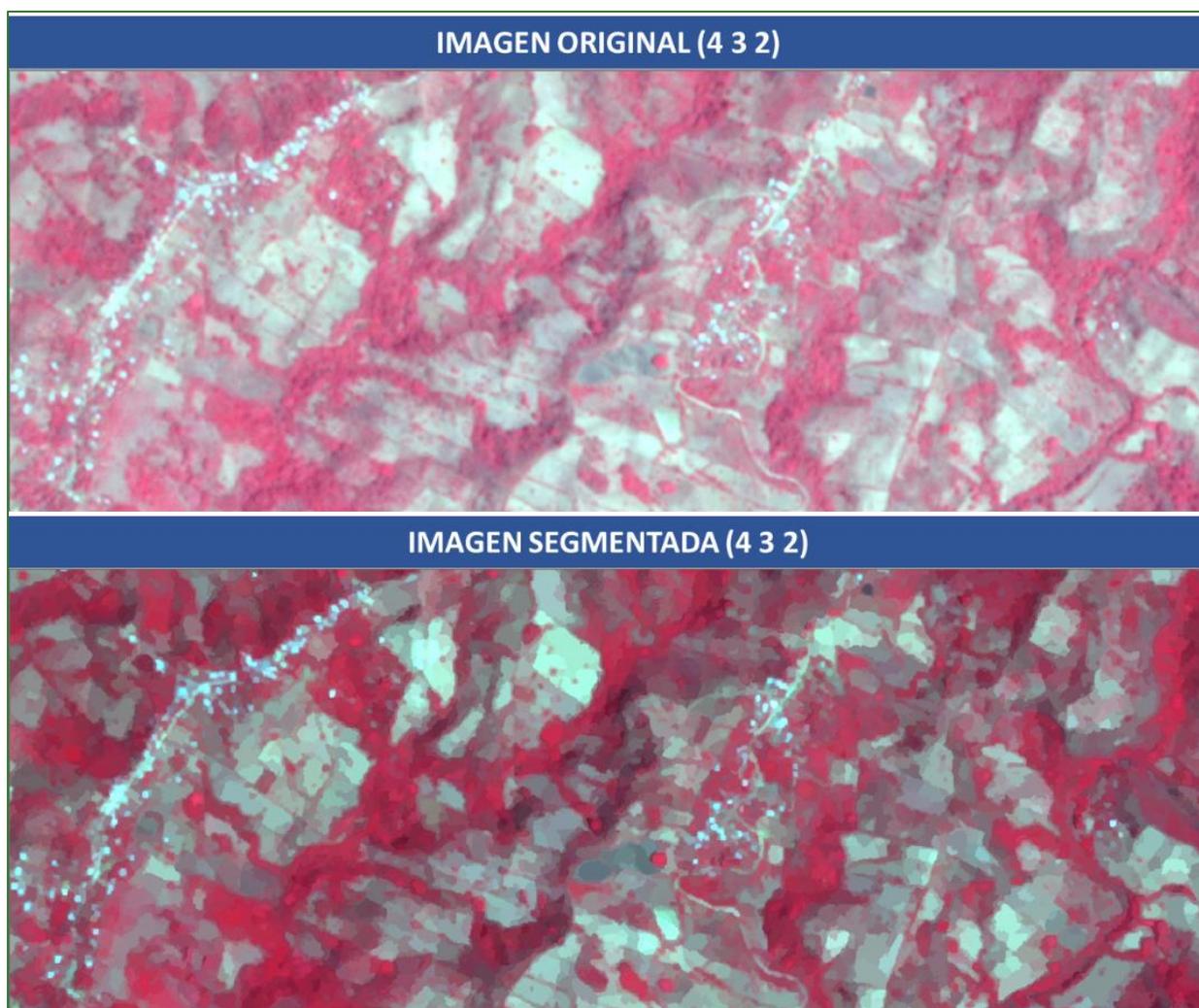
Utilizaremos la herramienta denominada “**Segment Mean Shift**” que se encuentra localizada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Segmentation and Clasification/Segment Mean Shift**.

En la casilla Input Raster colocaremos el mosaico de nuestra zona de estudio llamado **Mosaico.tif**.

El archivo de salida lo llamaremos **Mosaico_segment.tif** y almacenélo en la carpeta **COBERTURA**. Para la generación de los segmentos en el presente ejercicio, definiremos valores máximos para el detalle espectral (20) y para el detalle espacial el valor de 15 y el tamaño mínimo de pixeles por segmentos corresponderá a 20 en los índices de banda 4, 3, 2.



El resultado de la imagen segmentada se visualiza a continuación.



Fase 3: Colección o levantamiento de firmas espectrales

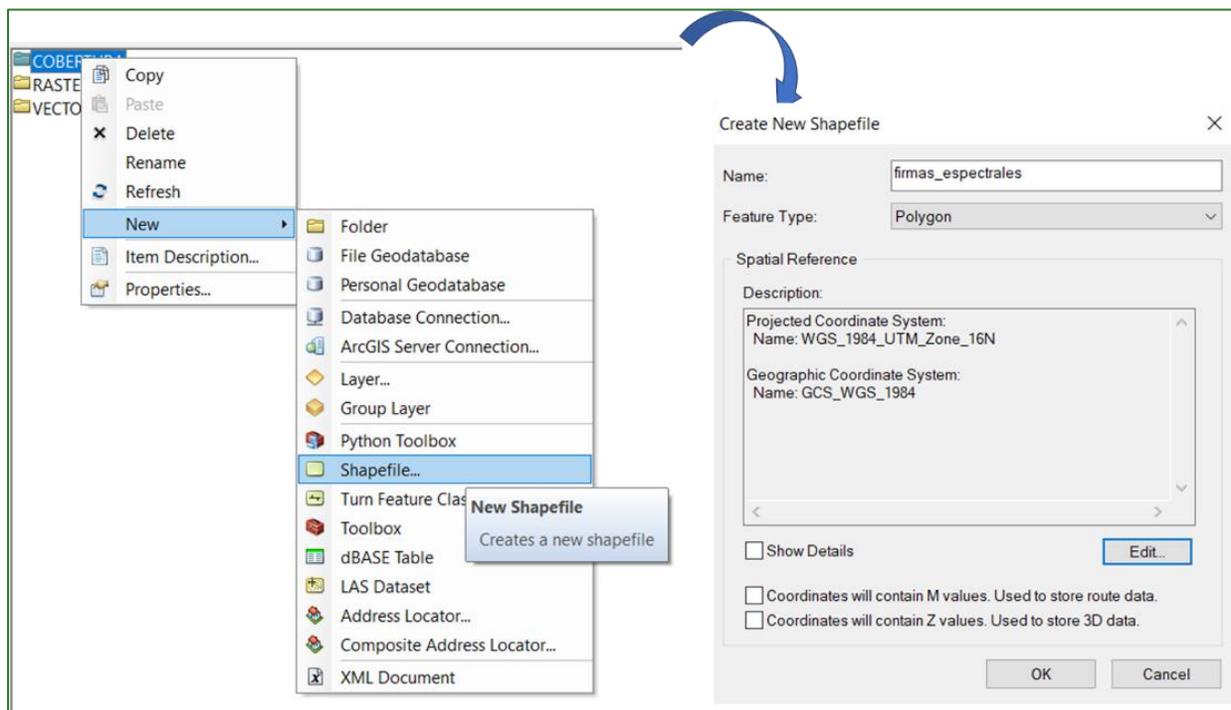
Las firmas espectrales consisten en una serie de muestras que servirán para entrenar el algoritmo que utilizará más adelante para clasificar por el método supervisado las imágenes satelitales. En este sentido, proceda a generar una nueva capa de vector de tipo polígono y seleccione diferentes sitios representativos con cobertura arbórea y sin cobertura arbórea que se encuentran en la zona de trabajo. Estos sitios o polígonos se denominan muestras de formación. Una muestra de formación tiene información de ubicación (polígono) y una clase de cobertura de suelo asociada. El algoritmo de clasificación de imágenes (Maximun Likelihood Classification que utilizará para generar el mapa de cobertura arbórea), usa las firmas espectrales para identificar las clases de cobertura de suelo en toda la imagen. Las muestras de formación se guardan como una clase de entidad o signature.

Nota: Se encuentran disponibles otros tipos de procesos mediante los cuales se pueden generar firmas espectrales que permiten habilitar otros algoritmos de clasificación como ser: Train Random Trees Classifier, Train Maximum Likelihood Classifier o Train Support Vector Machine Classifier que se

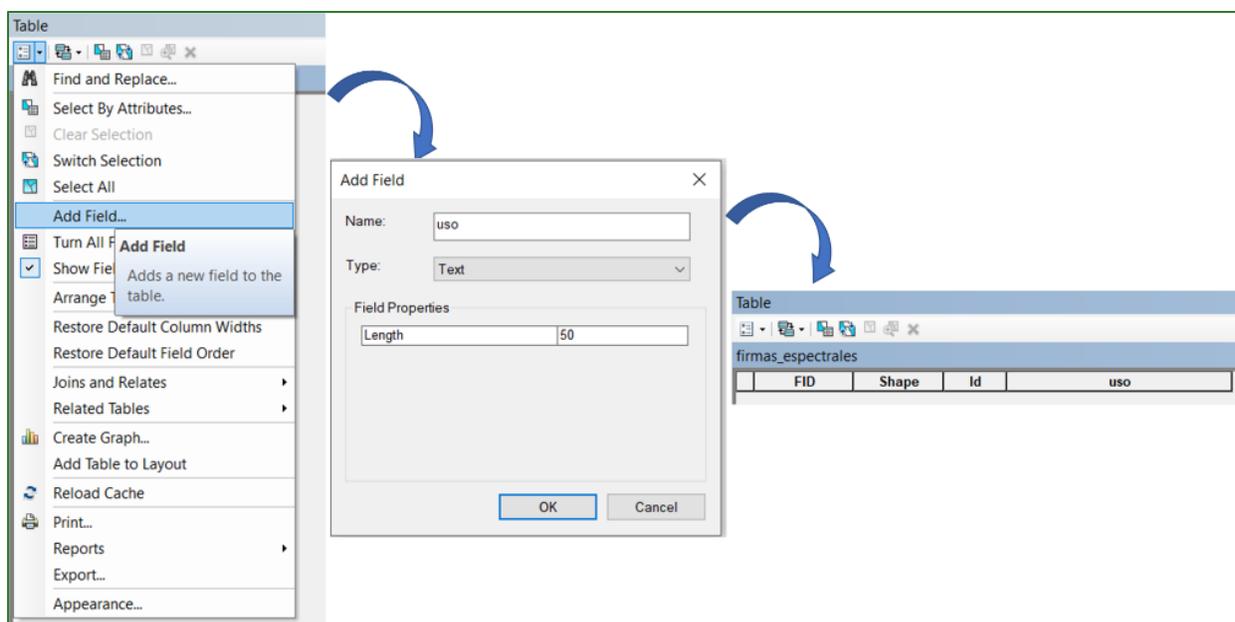
encuentran disponibles en la herramienta Segmentation and Classification del Spatial Analyst Tools de ArcToolBox.

El procedimiento para la **Colección o levantamiento de firmas espectrales** se muestra a continuación:

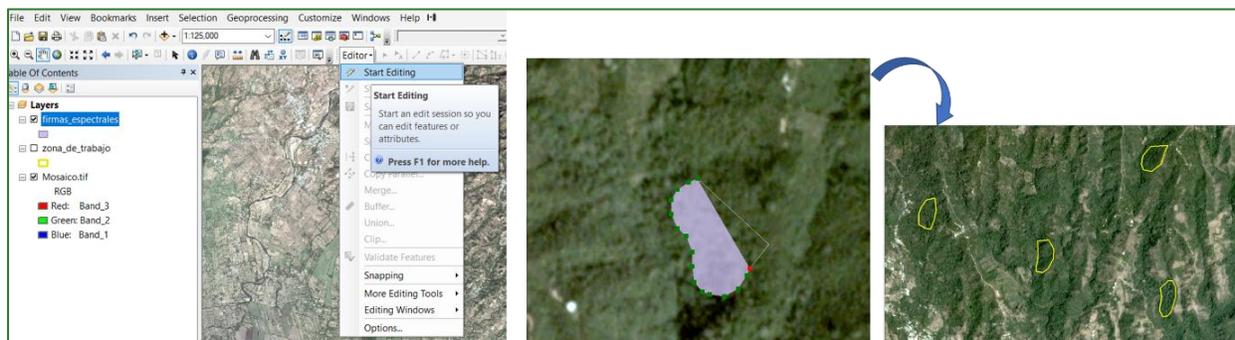
- En la carpeta **COBERTURA** genere un nuevo archivo shapefile de tipo polígono con el nombre de **firmas_espectrales.shp** y coloque la respectiva referencia espacial de su país.



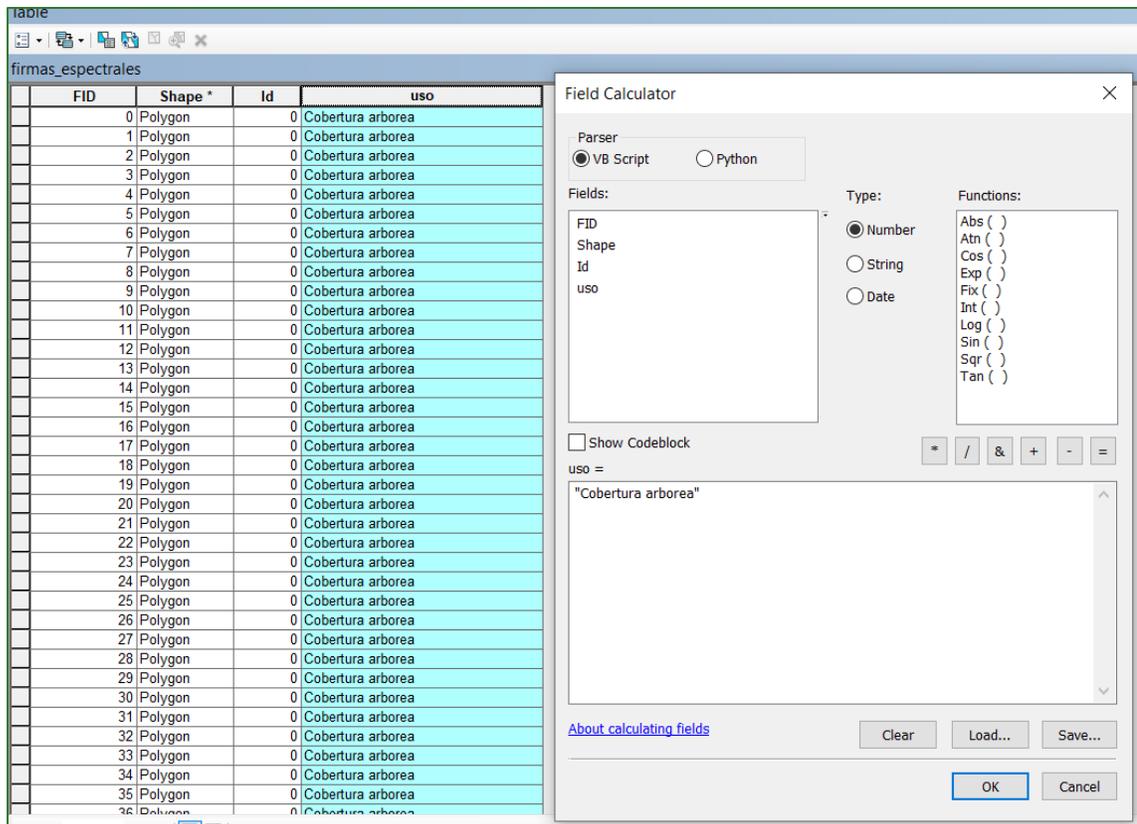
- Abra la tabla del shapefile denominado **firmas_espectrales.shp** y agregue una columna de tipo texto que se llame “uso”.



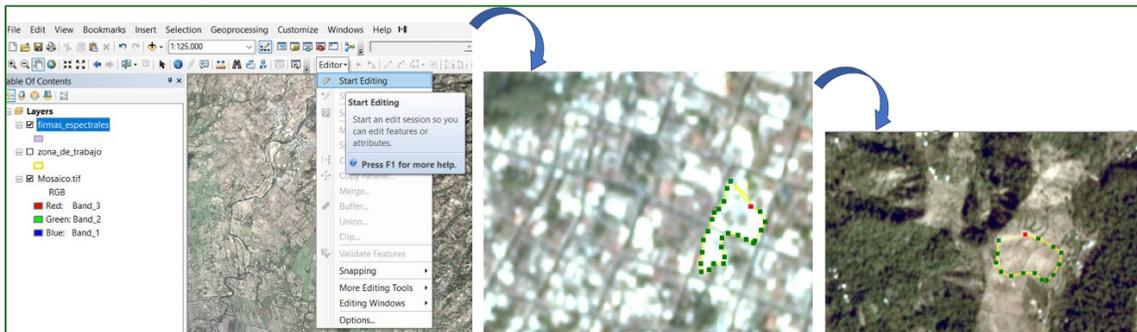
- Iniciar edición o “star editing” a la capa **firmas_espectrales.shp** y proceda a dibujar polígonos en aquellas áreas en las cuales visualice cobertura arbórea. Este paso es muy importante, ya que la calidad del mapa depende de qué tan buenas están las firmas que se levanten en este momento, en ese sentido, es importante estar muy seguros de digitalizar o “dibujar” polígonos en donde la cobertura arbórea es evidente (bosques principalmente), adicionalmente, es importante que los polígonos estén distribuidos en toda la zona de estudio. Un número aproximado de 50 polígonos para cada clase se considera un número apropiado. En este ejercicio levantaremos 50 polígonos de cobertura arbórea y 50 polígonos de cobertura no arbórea.



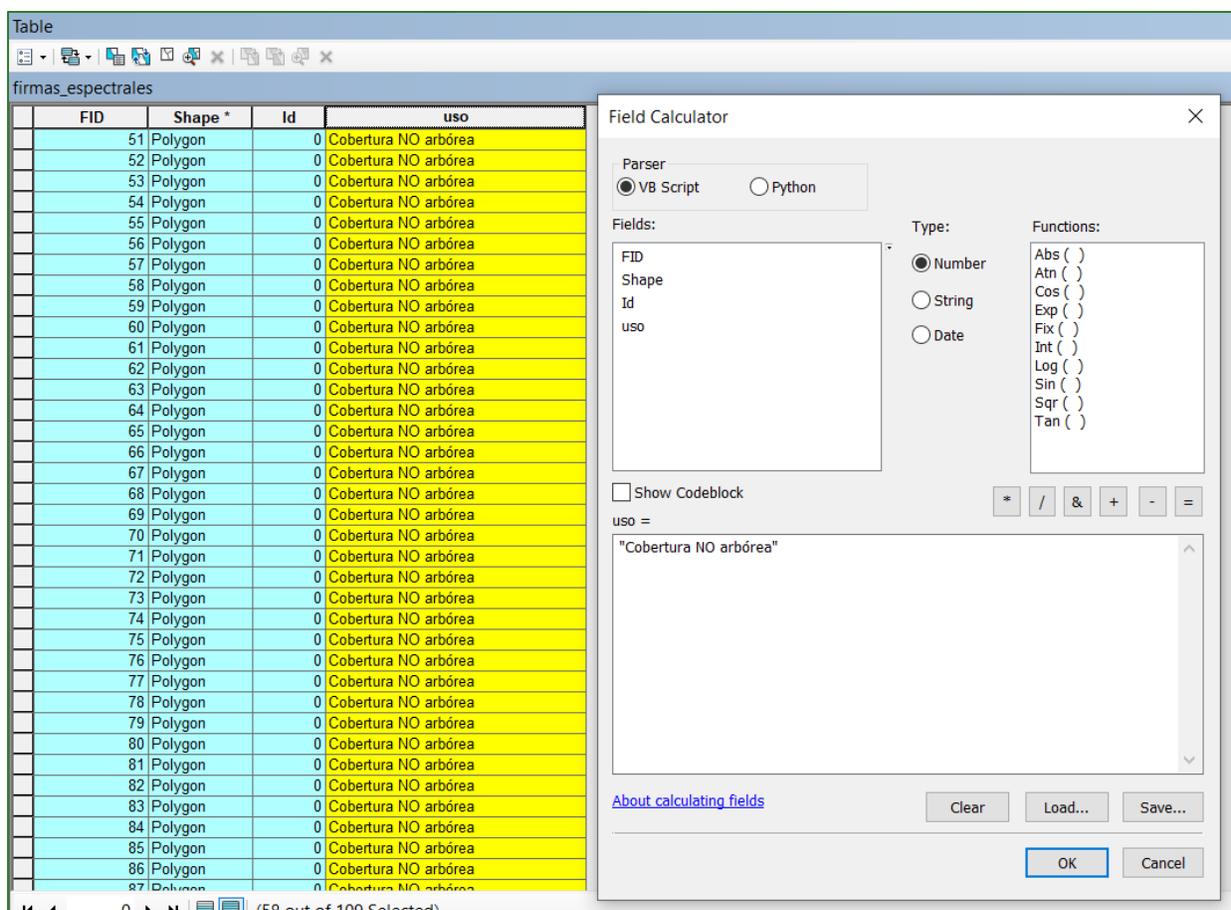
- Una vez digitalizados los polígonos en los cuales se identifica cobertura arbórea, ir a la tabla de atributos del shapefile llamado **firmas_espectrales.shp** y en la columna “uso” colocar como nombre a los polígonos “**Cobertura arbórea**”.



- Ahora debe digitalizar 50 polígonos o firmas de cobertura no arbórea, para digitalizar o “dibujar” estos polígonos, se deben seleccionar sitios en los cuales exista una completa seguridad que no tienen árboles, por ejemplo: cuerpos de agua, agricultura, pastizales, suelos desnudos, áreas pobladas, entre otros.



- Una vez digitalizados los polígonos en los cuales se identifica cobertura arbórea, ir a la tabla de atributos del shapefile llamado **firmas_espectrales.shp** y en la columna “uso” colocar como nombre a los polígonos “Cobertura NO arbórea”.



- Una vez finalizado el levantamiento de las firmas espectrales, proceda a convertir el archivo **firmas_espectrales.shp** en archivo con formato “firma”, para eso utilizaremos la herramienta llamada “**Create Signatures**”, la cual se localiza en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Multivariate/Create Signatures**. Como archivo de entrada coloque el archivo del mosaico segmentado llamado “**Mosaico_segment**”, en Input Raster o Feature Sample Data coloque el archivo shapefile de las firmas espectrales llamado **firmas_espectrales.shp**, en la casilla Sample Field seleccione “uso” y guarde el archivo con el nombre **firmas.GSG** en la carpeta **COBERTURA**.

Fase 4: Clasificación

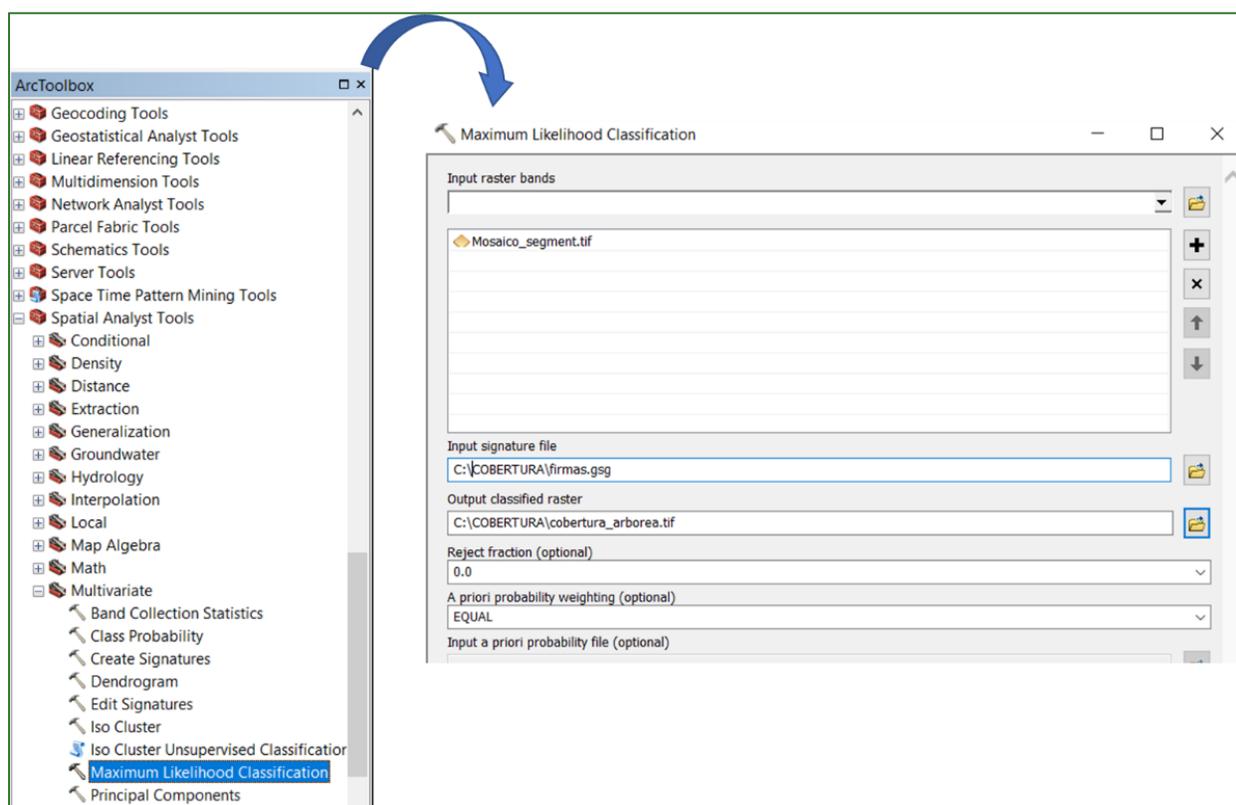
La clasificación de la cobertura del suelo mediante el uso de imágenes satelitales se puede realizar de dos tipos: clasificación supervisada y clasificación no supervisada.

La clasificación supervisada utiliza firmas espectrales obtenidas de las muestras de capacitación para clasificar una imagen. Y la clasificación no supervisada busca clases espectrales (o clústeres) en una imagen multibanda sin la intervención del analista.¹ En el presente ejercicio, realizará una

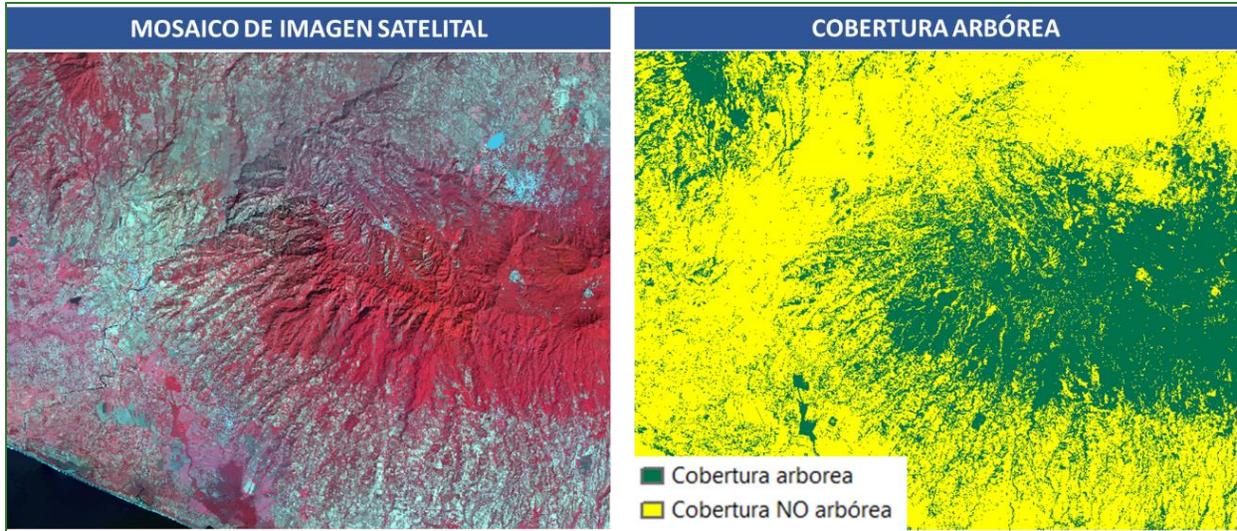
¹ <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/extensions/spatial-analyst/image-classification/what-is-image-classification-.htm>

clasificación de tipo supervisada utilizando las firmas espectrales digitalizadas en el archivo “firmas.GSG”. El procedimiento para realizar el proceso se muestra a continuación.

- Para realizar la clasificación supervisada hay una serie de algoritmos disponibles en ArcMap y se localizan en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Segmentation and Classification**, para el presente ejercicio utilice la herramienta **Maximum Likelihood Clasification**.
 - En la ventana Input Raster ingrese el ráster del mosaico segmentado llamado **Mosaico_segment.tif**.
 - En la ventana Input Signature File ingrese el archivo de polígonos llamado **firmas.GSG**.
 - Guarde el archivo con el nombre **cobertura_arborea.tif** en la carpeta **COBERTURA**.



Como resultado obtendrá un mapa clasificado con dos categorías (i) cobertura arbórea y (ii) cobertura no arbórea.



A continuación, se presenta un resumen del proceso aplicado para obtener un mapa de cobertura arbórea para la zona de trabajo aplicando el presente ejercicio.

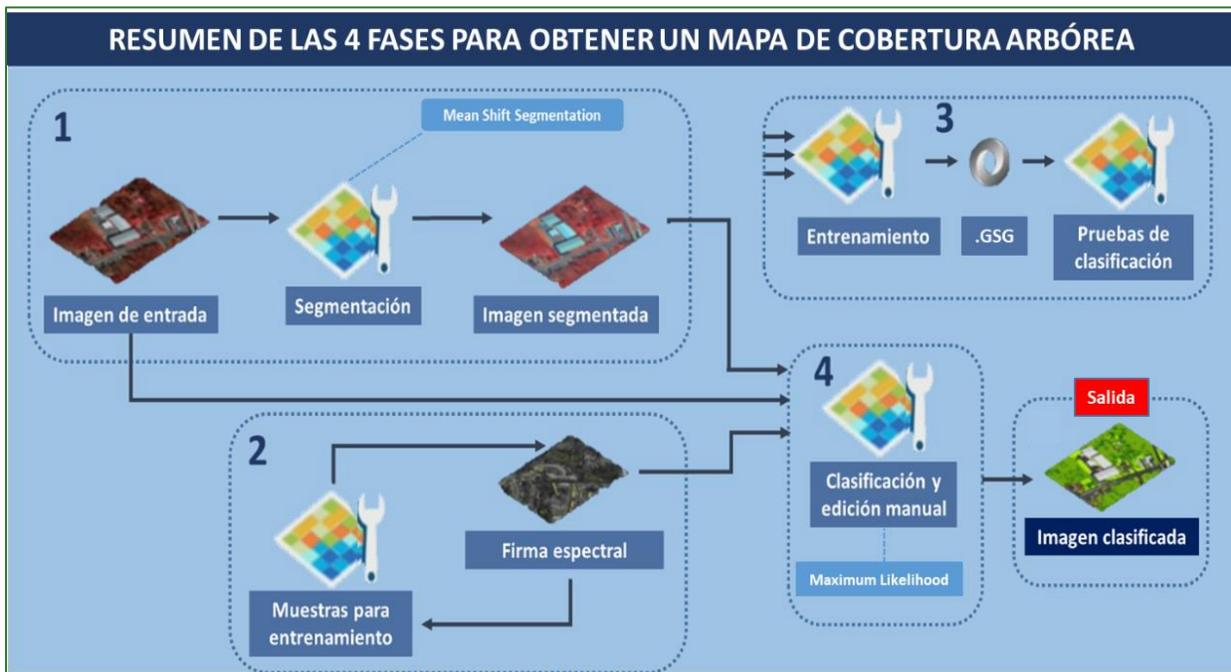


Imagen: resumen de la metodología aplicada para la generación del mapa de cobertura arbórea.

Parte 11. Obtención del mapa de carbono en la biomasa aérea

Introducción

Los bosques son los sumideros de carbono terrestres más extensos del mundo, y en las últimas dos décadas han sido responsables de remover más de una cuarta parte de las emisiones por consumo de combustibles fósiles a escala mundial (Le Quéré et al., 2015).

La biomasa arbórea aérea representa en promedio el 70% del carbono acumulado en el ecosistema forestal. El carbono almacenado encima del suelo es el que se encuentra en los troncos, ramas y hojas de los árboles.

El conocimiento del contenido de carbono en la biomasa aérea es de utilidad para la determinación del balance nacional de Gases de Efecto Invernadero, la construcción de los indicadores nacionales respectivos y el levantamiento de líneas de base para futuros proyectos negociables en el mercado del carbono. A continuación, realizaremos un ejercicio para cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea de nuestra zona de estudio.

Datos de entrada:

- Mapa de cobertura arbórea (en formato ráster), este se encuentra en la carpeta **COBERTURA** con el nombre **cobertura_arborea.tif**.
- Valores de densidad de carbono sobre el suelo para cada tipo de cobertura (unidades: megagramos por hectárea (Mg/ha) = ton/ha).

Pasos metodológicos

1. Cree una carpeta en su directorio de trabajo con el nombre: 01_CARBONO y las subcarpetas:
 - o Mapa_Cobertura
 - o Mapa_Carbono
 - o Zona_Estudio
2. Si el ráster de tipos de cobertura está en coordenadas geográficas, reprojéctelo a UTM o al sistema de referencia de proyección de shapefile **zona_de_trabajo.shp** generado el paso 1 y que se encuentra en la carpeta **VECTORES**.
 - Para reprojectar el ráster utilice la herramienta de ArcGIS: **Projections and Transformations/Raster/Project Raster** y guarde el archivo de salida en la carpeta **01_CARBONO/ Zona_Estudio** con el nombre **lim_zona_estudio_project.shp**.
 - Para reprojectar el ráster del mapa de cobertura arbórea utilice la herramienta de ArcGIS: **Projections and Transformations/Raster/Project Raster**. Guarde el archivo de salida en la carpeta **01_CARBONO/ Mapa_Cobertura** con el nombre **cobertura_project.tif**.

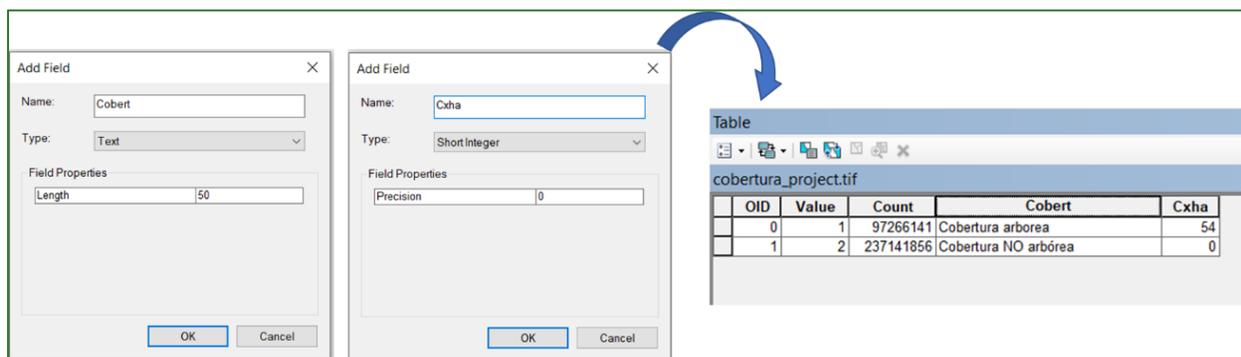
3. Reclasifique el mapa de tipos de cobertura de tal forma que coincida con las clases para las cuales cuenta con los valores promedios de densidad de carbono (ver tablas de carbono de su país). Para el presente ejercicio utilizaremos 54 C ton/ha.

C (ton/ha) arriba del suelo	HN	PN	CR	NI	SV	GT	RD
Bosque (promedio general)		71.30	92.65	44.91	54	122.06	
Manglar		81.60			39.15		
Rastrojo		17.20					
Cultivo		11.70					
Pasto		5.50		5.36			13.42
Otras tierras		1.70					
Bosque latifoliado					54.43		
Cafetal bajo sombra	28.37				36.72	28.16	46.59
BL húmedo	64.92						
BL deciduo	19.25						
B. Mixto	37.47						
Coníferas denso	28.23						
Coníferas (general)							49.09
B. Nublado							64.28
B. Seco							24.98
Matorral seco							14.24

Etapas 1: Generación del ráster de carbono.

En la tabla de atributos del mapa de cobertura denominado **cobertura_project.tif** abra la tabla de atributos y agregue una columna de tipo texto con el nombre “Cobert”, en el cual deberá rellenarlo con las categorías de cobertura de suelo y agregue otra columna de tipo numérico con el nombre de “Cxha”, en el cual deberá colocar los valores de toneladas de carbono por hectárea para el tipo de bosque.

En nuestro ejercicio, tenemos dos categorías de cobertura (i) cobertura arbórea y (ii) cobertura no arbórea. Si utiliza un mapa con diferentes tipos de coberturas, coloque el valor de carbono asociado a cada una de ellas.



- Para conocer el carbono total en la cobertura arbórea debe agregar una nueva columna de tipo numérico con el nombre “Ctotal” aplicando la siguiente ecuación: (“TamañoPixel” ^2/10000) *(número de pixel)*(Cxha).
- En nuestro ejemplo usaremos $(3*3)/10000 * [Count] * [Cxha]$.
- Como resultado obtenemos que en nuestra zona de proyecto se encuentran almacenados 4,727,134 toneladas de carbono en la biomasa aérea de las 87,539 hectáreas de cobertura arbórea que contiene la zona del proyecto.

The 'Add Field' dialog box is shown with the following details:

- Name: Ctotal
- Type: Short Integer
- Field Properties: Precision: 10

The table view shows the following data:

OID	Value	Count	Cobert	Cxha	Ctotal
0	1	97266141	Cobertura arborea	54	4727134
1	2	237141856	Cobertura NO arborea	0	0

- Calcular carbono por pixel: para conocer el carbono por cada uno de los pixeles, debe generar una nueva columna de tipo numérico con el nombre de “Cxpixel” y en la calculadora aplique la siguiente ecuación: Cxha/número de pixel.
- En nuestro ejemplo usaremos $[Cxha] / [Count]$. Como resultado obtendremos que el valor de toneladas de carbono para cada pixel corresponde a 0.0486 tC.

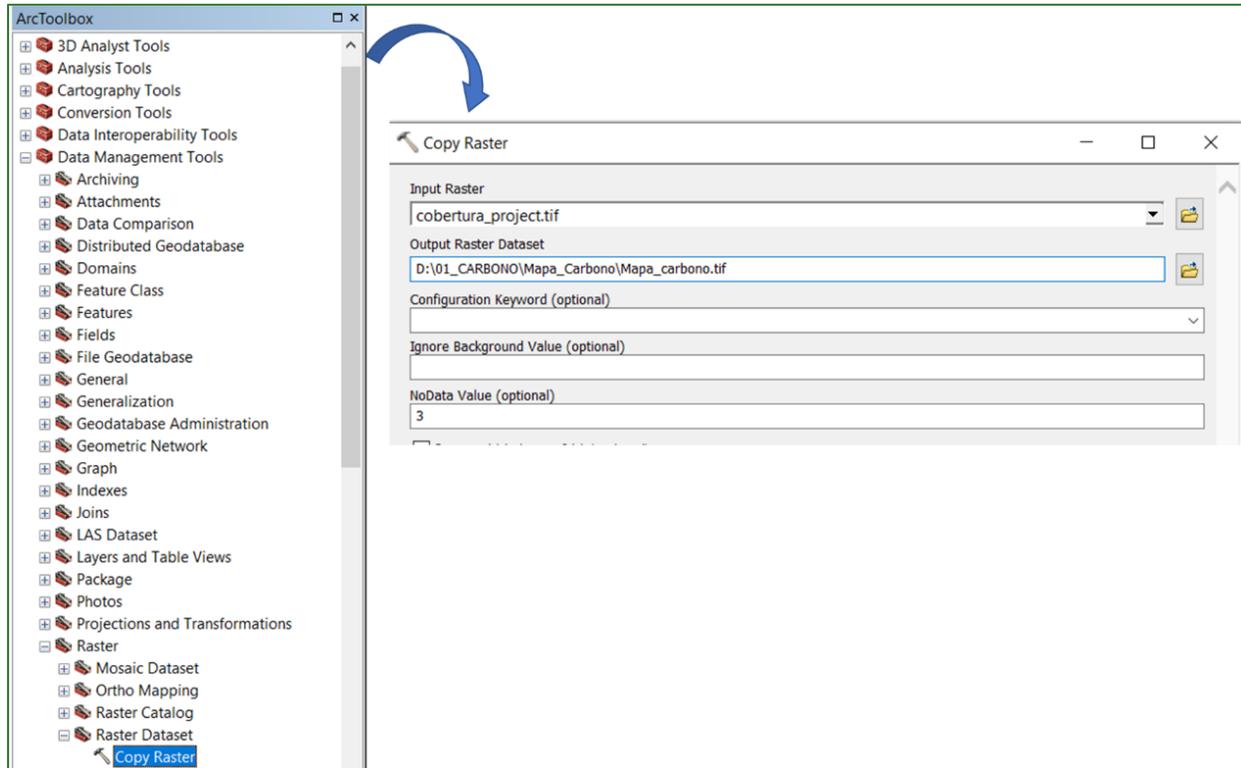
The 'Field Calculator' dialog box is shown with the following details:

- Parser: VB Script
- Type: Number
- Fields: Ctotal, Count
- Formula: $[Ctotal] / [Count]$

The table view shows the following data:

OID	Value	Count	Cobert	Cxha	Ctotal	Cxpixel
0	1	97266141	Cobertura arborea	54	4727134	0.0486
1	2	237141856	Cobertura NO arborea	0	0	0

- Finalmente, haga una copia del ráster del mapa **cobertura_project.tif** con el nombre de **mapa_carbono.tif** y guárdelo en la carpeta **01/CARBONO/Mapa_Carbono**. Utilice la herramienta “**Copy Raster**” localizada en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Copy Raster**.



Estimación del mapa de carbono con el método de efecto de borde

Otra forma de calcular el carbono es considerando el efecto de borde. El cálculo utiliza los modelos desarrollados por Chaplin-Kramer et al. (2015).

En la investigación de Chaplin-Kramer et al. Denominada “Degradation in carbon stocks near tropical forest edge²” estimaron que la biomasa dentro de los primeros 500 m del borde del bosque es en promedio un 25% más baja que en el interior del bosque y que las reducciones del 10% se extienden a 1,5 km desde el borde del bosque. Estos hallazgos sugieren que los métodos de Nivel 1 del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) sobreestiman las reservas de carbono en los bosques tropicales en casi un 10%.

Este método es recomendable utilizarlo en zonas donde encontramos extensas áreas de bosque o “parches” de bosque grande. En este sentido, si su área de proyecto cuenta con extensiones grandes de bosque recomendamos utilizar este método; encontrará mayor detalle en el ANEXO 1 del presente documento.

² <https://www.nature.com/articles/ncomms10158#citeas>

Parte 12. Preparación de los datos de suelos

Se han obtenido los datos de suelos de SoilGRIDS. Estos datos se encuentran a una resolución de 250 m. En esta sección se realizará un proceso para transferir los datos de 250 m a la resolución de 3 m.

Paso 1: descarga de Datos de Suelo.

Los datos de suelos se pueden descargar del siguiente enlace: <https://soilgrids.org/>, la ventana se mostrará de la siguiente manera.

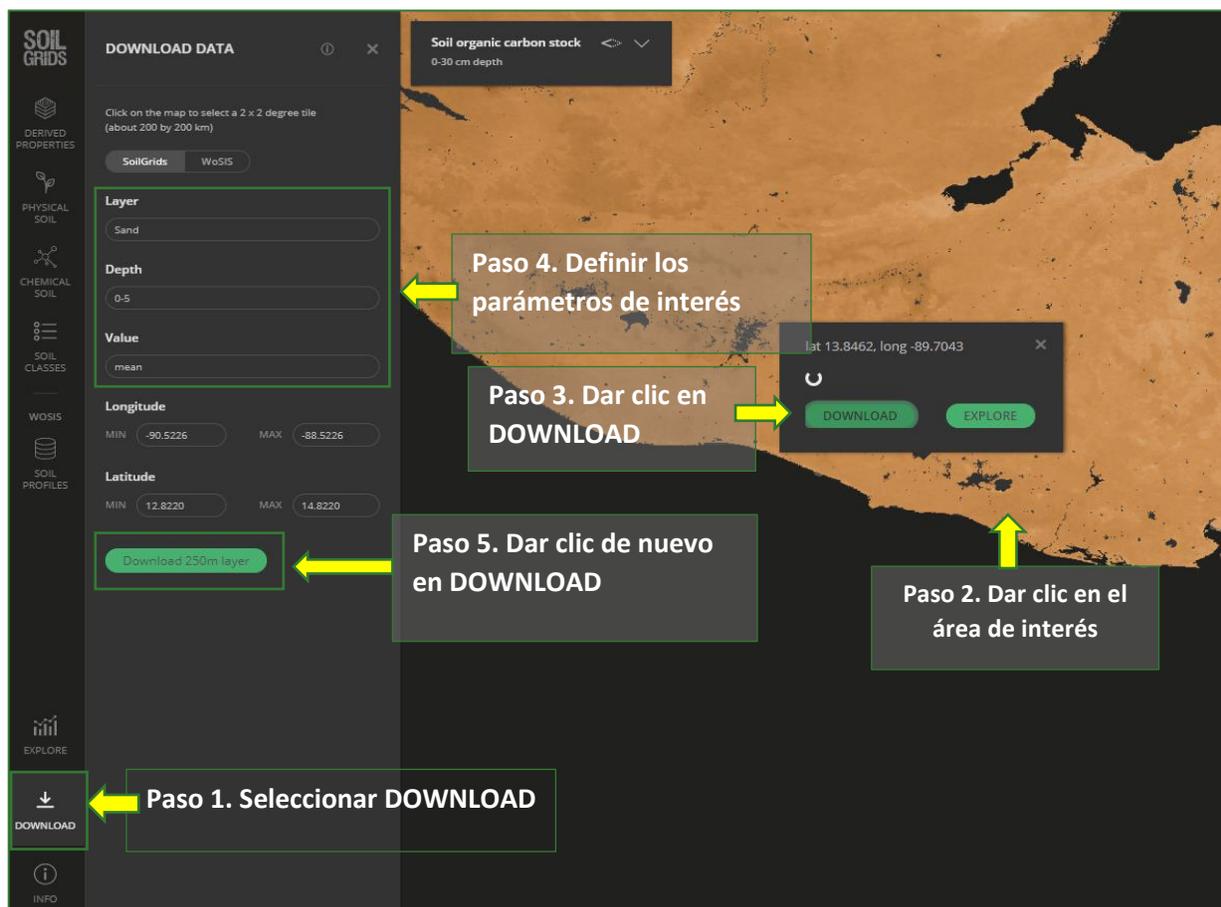


En esta plataforma deberá descargar 4 archivos.

- Soil Organic Carbon Stock (Carbono Orgánico del Suelo a 5 cm) en unidades de dg/kg
- Sand (arena a 5 cm) en unidades de gr/kg
- Silt (limo a 5 cm) en unidades de gr/kg
- Clay (Arcilla a 5 cm) en unidades de gr/kg

Para cada tipo de datos se deberá descargar el valor promedio. Durante el proceso de descargar debe tener en cuenta los siguientes pasos:

Dar clic en la pestaña **DOWNLOAD** y luego clic en el mapa dentro de zona de interés o área de estudio. Tener en cuenta que las descargas se harán en una cuadrícula cada 2 grados (200 km x 200 km).



Una vez realizado el proceso, se debe ir a la carpeta de Descarga de datos, copiar los archivos descargados y pegarlos en la carpeta **RASTER/SUELO**. Los datos se descargan con el nombre out.tif y debe renombrarlos según el nombre que aparece en la plataforma.

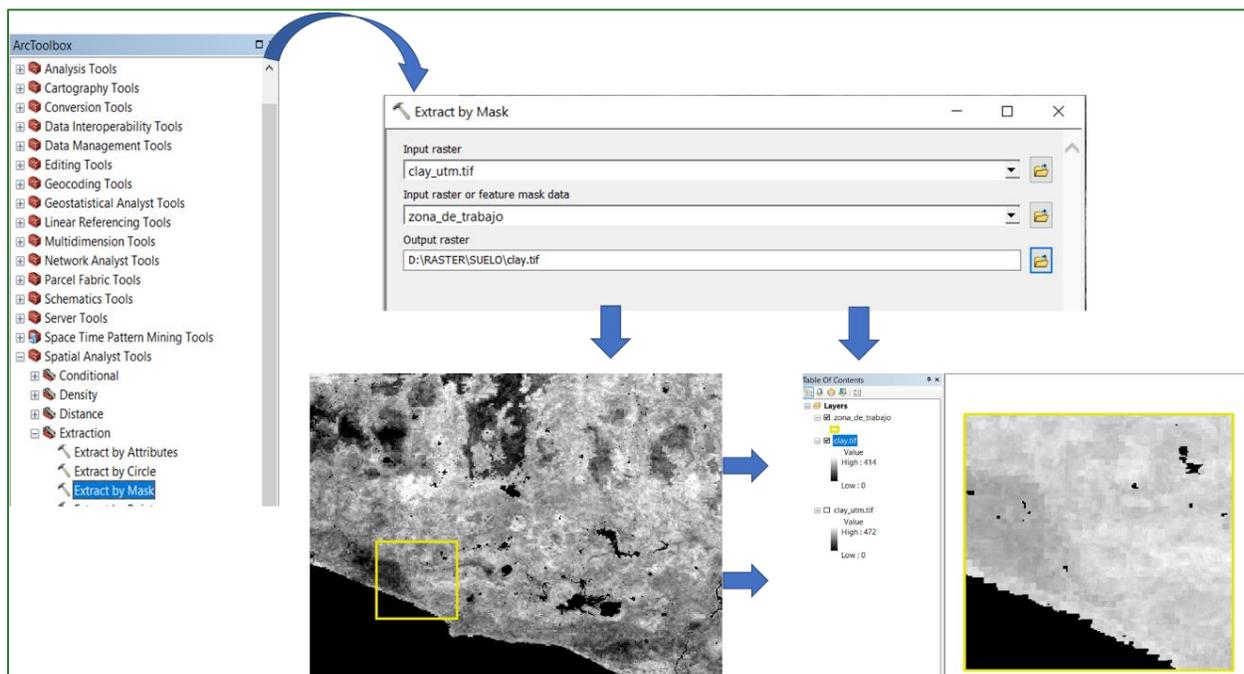
- clay_descarga.tif
- sand_descarga.tif
- silt_descarga.tif
- orgcarb.tif

Paso 2: reprojete cada una de las capas ráster al sistema de coordenadas de su país siguiendo los pasos expuestos en la PARTE 1 del presente documento denominada “PARTE 1. PROYECTAR LAS CAPAS AL SISTEMA GEODÉSICO DEL PAÍS”. Las capas reproyectadas almacénelas en la carpeta **RASTER/SUELO** con los siguientes nombres:

- clay_utm.tif
- sand_utm.tif
- silt_utm.tif
- orgcarb_utm.tif

Paso 3: realizar un corte de cada capa con base al límite de la zona de trabajo. Utilice la capa llamada **zona_de_trabajo.shp** almacenada en la carpeta **VECTORES** y utilice la herramienta “Extract by Mask” ubicada en: **ArcToolBox/Spatial Analyst Tool/Extraction/Extract by Mask** en la casilla Input Raster coloque la capa ráster reproyectada (clay_utm por ejemplo), en la casilla Input Raster or Feature Mask Data ingrese el archivo **zona_de_trabajo.shp** y guarde el archivo en la carpeta **RASTER/SUELO** con los siguientes nombres:

- clay.tif
- sand.tif
- silt.tif
- orgcarb.tif



Paso 4: como último paso de este proceso proceda a calcular los valores del ráster de arena, limo, arcilla y carbono orgánico del suelo a valores porcentuales; para esto, utilice la calculadora de mapas y divida las capas de arena, limo y arcilla entre 10 y la capa de carbono orgánico del suelo entre 100. Para realizar este utilice la herramienta “Raster Calculator” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tool/Map Algebra/Raster Calculator**, almacene los archivos en la carpeta **RASTER/SUELO** y nombre las capas de la siguiente manera:

- clay_por.tif
- sand_por.tif
- silt_por.tif
- orgcarb_por.tif

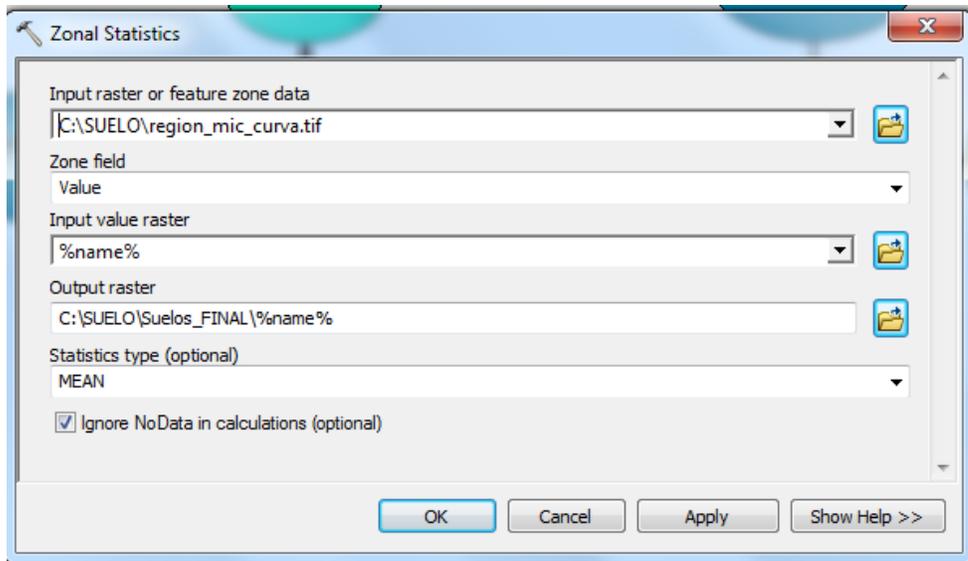
The Raster Calculator window shows the following configuration:

- Map Algebra expression: "clay.tif" / 10
- Output raster: D:\RASTER\SUELO\clay_por.tif

Below the calculator, two tables are shown side-by-side, representing the statistics for the input and output rasters:

clay.tif			clay_por.tif		
OID	Value	Count	OID	Value	Count
0	0	4852	0	0	4852
1	247	1	1	24	1
2	250	3	2	25	94
3	251	2	3	26	499
4	252	2	4	27	982
5	253	7	5	28	1161
6	254	6	6	29	735
7	255	4	7	30	675
8	256	9	8	31	1439
9	257	17	9	32	2735
10	258	26	10	33	3789
11	259	18	11	34	4063
12	260	24	12	35	3528
13	261	32	13	36	2446
14	262	45	14	37	1250
15	263	46	15	38	518
16	264	49	16	39	181
17	265	61	17	40	38
18	266	60	18	41	6

Statistics type: MEAN





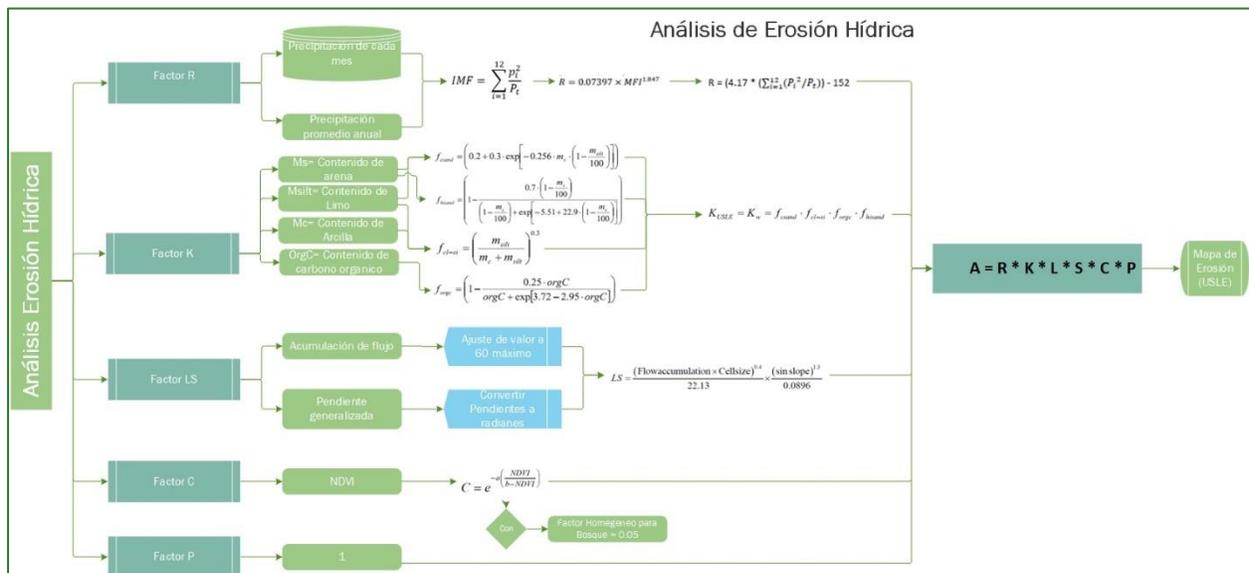
Análisis hidrológico y suelos

Módulo 2: Análisis hidrológico y suelos

La conservación del agua y del suelo requiere del conocimiento de las relaciones entre aquellos factores que causan las pérdidas del suelo y aquellos que ayudan a reducirlas. Estas pérdidas, además de la acción directa de la precipitación y su consecuente escorrentía, pueden ser agravadas, por lo general, por la acción antrópica, a través de las explotaciones forestales insostenibles, las obras civiles y las actividades agrícolas sin criterio conservacionista.

En este contexto se hace necesario realizar estudios de la erosión que permitan determinar las tierras afectadas en diferentes grados de daño, los riesgos potenciales asociados a sus diferentes usos de suelo y las situaciones de conflicto, para tomar medidas de prevención, mantenimiento, defensa y/o recuperación.

En este sentido, el empleo de sensores remotos resulta de gran ayuda para la evaluación de riesgo y dinámica de erosión hídrica (Wang et al., 2013), el conocer estos elementos permitiría desarrollar diversas zonificaciones y subsecuentemente, tomar decisiones en materia de planificación del uso de la tierra a nivel de paisaje (Delgadillo et al., 2009). En esta sección, procederá a geoprocesar una serie de variables de tipo climática, topográfica y vegetacional que permitirá obtener el mapa de erosión bajo el método de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés). USLE es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año (Wischmeier y Smith, 1978).



Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso:

<https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Parte 13. Generación del mapa de erosión hídrica

La ráster de erosión se obtendrá a partir de la Ecuación Universal de la Pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés). Esta ecuación está conformada por 6 factores:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A = Erosión (ton/ha.año)

R = Erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha.h)

K = Erosionabilidad del suelo (ton.ha.h-ha /ha.MJ.mm)

L = Longitud de ladera (adimensional)

S = Pendiente del terreno (adimensional)

C = Cobertura vegetal (adimensional)

P = Prácticas de manejo (adimensional)

Para el análisis de erosión hídrica será necesario contar con las siguientes capas:

Tipo de archivo	Dirección y Nombre de archivo de los datos de entrada
Precipitación	RASTER/CLIMA/ malla_base_LLUVIA
Contenido de arena	RASTER/SUELO/Sand_por.tif
Contenido de arcilla	RASTER/SUELO/Clay_por.tif
Contenido de limo	RASTER/SUELO/ Silt_por.tif
Contenido de carbono orgánico	RASTER/SUELO/Orgcarb_por.tif
Acumulación de Flujo	DATOS_HIDRO/ flowacc.tif
Pendiente	RASTER/MDT/pendiente_region_curva_generalizada.tif
NDVI	RASTER/NDVI/NDVI.tif

Paso 1. Calcular del factor R

Fórmulas para estimar el Factor R

El Factor R se calcula a partir del **Índice de Modificado de Fournier (IMF)**, el cual se obtiene al aplicar la siguiente ecuación:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

Donde:

P_i = precipitación de cada mes (mm)

P_t = precipitación media anual (mm)

A partir del IMF el factor R se puede calcular según la ecuación de Arnoldus, 1980:

$$R = 0.07397 \times MFI^{1.847}$$

O esta otra:

$$R = 95.77 - 6.081MFI + 0.4770MFI^2$$

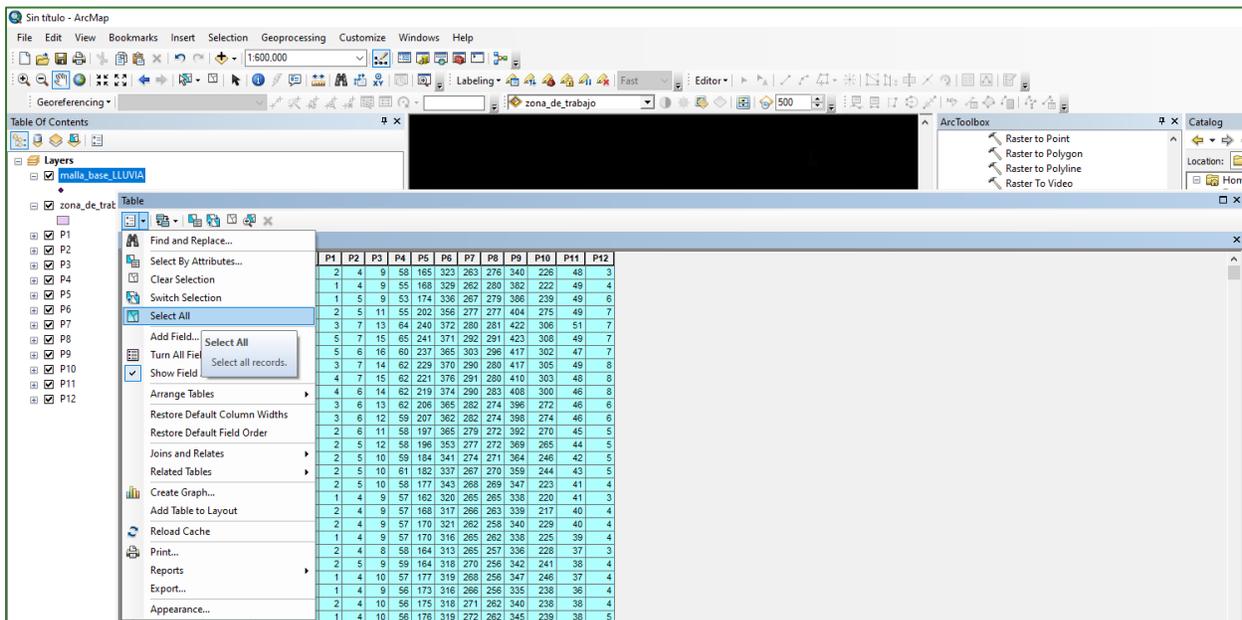
Luego para el cálculo de R existen algunas ecuaciones ajustadas como las de Arnoldus, 1998 que se ha aplicado en algunos estudios en Nicaragua:

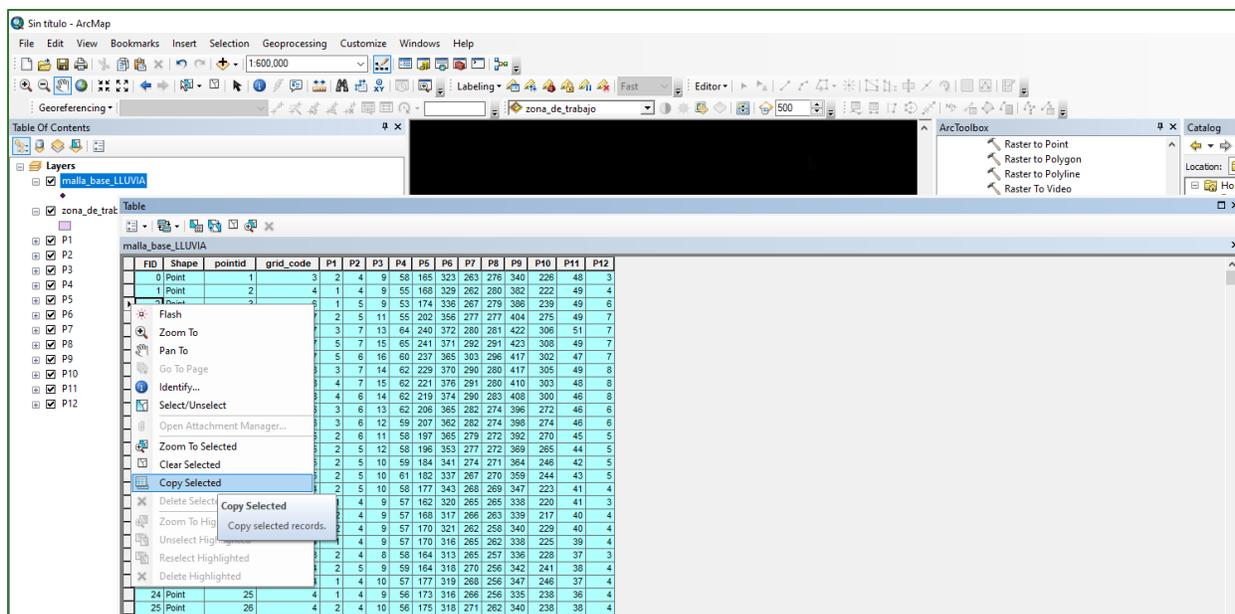
$$R = (4.17 * (\sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P_t)) - 152$$

Procedimiento de estimación del Factor R en Excel

Se recomienda realizar el cálculo del IMF y el factor R en Excel a partir de los datos de precipitación mensual de archivo de la malla de puntos **malla_base_LLUVIA.shp** (dentro de RASTER/CLIMA). Siga los siguientes pasos:

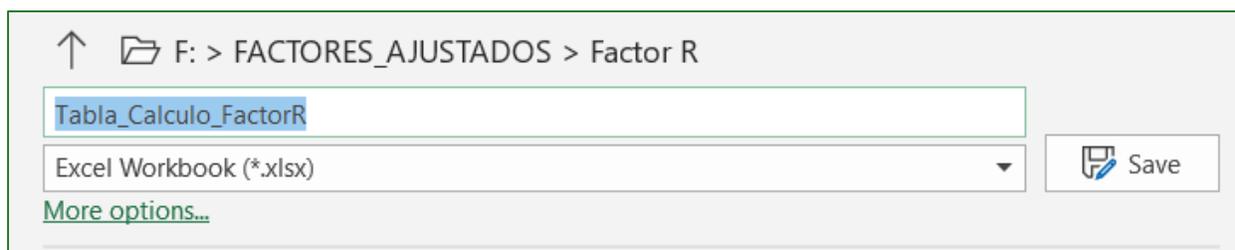
- Abra la tabla de atributos del shapefile **malla_base_LLUVIA.shp**, seleccione todos los valores y copia los valores seleccionados.





- Abra Excel y pegue los valores seleccionados. Esta hoja guardarla en la siguiente dirección con el nombre de:
 - ... FACTORES\Factor R\Tabla_Calculo_FactorR.xlsx3
- Guarde el archivo de Excel:

Save As



- Ahora deberá aplicar la fórmula de cálculo del **Índice de Modificado de Fournier (IMF)**.

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

Donde:

Pi = precipitación de cada mes (mm)

³ Tabla disponible en repositorio de GitHub: <https://github.com/guialandscape/Tablas>

Pt = precipitación media anual (mm)

Siga los siguientes pasos:

- Agregue los encabezados de los siguientes campos:

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P_Anuual	IMF	Factor R
2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3			
1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4			
1	5	9	53	174	336	267	279	386	239	49	6			
2	5	11	55	202	356	277	277	404	275	49	7			
3	7	13	64	240	372	280	281	422	306	51	7			
5	7	15	65	241	371	292	291	423	308	49	7			
5	6	16	60	237	365	303	296	417	302	47	7			

- Calcule la Precipitación anual en el campo P_Anuual sumando las precipitaciones de todos los meses del año. Ejemplo =SUM(F2:Q2).

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P_Anuual	IMF
2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3	=Suma(F2:Q2)	
1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4	SUMA(número1, [número2], ...)	

- Calcule el IMF. Ejemplo:

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P_Anuual	IMF									
2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3	1717	=((F2^2/R2)+(G2^2/R2)+(H2^2/R2)+(I2^2/R2)+(J2^2/R2)+(K2^2/R2)+(L2^2/R2)+(M2^2/R2)+(N2^2/R2)+(O2^2/R2)+(P2^2/R2))									
1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4	1765										

$$=(F2^2/R2)+(G2^2/R2)+(H2^2/R2)+(I2^2/R2)+(J2^2/R2)+(K2^2/R2)+(L2^2/R2)+(M2^2/R2)+(N2^2/R2)+(O2^2/R2)+(P2^2/R2))$$

- Agregue el campo Factor_R y calcúlelo usando la fórmula tomada de Pradhan B. et.al (2012):

$$=(4.17 * MF1) - 152$$

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P_Anuual	IMF	Factor R
2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3	1717	261.70297	=(4.17*S2)-152
1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4	1765		

- Realice los cálculos para todos los registros de la tabla.

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P_Anuar	IMF	Factor R
2	4	9	58	165	323	263	276	340	226	48	3	1717	261.70297	939.30139
1	4	9	55	168	329	262	280	382	222	49	4	1765	274.357507	992.0708
1	5	9	53	174	336	267	279	386	239	49	6	1804	279.232816	1012.4008
2	5	11	55	202	356	277	277	404	275	49	7	1920	294.486979	1076.0107
3	7	13	64	240	372	280	281	422	306	51	7	2046	308.890029	1136.0714
5	7	15	65	241	371	292	291	423	308	49	7	2074	311.661041	1147.6265
5	6	16	60	237	365	303	296	417	302	47	7	2061	310.547307	1142.9823
3	7	14	62	229	370	290	280	417	305	49	8	2034	307.40118	1129.8629
4	7	15	62	221	376	291	280	410	303	48	8	2025	305.997531	1124.0097
4	6	14	62	219	374	290	283	408	300	46	8	2014	305.212512	1120.7362
3	6	13	62	206	365	282	274	396	272	46	6	1931	293.751942	1072.9456
3	6	12	59	207	362	282	274	398	274	46	6	1929	294.328149	1075.3484
2	6	11	58	197	365	279	272	392	270	45	5	1902	292.309674	1066.9313

- Guarde los cambios.
- Exporte la tabla al formato (*.CSV).

Save As

↑ F:\ > FACTORES_AJUSTADOS > Factor R

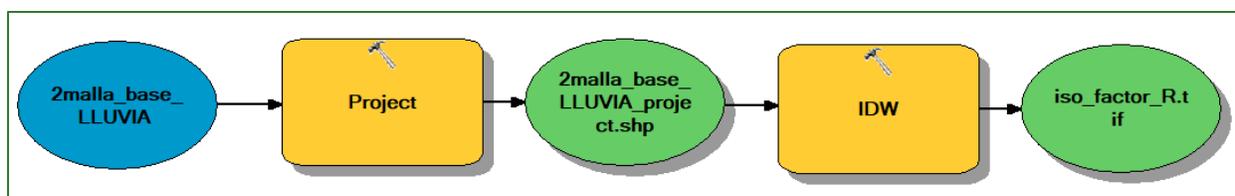
Tabla_Calculo_FactorR

CSV (Comma delimited) (*.csv)

Save

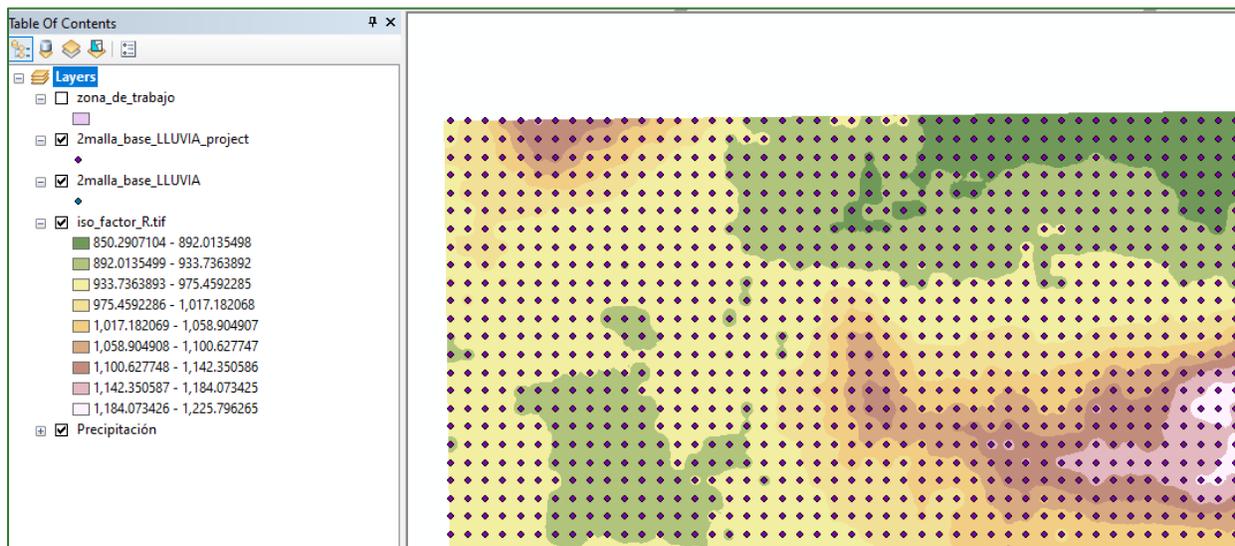
[More options...](#)

- En ArcMap abra la tabla la **mallabase_LLUVIA.shp** y haga un Join con la **Tabla_Calculo_FactorR.csv**.
- En ArcMap dar un guardar como, al archivo de puntos **mallabase_LLUVIA.shp** con el nombre **2mallabase_LLUVIA.shp** y guárdelo en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR R**.
- Luego realice una interpolación con el archivo anterior con la función **IDW (Spatial Analysis Tools/Interpolation/IDW)** utilizando la columna de Factor_R y renombre el archivo de salida como **iso_factor_R.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR R**. Tome en cuenta que la resolución (Output cell size) que se debe definir en la interpolación debe ser de 3 m, lo demás parámetros se deben dejar por defecto.
- El modelo quedará de la siguiente manera:
- El resultado se mostrará de la siguiente manera:



Nota: considere importante que la proyección a utilizar en cada uno de los procesos debe ser WGS 84 zona 16 N.

- El resultado se mostrará de la siguiente manera:



Paso 2. Calcular el factor K

El Factor K se calcula a partir de los datos de características del suelo usando la siguiente formula:

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

Para aplicar la formula se requieren los siguientes datos en formato ráster:

Prefijo de Fórmula	Capa y unidad	Dirección y nombre del archivo de los datos de entrada
Ms	Contenido de arena (%)	RASTER/SUELO/Sand_por.tif
Msilt	Contenido de limo (%)	RASTER/SUELO/Silt_por.tif

Mc	Contenido de arcilla (%)	RASTER/SUELO/Clay_por.tif
orgC	Contenido de carbono orgánico (%)	RASTER/SUELO/orgcarb_por.tif

Nota: para el proceso de estimación de factor K, puede estructurar la aplicación de las diferentes fórmulas en el ArcMap utilizando el Raster Calculator o descargando el Model Builder Erosión disponible en el repositorio de GitHub, disponible en el siguiente enlace: https://github.com/guialandscape/Model_Builder

Trate de seguir los siguientes pasos para aplicar cada fórmula en el Raster Calculator (**Spatial Analysis Tools/Map Algebra/Raster Calculator**) de ArcGis:

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \cdot \exp \left[-0.256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

Opción 1: Float((0.2+(0.3*(Exp(-0.256 * ("%sand_por%" * (1-("%silt_por%"/100))))))))

Opción 2: 0.2+(0.3*(Exp(-0.256*(Float("%sand_por.tif%") * (1-(Float("%silt_por.tif%")/100))))))

Nota: Tome en cuenta que las fórmulas a ser expresadas en el Raster Calculator, las capas aparecen entre %%; esto se genera de forma automática cuando se llama una capa que previo se ha generado en un modelo. Esto no expresa ninguna unidad porcentual, puede o no, estar presentes en nuestra expresión dentro del Raster Calculator.

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

Opción 1: Float(Power(("silt_por%" / ("clay_por%" + "silt_por%")),0.3))

Opción 2: Power((Float("%silt_por.tif%")/(Float("%clay_por.tif%")+ Float("%silt_por.tif%"))),0.3)

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25 \cdot orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 \cdot orgC]} \right)$$

Opción 1: Float((1-((0.25 * "%orgcarb_por%" / ("%orgcarb_por%" + (Exp(3.72-(2.95 * "%orgcarb_por%"))))))))

Opción 2: 1-((0.25 * Float("%orgcarb_por.tif%") / (Float("%orgcarb_por.tif%") + (Exp(3.72-(2.95 * Float("%orgcarb_por.tif%"))))))))

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right)$$

Opción 1: Float((1-((0.7 * (1-("%sand_por%" / 100)) / (((1-("%sand_por%" / 100)) + Exp(-5.51 + (22.9 * (1 - ("%sand_por%" / 100))))))))))

Opción 2: 1-((0.7 * (1-(Float("%sand_por.tif%" / 100)) / (((1-(Float("%sand_por.tif%" / 100)) + Exp(-5.51 + (22.9 * (1 - (Float("%sand_por.tif%" / 100))))))))))

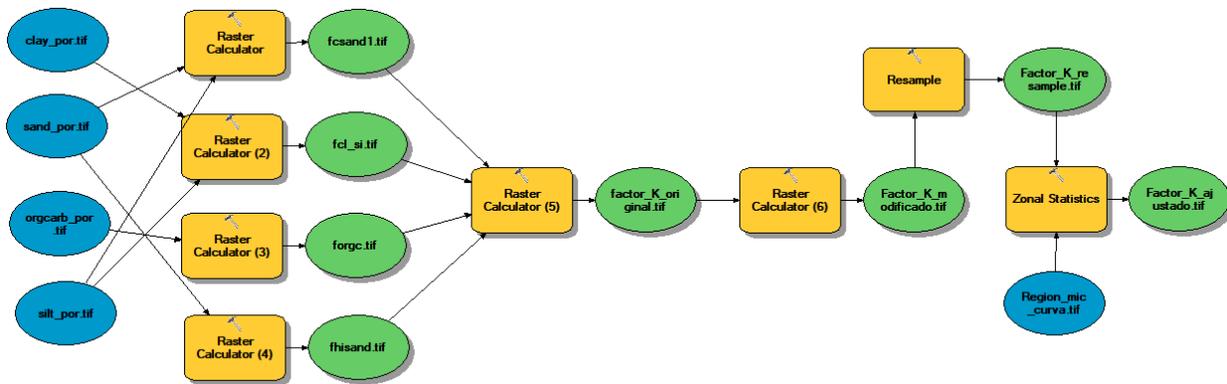
El factor K se calcula aplicando la ecuación correspondiente:

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

Expresión en Raster Calculator:

Float("%fcsand1.tif%") * Float("%fcl_si.tif%") * Float("%forgc.tif%") * Float("%fhisand.tif%")

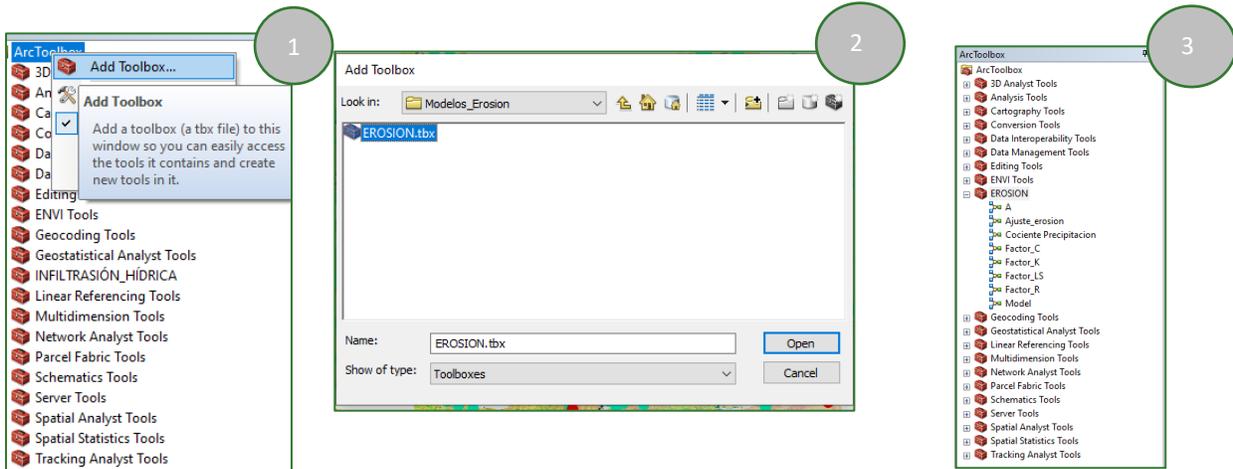
Luego de aplicar cada fórmula el modelo quedará de la siguiente manera:



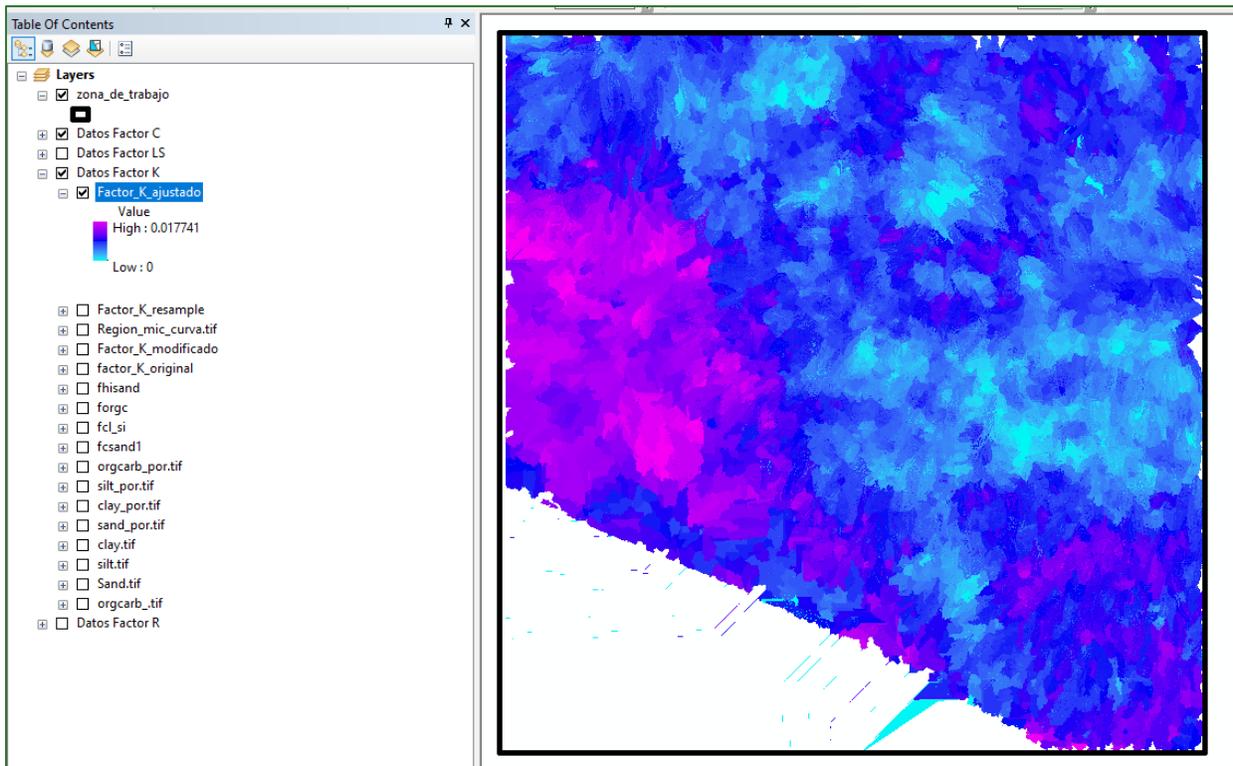
Nota: Tomar en cuenta que al final del proceso se realiza un escalamiento del dato a 3 m, utilizando la función de Resample (**Data Manegenmet Tools/Raster/Raster Processing/Resample**) y luego se realiza un cálculo de media con la función de zonal statistics (**Spatial Analisis Tools/Zonal/Zonal Statistics**) en función de la capa de **Region_mic_curva.tif** que se encuentra en la carpeta **RASTER/MDT**. Este proceso se realiza con el objetivo de mejorar la calidad del dato en función de proporciones definidas del terreno (región_mic_curva.tif). **El archivo de salida nómbrelo como Factor_K_ajustado.tif y guárdelo en la carpeta RASTER/FACTORES/FACTOR K.**

Si desea cargar el Model Buldier para correr este proceso de forma automatizada, siga los siguientes pasos:

- Descargue el ToolBox: https://github.com/guialandscape/Model_Builder
- Clic derecho en ArcToolBox, luego clic en Add:



El resultado final del análisis se puede observar de la siguiente manera:



Observaciones en los resultados del Factor K

Revisa que los parámetros utilizado en el cálculo de **Factor K** usando la fórmula de Williams, J. R. (1995) no sean mayores a 1. Estos parámetros son fcsan, fcl-si, forgc y fhisand.

fcsan factor que asigna baja erodabilidad a suelos con contenido alto de arena-gruesa y asigna alta erodabilidad a suelos con arena más fina.

fcl-si factor que asigna baja erodabilidad a suelos con altas proporciones de arcilla y limos.

forgc factor que asigna baja erodabilidad a suelos con alto contenido de carbón orgánico.

fhisand factor que asigna baja erodabilidad a suelos con contenido extremadamente alto de arena.

Paso 3. Calcular LS

El cálculo se realizará a través de la teoría de potencia de flujo unitario expresada con la siguiente ecuación:

$$LS = (A/22.13)^{0.6} (\sin B/0.0896)^{1.3}$$

Donde:

A: factor que contribuye a la pendiente ascendente.

B: Ángulo de la pendiente.

Para el cálculo del factor LS se necesitarán las siguientes capas:

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Acumulación de flujo	RASTER/DATOS_HIDRO/flowacc.tif
Pendiente generalizada	RASTER/MDT/pendiente_región_mic_curva_generalizada.tif

Para calcular el factor LS se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Cálculo de la longitud máxima de la pendiente**

En el cálculo de la longitud de la pendiente, se puede restringir a una longitud máxima de 180 m, lo que equivale a 60 píxeles de 3 m. Otros autores proponen definir esta longitud máxima en 50 o 100 m para evitar sobrestimaciones. En este sentido se propone realizar un ajuste para permitir una longitud máxima de 75 m equivalente a 25 píxeles de 3 m.

Nota: Para restringir el ráster de acumulación de flujo a 25 píxeles las celdas que en el ráster de acumulación tienen un valor menor de 25 deben conservar su valor original, pero aquellas que presentan un valor mayor, deberán tomar todo el valor de 25 (valor máximo fijado).

- **Cálculo de pendiente en radianes**

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Pendiente en radianes: el cálculo de la pendiente en ArcGis la obtendremos en grados, pero la fórmula que se aplicará requiere que se convierta a radianes así que se debe multiplicar el ráster en grados por:

$$\frac{\pi}{180}$$

Expresión en Raster Calculator: "%Pendiente_grados.tif%" * (3.1416 / 180)

El factor LS se calcula utilizando el **Raster Calculator** con la siguiente ecuación:

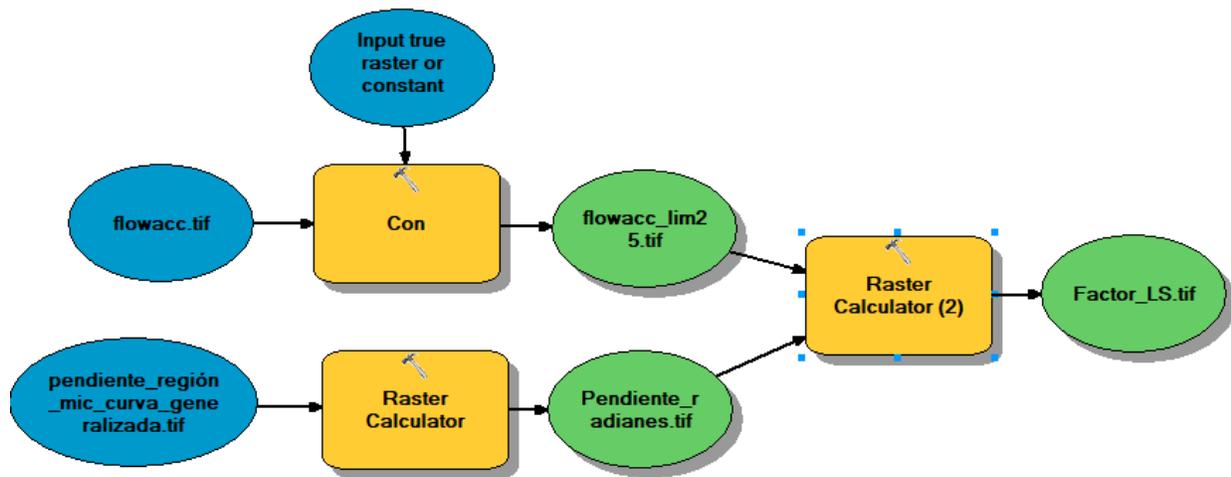
Fórmula (Incluye la conversión de grados a radianes).

$$LS = \text{Pow}([\text{flow accumulation}] \text{ resolution}/22.13, 0.6) \\ \times \text{Pow}(\text{Sin}([\text{slope of DEM}] \times 0.01745/0.0896, 1.3)$$

Expresión en Raster Calculator:

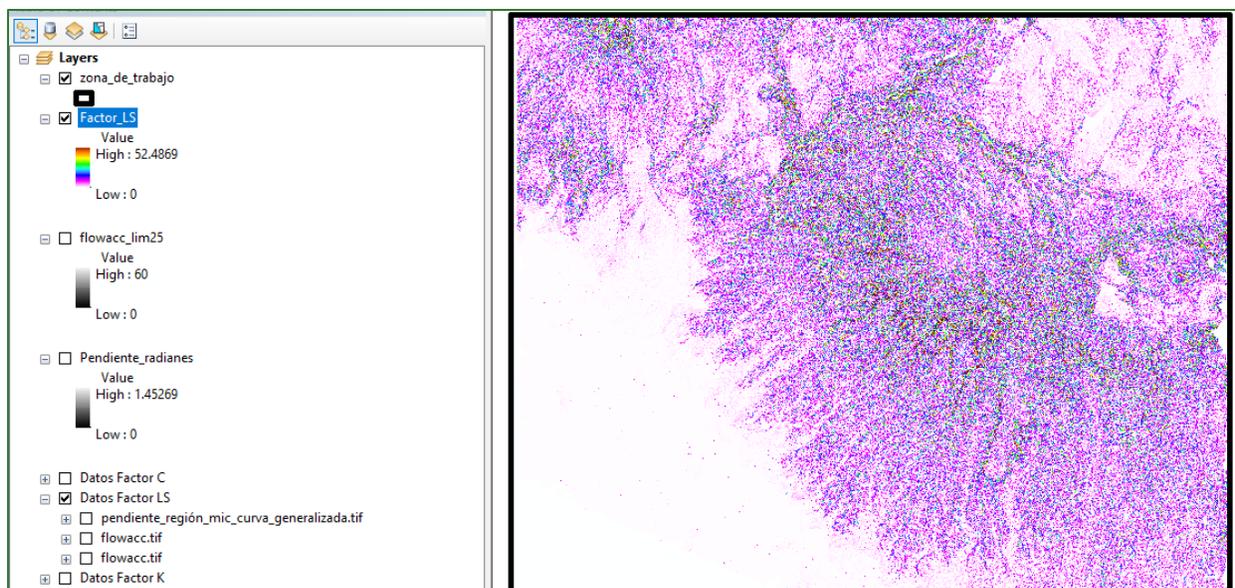
Power("%flowacc_lim60.tif%" * 3 / 22.3, 0.4) * Power(Sin("%Pendiente_radianes.tif%") / 0.0896, 1.3)

El modelo quedará de la siguiente manera:



Nota: Tome en cuenta que puede para procesos complejos el cual requiera de expresiones matemáticas puede correr el modelo de forma práctica o adaptar ciertas funciones según sea su interés o necesidad.

El resultado se podría apreciar de la siguiente manera:



Paso 4. Calcular factor C

Para calcular el factor C será necesario contar con la siguiente capa ráster:

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Índice de vegetación normalizado	RASTER/NDVI/NDVI.tif

El cálculo del factor C se realiza a través de la fórmula propuesta por J. M. Van der Knijff, R. J. A. Jones and L. Montanarella, en el documento oficial Soil Erosion Risk Assessment in Europe.

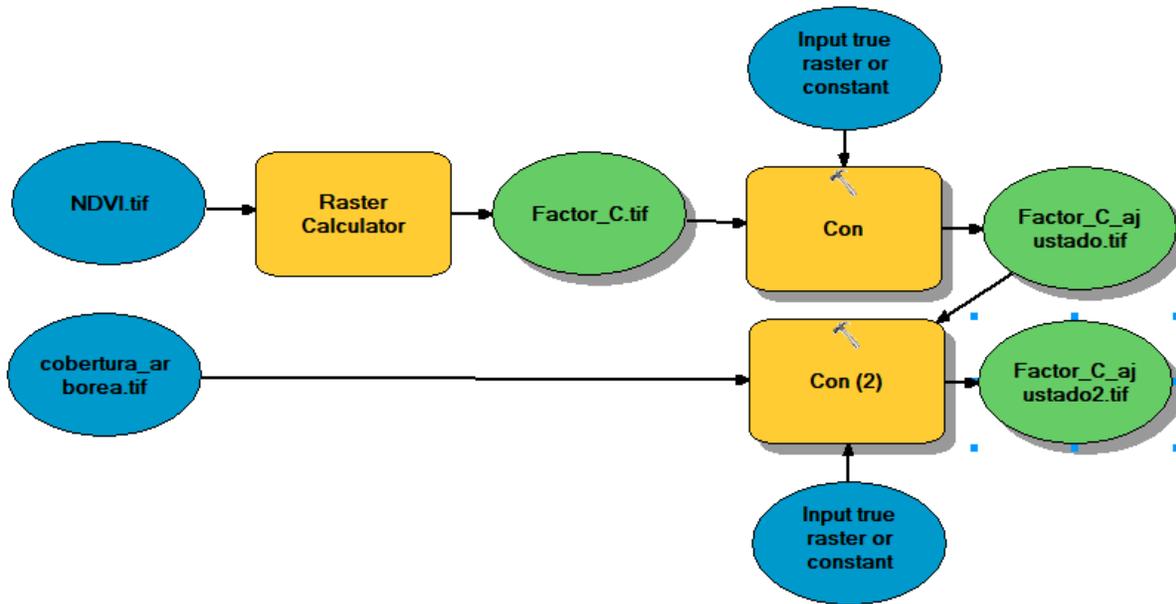
$$C = e^{-a \left(\frac{NDVI}{b - NDVI} \right)}$$

Expresión en Raster Calculator: $\text{Exp}(-1 * (" \%NDVI.tif\%" / (2 - "\%NDVI.tif\%")))$

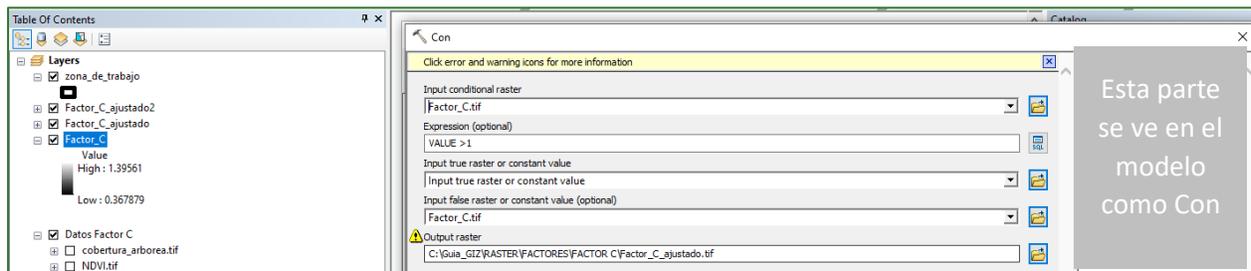
Donde a y b son coeficientes adimensionales que determinan la curva de correlación entre el NDVI y el factor C. Según Van der Knijff, los valores a = 1 y b = 2 parecen dar resultados razonables. Como referencias ver el siguiente artículo:

✓ https://www.scirp.org/pdf/JGIS_2012123123523619.pdf

El modelo para la estimación del factor C se estructura de la siguiente manera:



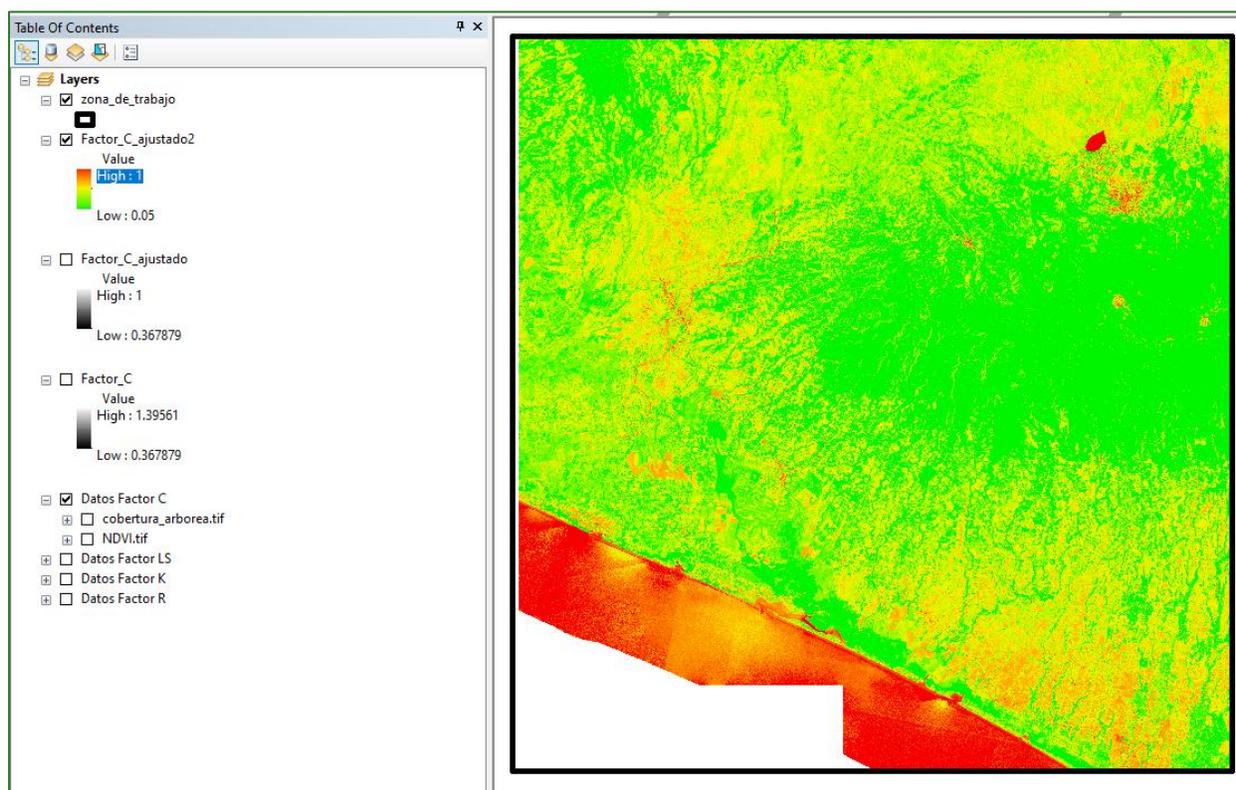
Nota: Como el factor C oscila entre 0 y 1, se debe asignar un valor de 0 a los pocos píxeles con valores negativos y un valor de 1 a píxeles con un valor mayor que 1. Este proceso se realiza con la función Condicional (Spatial Analysis Tools/Conditional/Con).



En el proceso de cálculo del factor C, se debe utilizar un factor homogéneo para la categoría de bosques. Se sugiere utilizar un valor de 0.05. Utilizar la herramienta condicional (Con) para aplicar este ajuste.



El resultado del modelo se puede apreciar de la siguiente manera:



El factor C, también se puede calcular utilizando factores locales asociados a los diferentes tipos de cobertura. A continuación, se muestra como ejemplo una tabla con factor C para una microcuenca en Guatemala:

Cuadro 8. Valor para el factor C de en cada uno de los puntos de muestreo, microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Cobertura	Valor
Alta	Estancia	Bosque latifoliado	0.003
Alta	Escupija	Matorral	0.017
Media	Poj	Pasto	0.009
Media	Chual	Bosque latifoliado	0.003
Baja	Llano Grande	Maíz	0.519
Baja	Pie de la Cuesta	Tomate con mulch plástico	0.090
Baja	Salém	Bosque conífera	0.003

Fuente: (Lianes et al., 2009).

El factor C varía de 0 a 1, acercándose a 0 las coberturas con menos potencial de erosión (bosque) y a 0.5 o más las prácticas que provocan mayor erosión (cultivos).

Paso 5. Calcular el factor P

Para el factor P lo ideal sería contar un ráster reclasificado por tipo de prácticas de conservación de suelos y asignar a estos los respectivos factores. Sin embargo, al no contar con dicha información se asumirá un factor P = 1.

El factor P varía de 0 a 1, siendo 1 para la ausencia de obras de conservación. A continuación, una tabla de referencia:

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Uso	Obras de conservación	P
Alta	Estancia	Bosque natural latifoliado.	No se aprecian.	1.0
Alta	Escupija	Cultivo de Durazno con crecimiento de malezas y arbustos.	Terrazas sin mantenimiento.	0.9
Media	Poj	Terreno de cultivo afectado por desplazamiento de suelo	No se aprecian	1.0
Media	Chual	Bosque natural latifoliado.	No se aprecian	1.0
Baja	Llano Grande	Cultivo de maíz y frijol asociados, labranza mínima manual.	No se aprecian	1.0
Baja	Pie de la Cuesta	Cultivo de tomate, con cobertura plástica y riego por goteo, labranza manual.	Cultivo en curvas a nivel	0.5
Baja	Salém	Bosque de conífera con reciente incendio que afectó el sotobosque.	No se aprecian	1.0

Fuente: (Wischmeir y Smith, 1978).

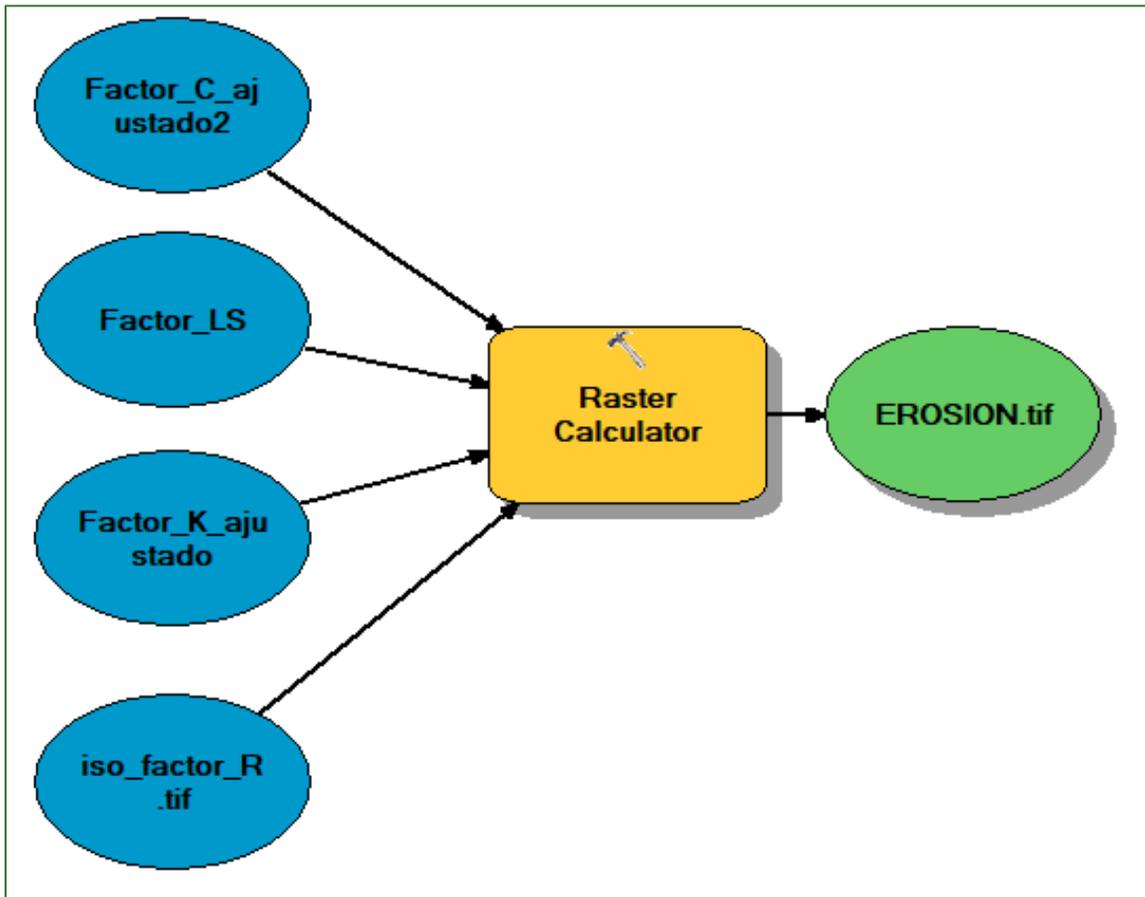
Paso 6. Aplicar la ecuación USLE para generar el ráster de erosión

$$A = R * K * L * S * C * P$$

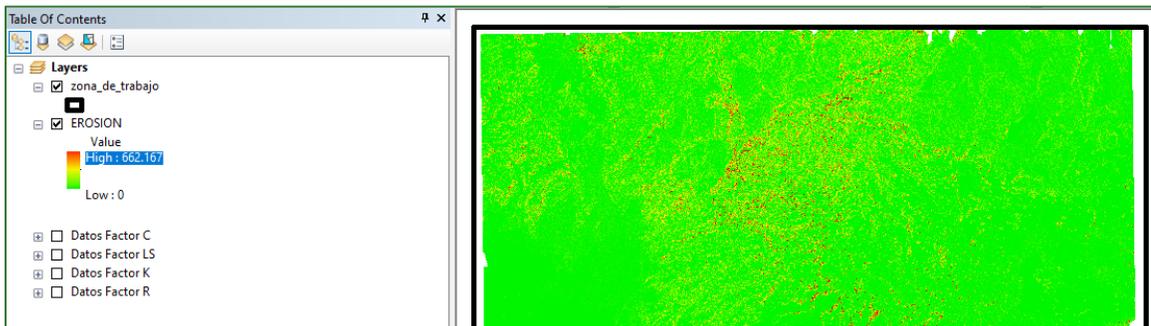
Puede aplicar la fórmula utilizando el Raster Calculator de la siguiente manera:

```
"%Factor_C_ajustado2%"**"%Factor_LS%"**"%Factor_K_ajustado%"**"%iso_factor_R.tif%"*1
```

El modelo quedará de la siguiente manera:



El resultado se mostrará de la siguiente manera.



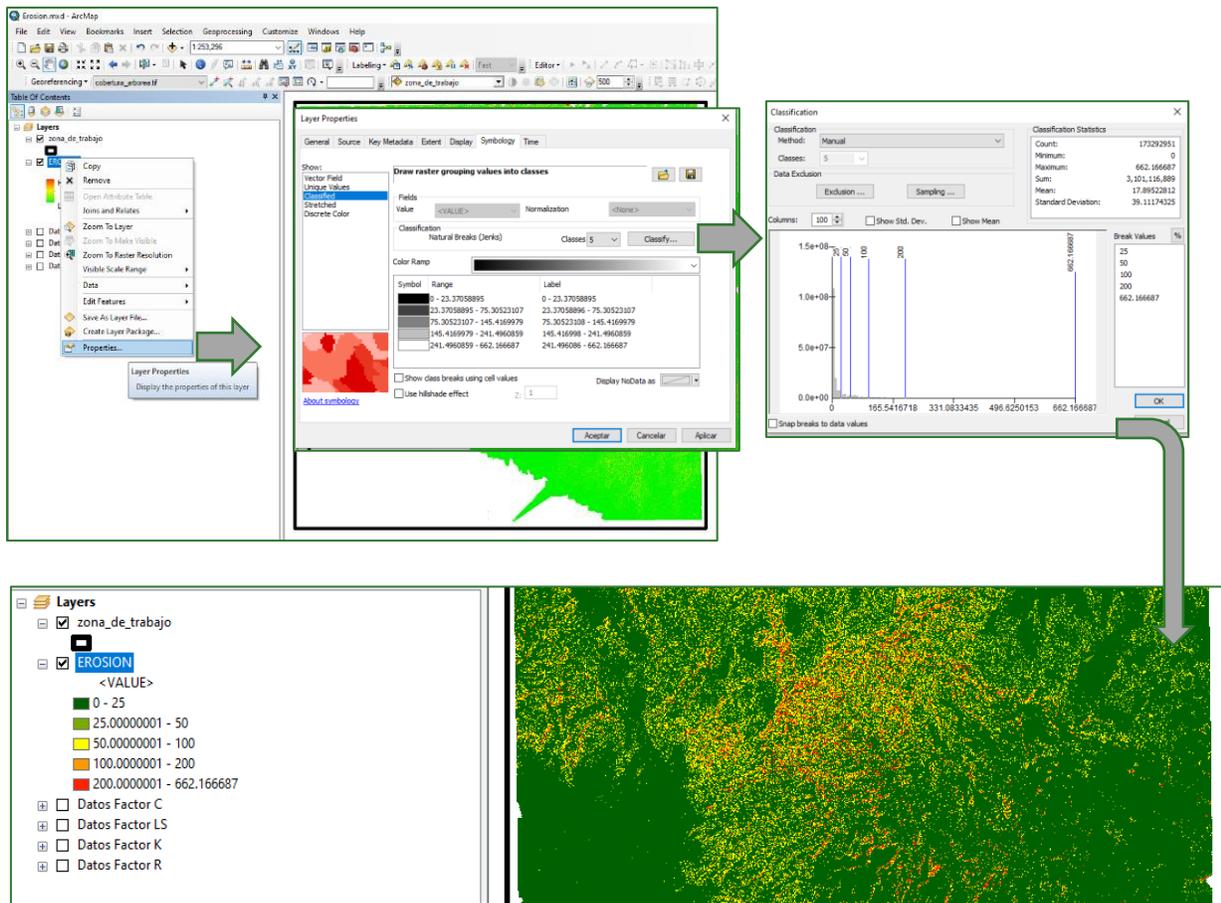
Paso 7. Interpretación de los valores de erosión (reclasificar el ráster)

En la siguiente tabla se muestra una interpretación de los niveles de erosión del Gobierno Vasco, España. Usted puede buscar referencias para su país.

Pérdidas de suelo (t/ha.año)	Interpretación
0	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como puedan ser espacios urbanos, carreteras, embalses, etc.
0 - 5	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta.
5 - 10	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
10 - 25	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25 - 50	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión aunque puede no ser apreciable a simple vista.
50 -100	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
100 - 200	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifiesta a simple vista.
> 200	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

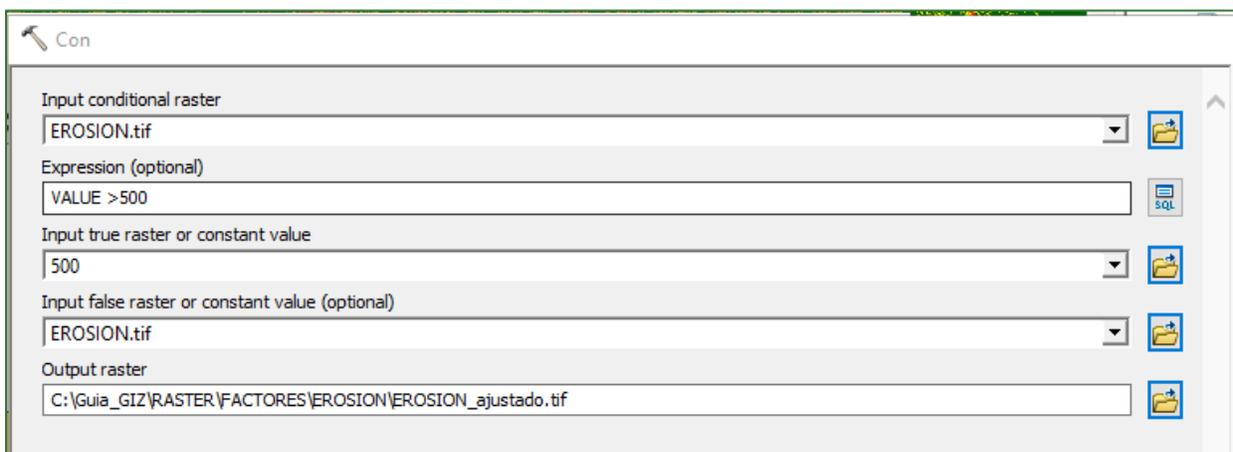
Nota: si tiene los datos de su país

Para una mejor interpretación se sugiere reclasificar el resultado anterior de forma visual entre rangos. Ver el siguiente ejemplo:



Nota: en función de la literatura revisada observar los valores máximos de ton/ha/año de erosión y tratar de llevar ese valor a nuestro mapa como valor máximo.

Para este ejemplo se llevaron los valores máximos a 500.



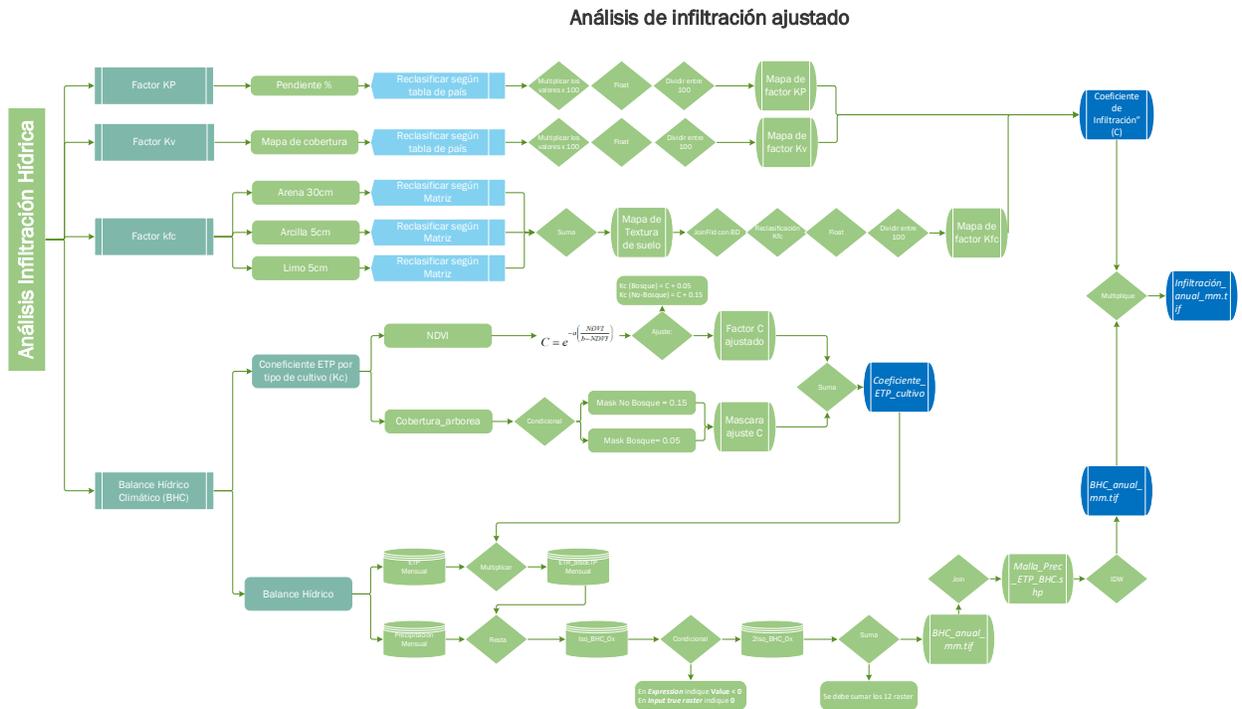
Parte 14. Infiltración hídrica

La infiltración del agua en el suelo juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Dependiendo de las condiciones geológicas, puede permanecer en el suelo en forma de humedad; escurrir como flujo subsuperficial y aflorar como una naciente efímera; o recargar el acuífero, entre otros (Batres & Barahona-Palomo, 2017).

El balance hídrico del suelo se basa en el principio de la conservación de la masa, donde toda el agua que entra al suelo debe ser igual a la cantidad de agua que se almacena más el agua que sale de él. Las entradas al sistema son debidas a la precipitación que se infiltra del agua hacia el suelo y las salidas se deben a la evapotranspiración y la descarga hacia los acuíferos (Fetter, 2001). Los factores que influyen en el balance hídrico del suelo son parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, horas de sol, etc.), geográficas (uso del suelo y pendiente) y geológicas (textura del suelo, velocidad de infiltración).

Según Parr y Bertrand (1960), la tasa de infiltración es gobernada solamente por la masa del suelo y es en gran parte, independiente de las condiciones superficiales. En contraste, Horton (1940) indicó que la tasa de infiltración es gobernada principalmente por las condiciones cerca de la superficie del suelo. El proceso de infiltración de agua en el suelo ha sido intensamente estudiado debido a su importancia en el manejo del agua en la agricultura, la conservación del recurso suelo, la recarga hacia los acuíferos y otras actividades técnicas. La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar.

Además, el proceso de infiltración es de gran importancia práctica, dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante inundaciones o lluvias muy intensas. En los casos en que la velocidad de infiltración es limitada puede ser afectado todo el sistema de economía de agua de la zona de enraizamiento; para un manejo eficiente del suelo y del agua se requiere un conocimiento detallado del proceso de infiltración, debido a que éste se correlaciona con las propiedades del suelo y con el aporte de agua al sistema (Gurovich, 1985).



Los diagramas que forman parte de la presente guía metodológica están disponibles en un repositorio web de GitHub, desde el siguiente link se encuentra el acceso: <https://github.com/guialandscape/Diagramas>

Paso 1. Calcular factor KP

El factor Kp o coeficiente de infiltración se calcula a partir de la siguiente capa ráster:

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Pendiente (%)	RASTER/MDT/pendiente_porcentaje.tif

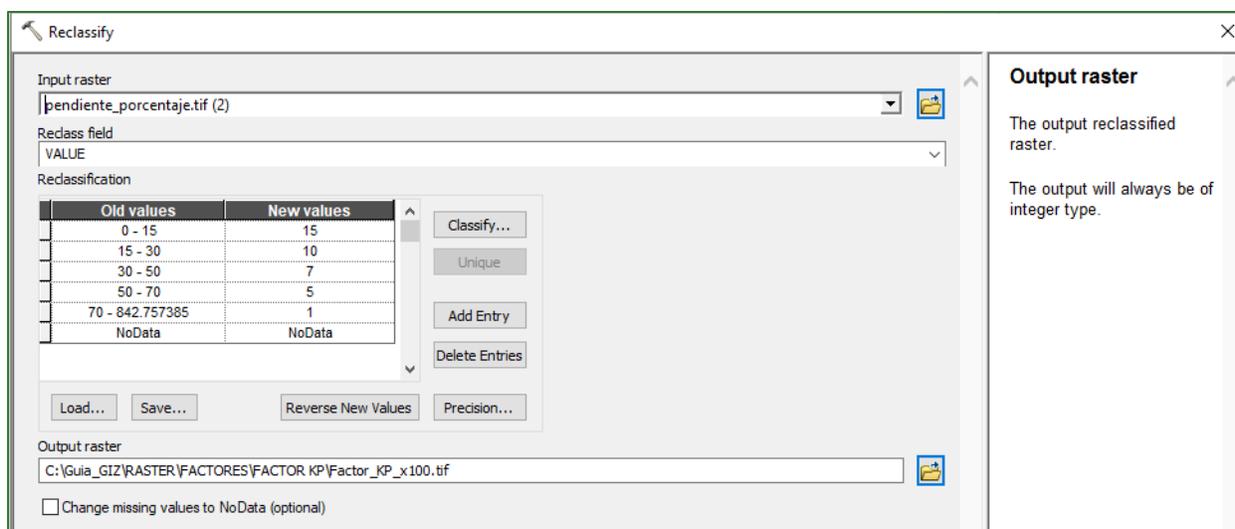
Reclasificando el ráster de pendiente en las siguientes clases:

Rango de pendiente %	Valor
<15%	0.15
15-30%	0.10
30-50%	0.07
50-70%	0.05
>70%	0.01

La herramienta que se debe utilizar en la reclasificación es Reclassify (**Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**), luego se debe guardar el archivo con el nombre de **pendiente_porcentaje_reclass.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR KP**.

Nota: tomar en cuenta 5 clases

Luego se desplegará una nueva ventana con los rangos establecidos y se deberá asignar el nuevo valor según la tabla descrita al inicio del proceso. Tomar en cuenta que los valores se multiplicaron por 100 para tener datos enteros, ejemplo $0.15 = 15$, $0.1 = 10$.



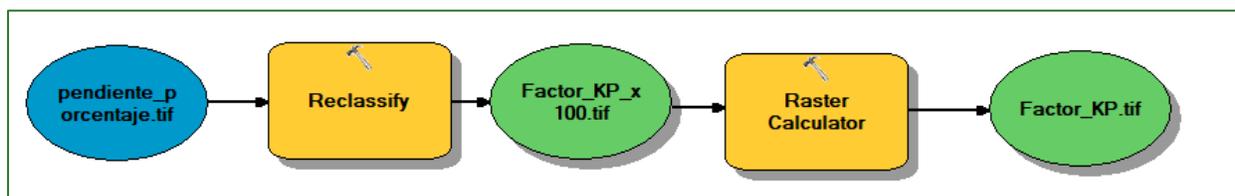
Con el objetivo de convertir el resultado a valor decimales, el resultado divídalo entre 100 y en formato FLOAT usando Raster Calculator (**Spatial Analysts Tools/Map Algebra/Raster Calculator**) como se indica a continuación:



Guarde el archivo anterior con el nombre de **Factor_KP.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR KP**.

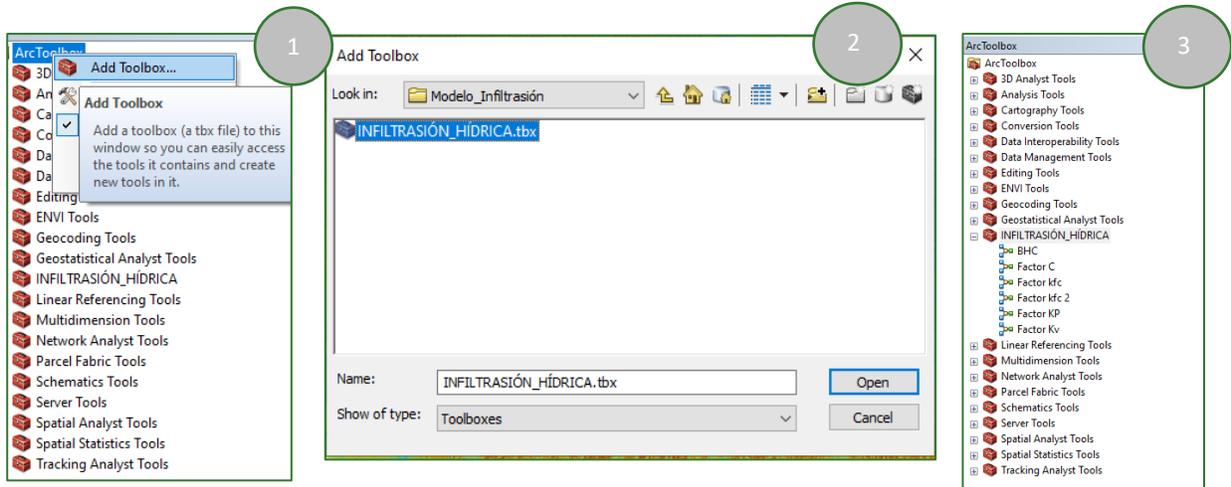
Nota: si en la operación no se obtiene un resultado favorable, intente aplicar únicamente la función de float a la capa Factor_KP_x100.tif para asegurar que el ráster se convierta y soporte números decimales. Al final considere que el factor KP debe estar expresado en valores decimales, para lo cual siempre será necesario dividir entre 100.

El modelo debería de quedar como se indica a continuación:

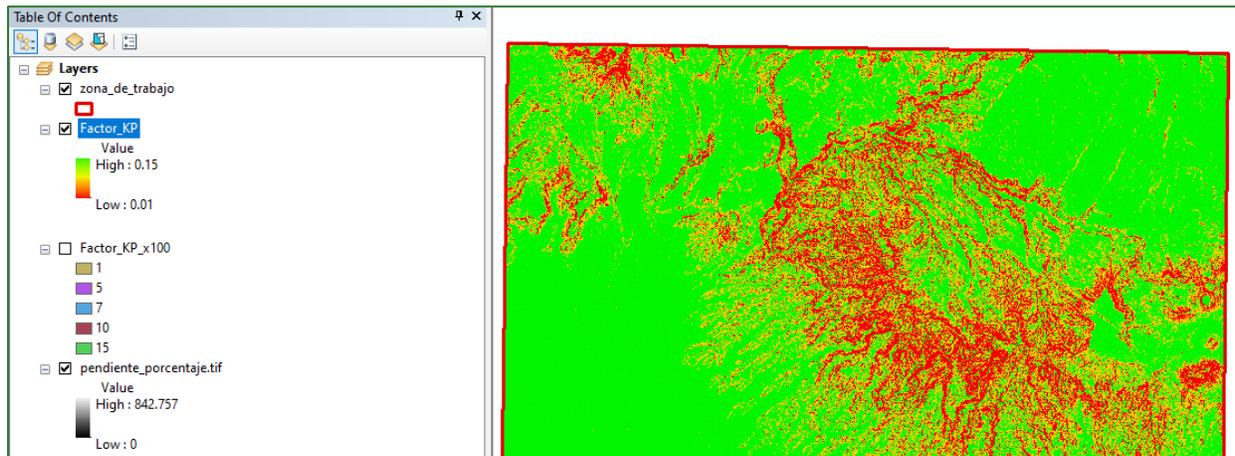


Nota: si desea agregar el modelo completo de Model Builder sobre el factor KP, siga los siguientes pasos:

- Descargue el modelo Infiltración Hídrica: https://github.com/guialandscape/Model_Builder
- Clic derecho en ArcToolBox, luego clic en Add:



El resultado se puede apreciar de la siguiente manera:



Paso 2. Calcular factor KV

El factor Kv o coeficiente de infiltración por efecto de la cobertura vegetal se calcula a partir de las siguientes capas ráster:

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
------	--

Mapa de Cobertura	RASTER/MDT/pendiente_porcentaje.tif
--------------------------	-------------------------------------

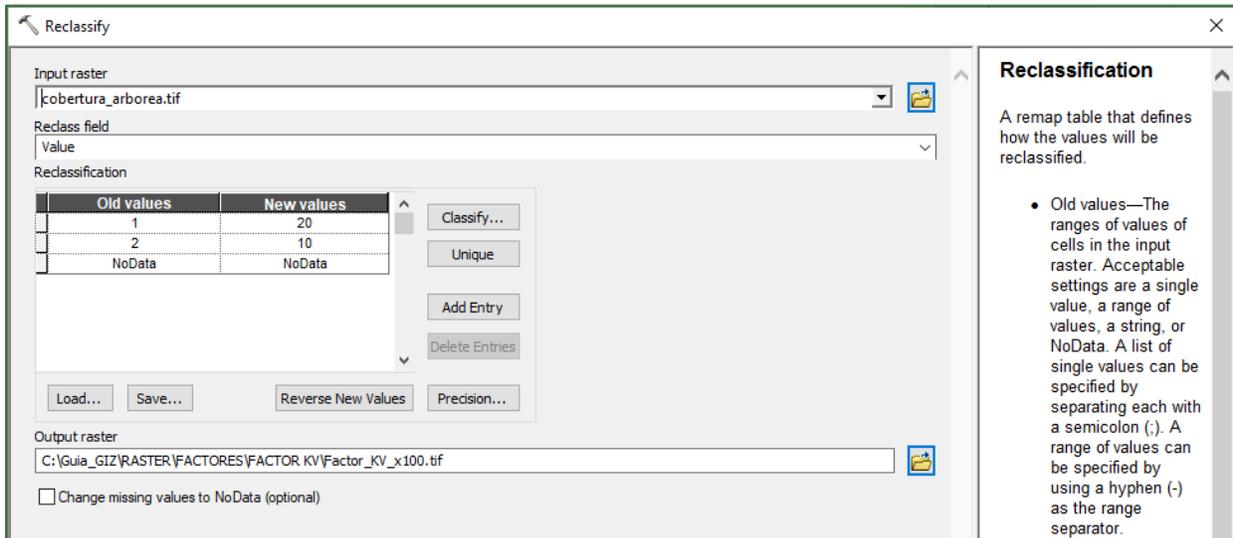
Generar la capa del coeficiente de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (kv) teniendo en cuenta los factores disponibles para Centroamérica.

Cuadro # 18. Factor Kv para El Salvador

Uso - cobertura del suelo	KV
Areas Urbanas	0.05
Bosques	0.20
Cuerpos de Agua	0.00
Cultivos Anuales	0.10
Cultivos Mixtos	0.10
Cultivos Permanentes	0.10
Humedales	0.01
Manglares	0.01
Minería	0.15
Pastos	0.10
Vegetación Arbustiva	0.15
Zonas Industriales	0.05
Zonas Verdes Artificiales	0.15

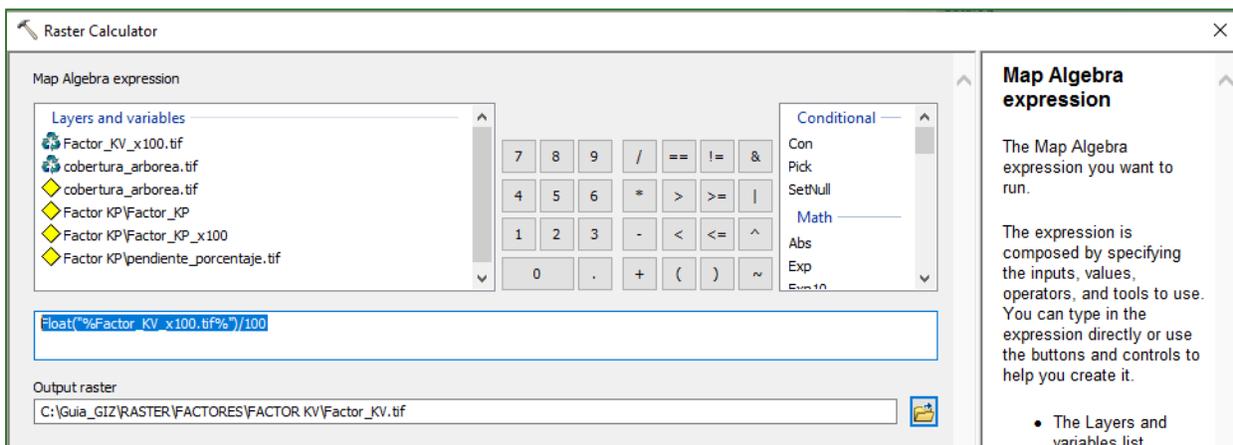
Diversa documentación que puede servir como apoyo a la implementación de la presente guía se encuentra en el repositorio de GitHub: <https://github.com/quialandscape/Documentos> .

Reclasifique el ráster de cobertura utilizando los correspondientes factores de su país, pero multiplicando cada uno por 100, es decir $0.2 = 20$.



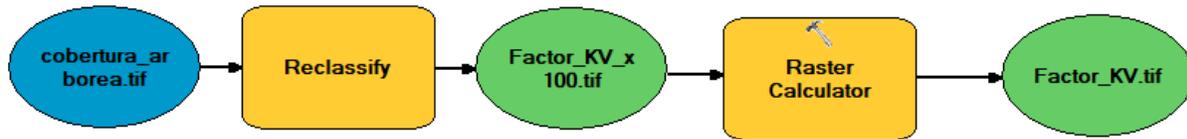
Nota: Para este ejemplo, se está utilizando una capa de bosque (1) y no bosque (2), considerando un valor de 20 para bosque y 10 para la clase de no bosque. Los valores asignados son valores enteros multiplicados por 100, que expresan los valores definidos en la tabla de factor kv de El Salvador. Es importante que se consulte el documento completo para ver los valores que aplican en el país de interés.

Para obtener el factor KV en decimales, divida el resultado anterior entre 100.



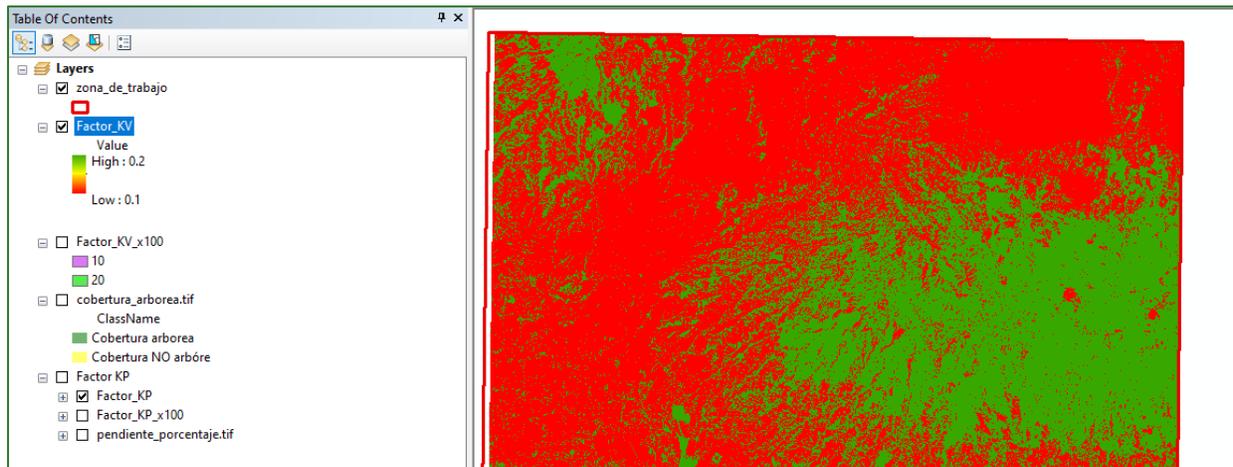
Nota: si la operación no se obtiene un resultado favorable, intente aplicar únicamente la función de float a la capa **Factor_KV_x100.tif**, para asegurar que el ráster se convierta y soporte números decimales. Al final considere que el factor KV debe estar expresado en valores decimales, para lo cual siempre será necesario dividir entre 100.

El modelo debería de quedar como se indica a continuación:



Nota: si desea abrir este modelo, lo puede encontrar en el ArcToolBox/INFILTRACIÓN_HÍDRICA.

El resultado se puede apreciar de la siguiente manera:



Paso 3. Calcular factor KFC

El factor Kfc o coeficiente de infiltración por efecto de la textura de suelo se calcula a partir de los ráster de arcilla, limo y arena disponibles.

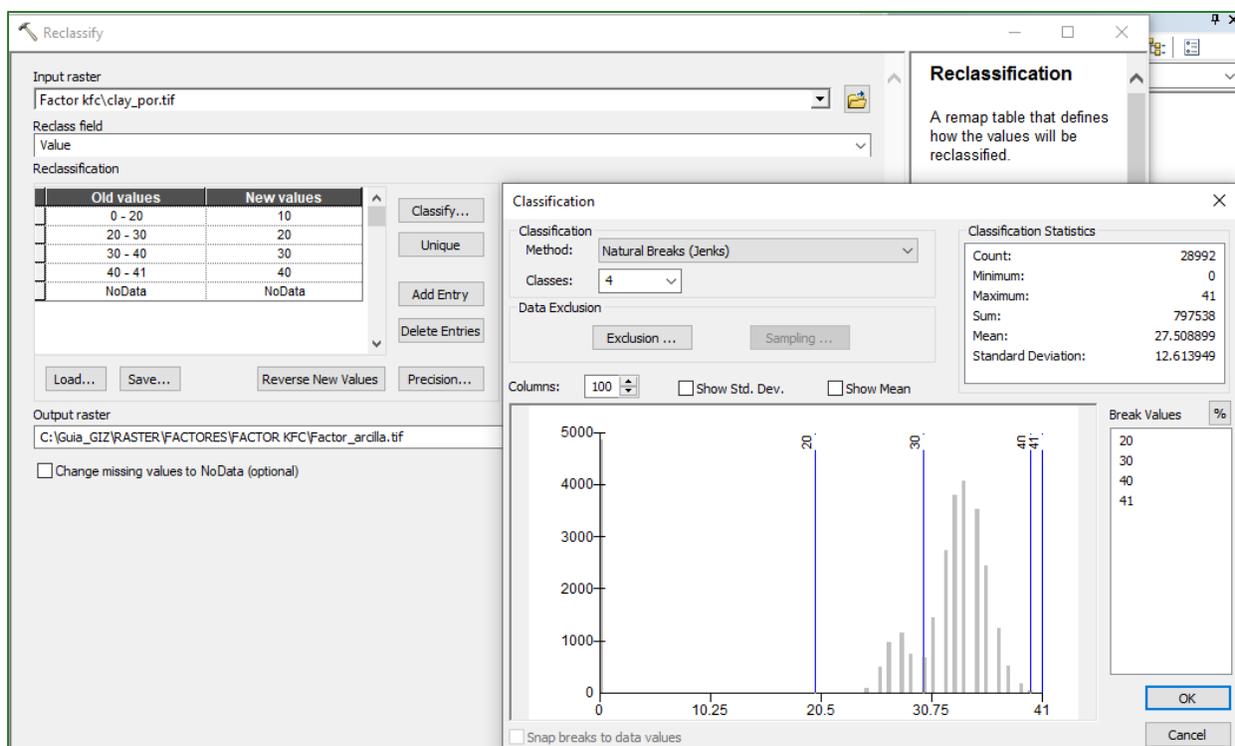
Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Arcilla	RASTER/SUELO/Clay_por.tif
Limo	RASTER/SUELO/Silt_por.tif
Arena	RASTER/SUELO/Sand_por.tif

Reclasifique los ráster de arcilla, arena y limo utilizando los siguientes parámetros:

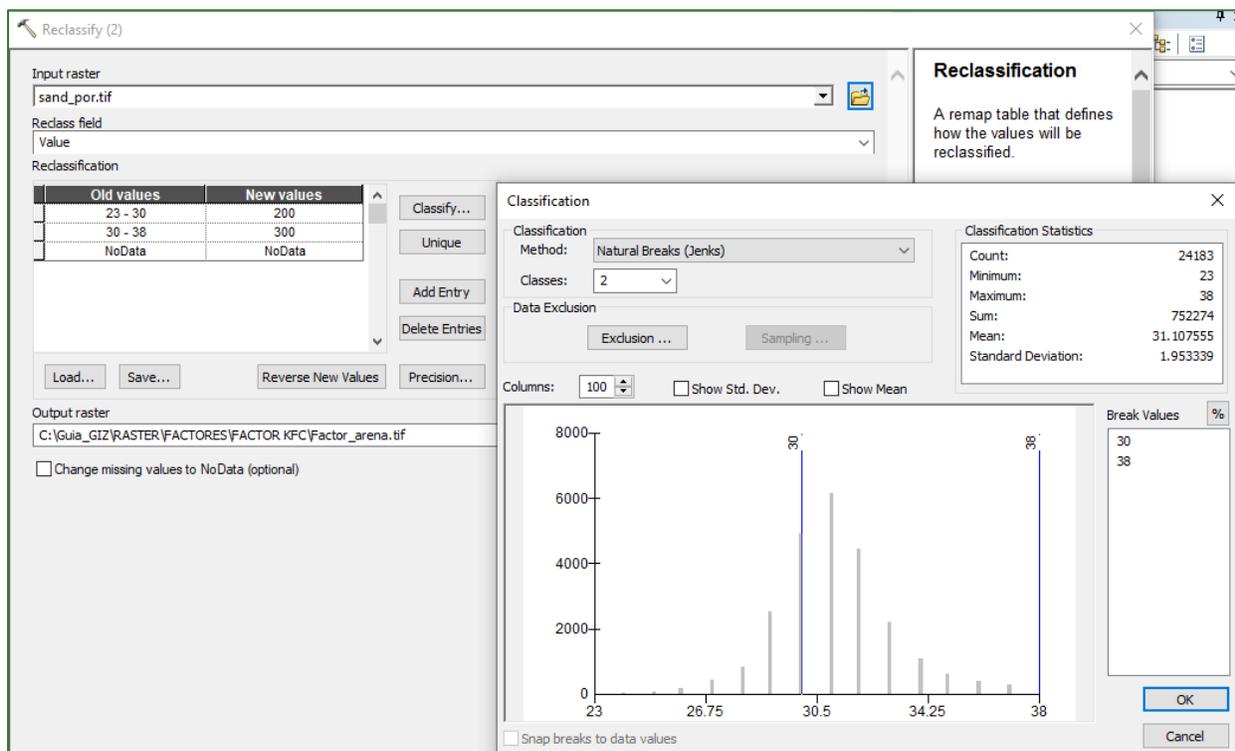
Cod	Arcilla	Limo	Arena			
			100	200	300	400
			<20	20-30	30-40	>40
10	<20	1 <10	FL	FL	F	FAre
		2 10-20	FL	FL	F	FAre
		3 20-30	FL	FL	F	FAre
		4 >30	FL	FL	F	FAre
20	20-30	1 <10	FL	FL	F	FArcAre
		2 10-20	FL	FL	F	FArcAre
		3 20-30	FL	FL	F	FArcAre
		4 >30	FL	FL	F	FArcAre
30	30-40	1 <10	FArcL	FArc	FArc	FArcAre
		2 10-20	FArcL	FArc	FArc	FArcAre
		3 20-30	FArcL	FArc	FArc	FArcAre
		4 >30	FArcL	FArc	FArc	FArcAre
40	>40	1 <10	Arc	Arc	Arc	ArcAre
		2 10-20	Arc	Arc	Arc	ArcAre
		3 20-30	Arc	Arc	Arc	ArcAre
		4 >30	ArcL	Arc	Arc	Arc

Ejemplo de la reclasificación:

Reclasifique el ráster de arcilla de 5 cm de profundidad como se muestra en la imagen y guarde el archivo con el nombre de **Factor_arcilla.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR KFC**.

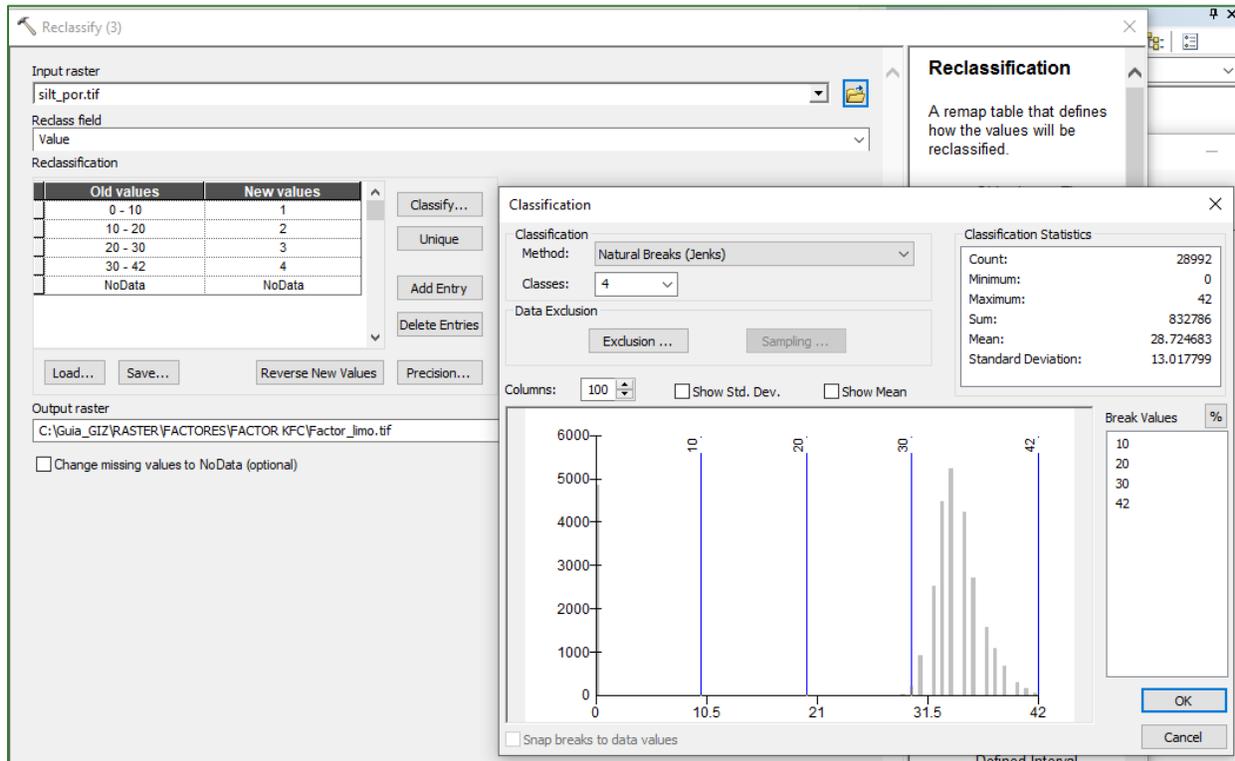


Reclásifíque el ráster de arena de 5 cm de profundidad como se muestra en la imagen y guarde el archivo con el nombre de **Factor_arena.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR KFC**.

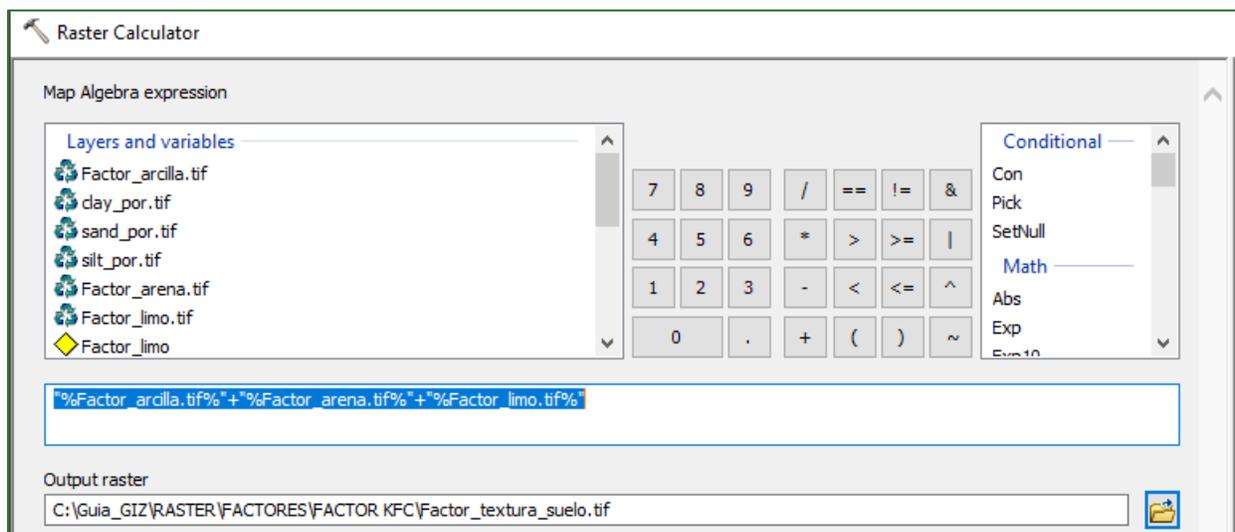


Nota: Para este ejemplo los valores de la capa de **sand_por.tif** el valor mínimo es 23 y el valor máximo es 38, lo que significa que según la tabla solo se pueden agrupar en dos clases (20-30 y 30-40). Si este proceso se realiza con una capa que comprenda valores menores que 20 y valore mayor de 40, se debería aplicar 4 clases según se describe en la tabla.

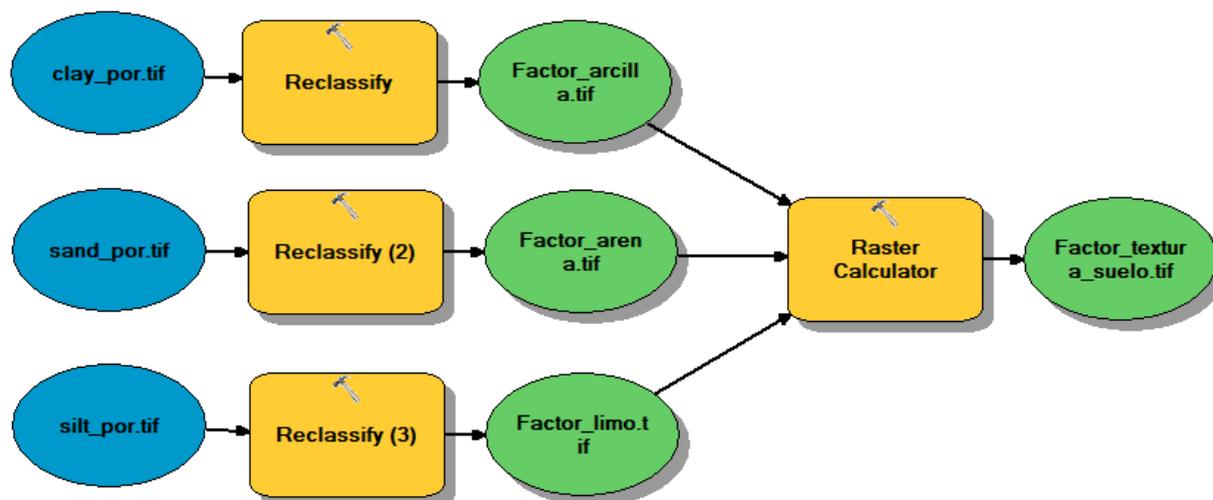
Reclasifique el ráster de limo a 5 cm de profundidad como se muestra en la imagen y guarde el archivo con el nombre de **Factor_limo.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR KFC**.



Sume los ráster reclasificados de arcilla, arena y limo.



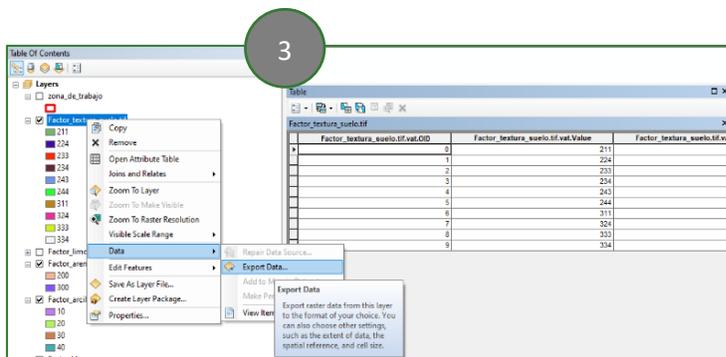
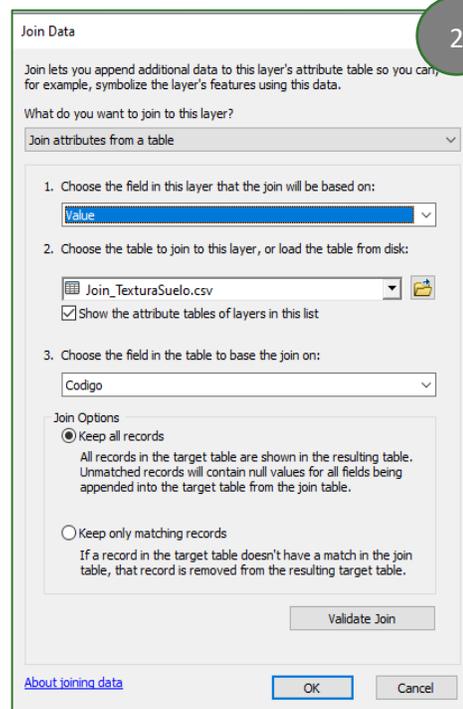
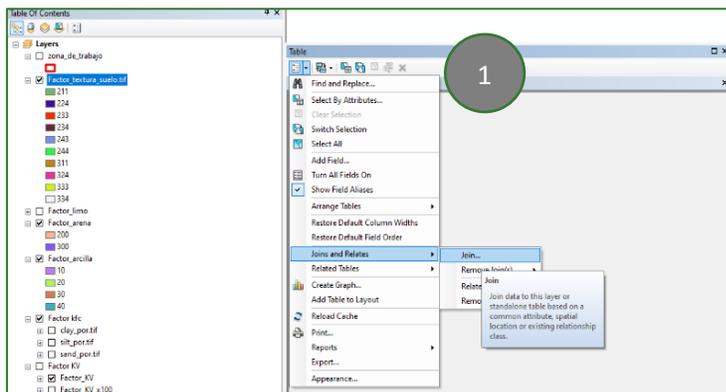
El modelo quedará de la siguiente manera:



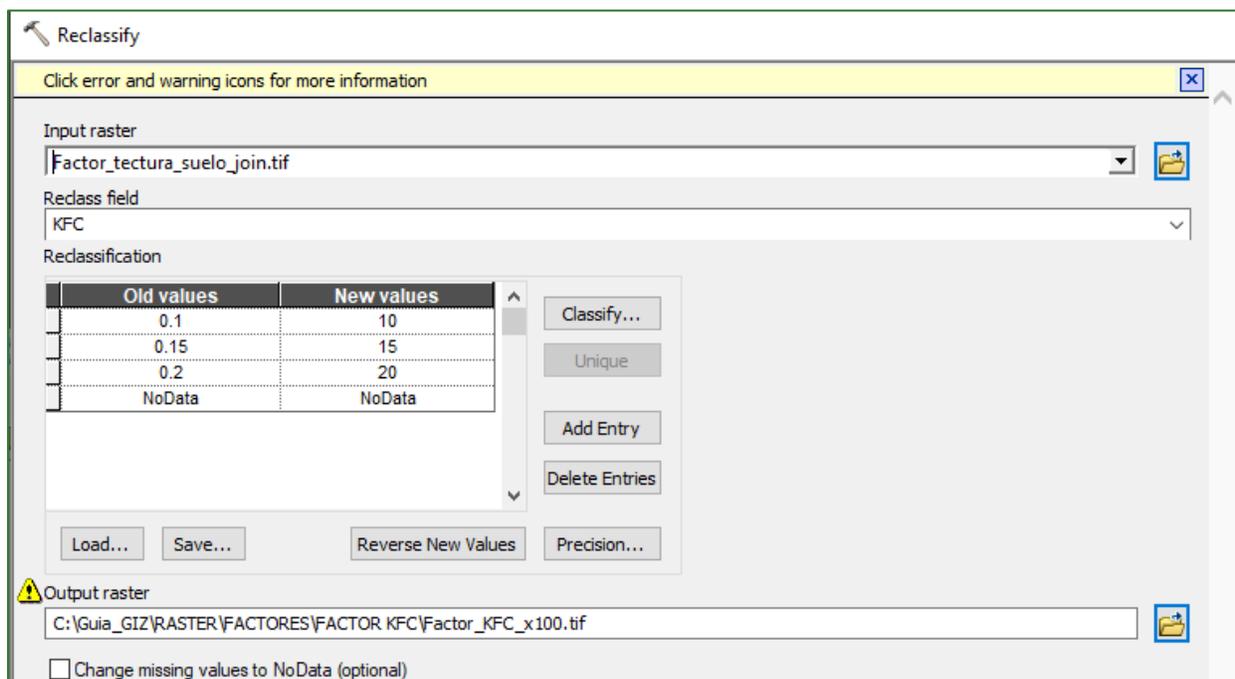
Realice un JoinField entre el ráster anterior y la tabla  Join_TexturaSuelo.csv de la carpeta **INPUT**.

Para esto, habrá la tabla de atributos de la capa **Factor_textura_suelo.tif**, realiza el join con la tabla **Join_TexturaSuelo.csv**⁴ y luego guárdelo como a la capa de referencia y se archiva con el nombre **Factor_textura_suelo_join.tif** en la carpeta de **RASTER/FACTORES/FACTOR KFC**. El paso anterior se realiza para asegurar que las propiedades de la unión de tablas queden establecidas en nuestra capa base.

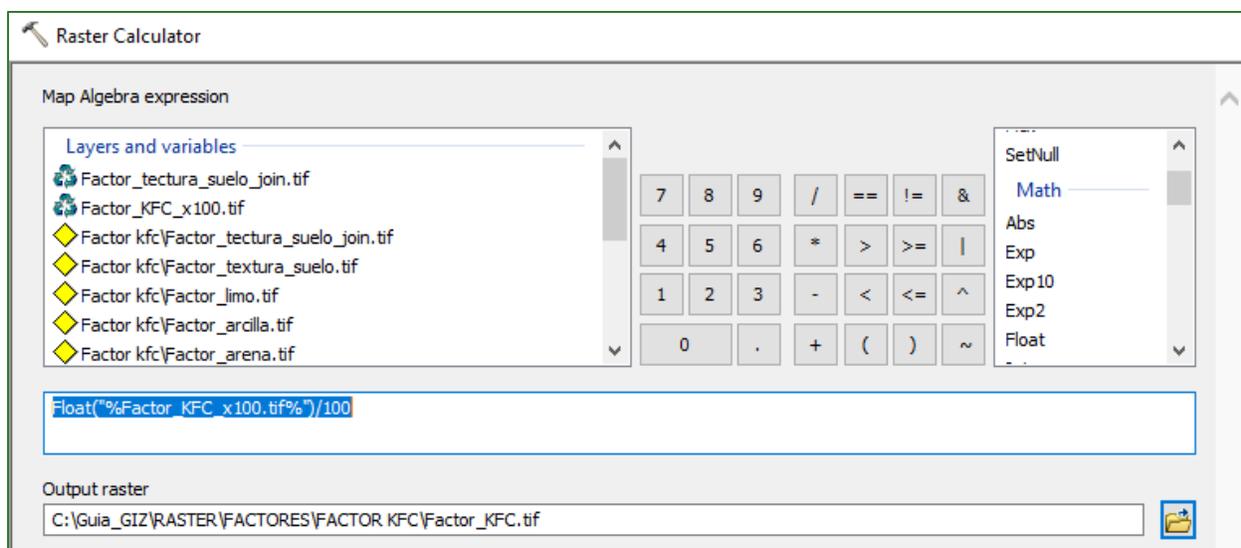
⁴ La tabla está disponible en el repositorio de GitHub: <https://github.com/guialandscape/Tablas>



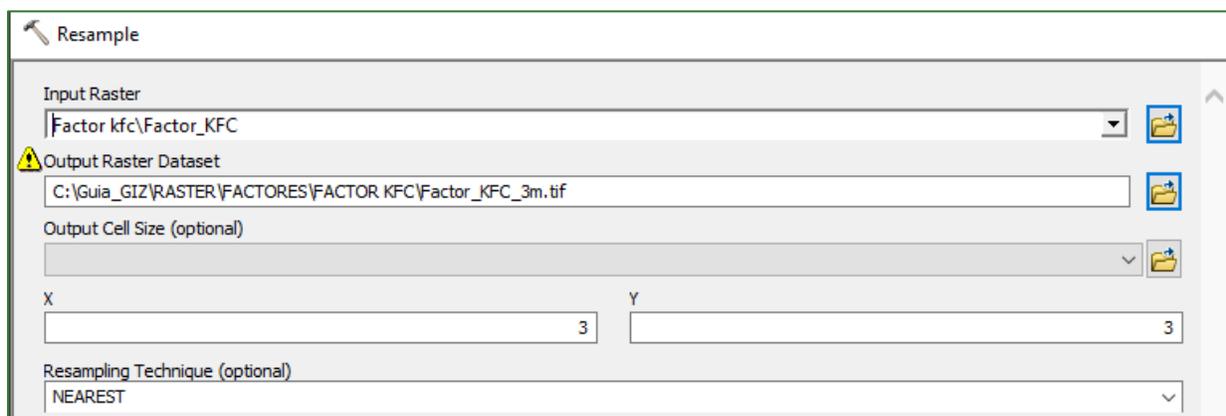
Reclasifique el campo KFC ingresando el nuevo valor multiplicado por 100. Ejemplo $0.15 = 15$.



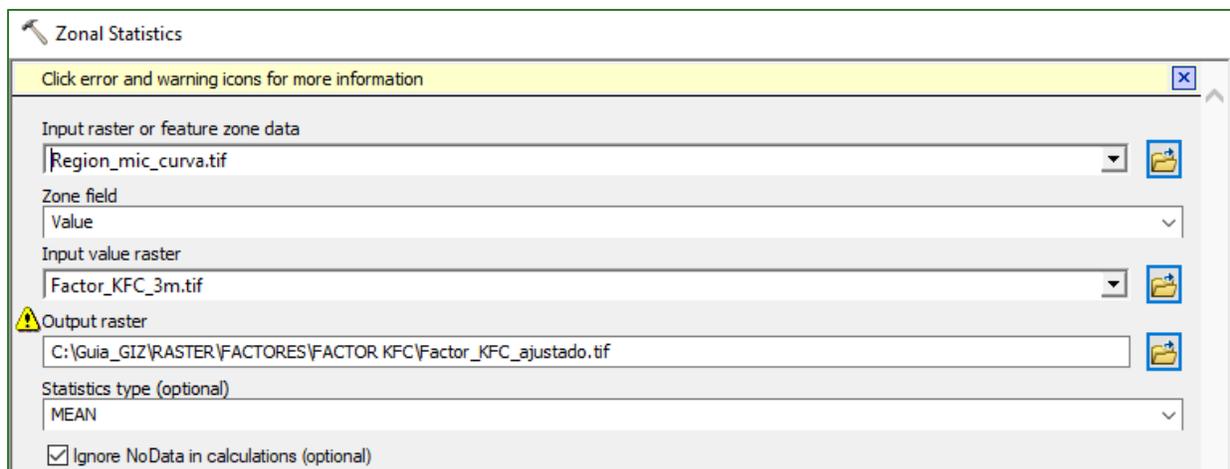
Divida entre 100 el ráster del paso anterior para obtener el factor KFC en decimales.



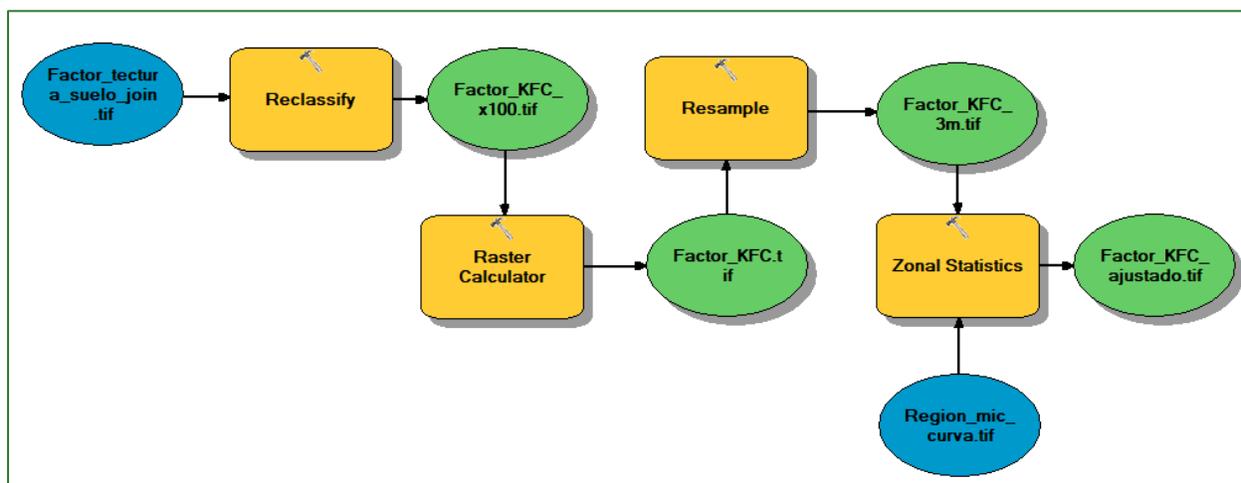
Luego se debe reescalar los valores a 3 m utilizando la función de Resample (**Data Managements Tools/Raster/Raster Processing/Resample**).



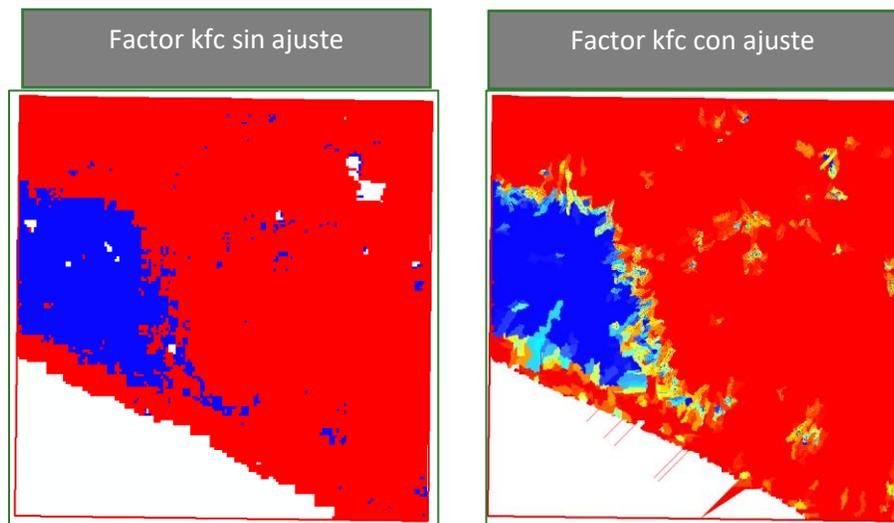
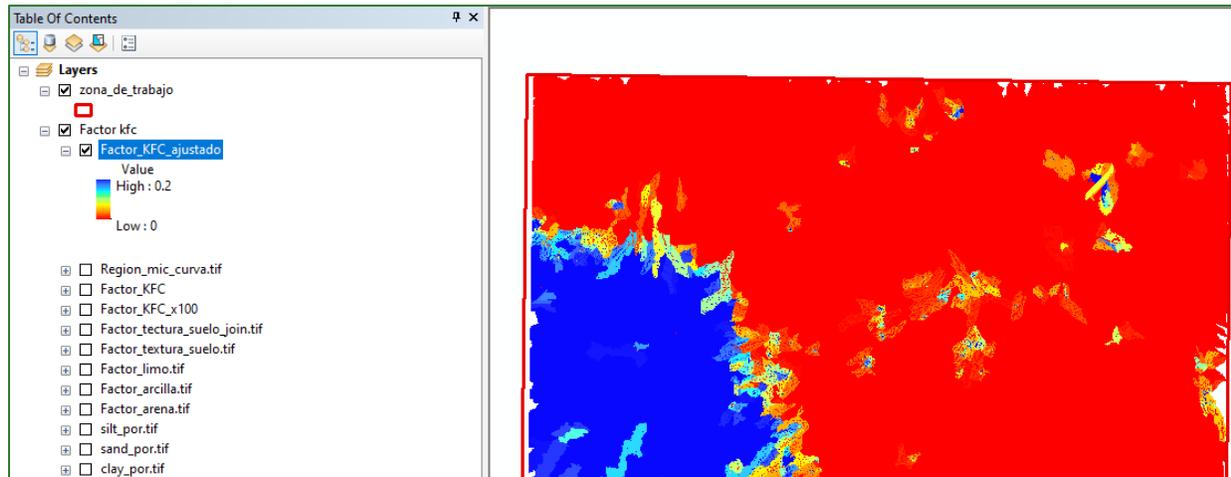
Como parte final del proceso y con el objetivo de ajustar mejor los datos se realiza un cálculo de la media de los valores **del Factor_KFC_3m.tif** en función de la capa de **Region_mic_curva.tif**. Este proceso se realiza utilizando la herramienta de Zonal Statistics (**Spatial Analys Tools/Zonal/Zonal Statistics**).



El modelo quedará de la siguiente manera:



El resultado se puede apreciar de la siguiente manera:



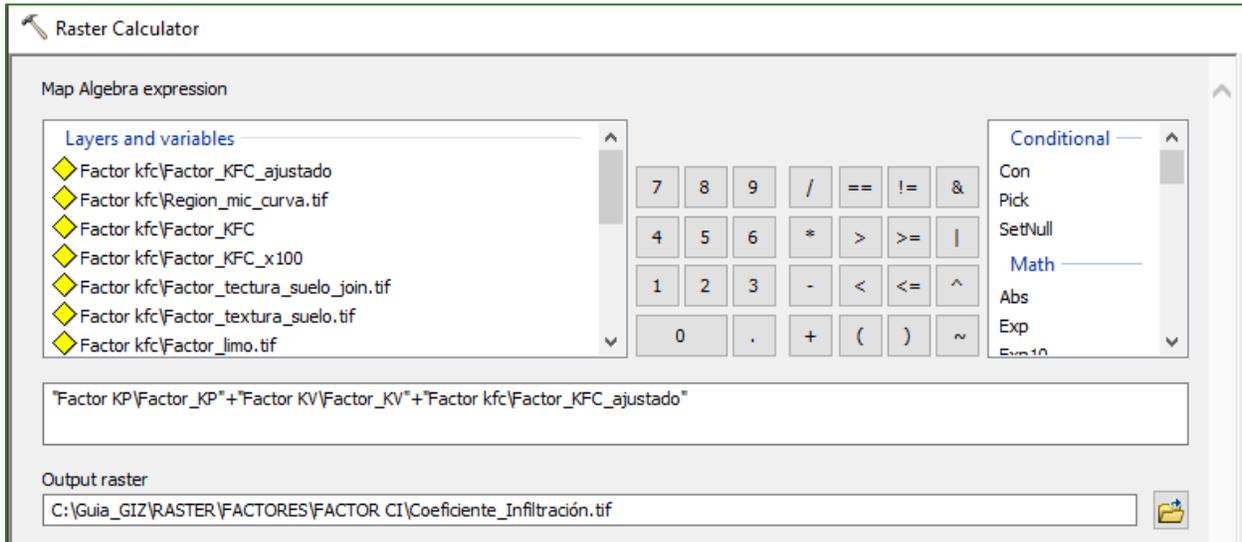
Paso 4. Calcular factor C

El Coeficiente de Infiltración se calcula a partir de las siguientes capas ráster.

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Factor KP	RASTER/FACTORES/FACTOR KP/Factor_KP.tif
Factor KV	RASTER/FACTORES/CATOR KV/Factor_KV.tif
Factor KFC	RASTER/FACTORES/FACTOR KFC/Factor_KFC_ajustado.tif

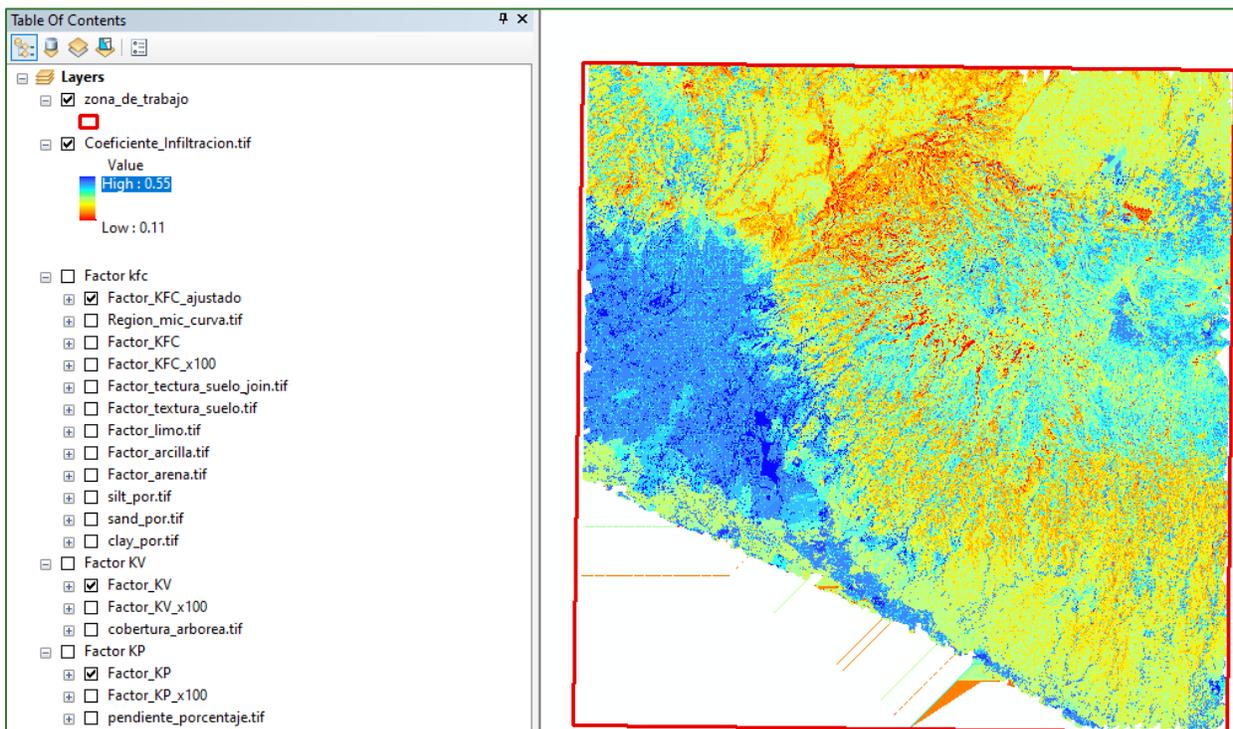
A partir de la sumatoria de las capas generadas en los pasos anteriores, obtener la capa de “**Coefficiente de Infiltración**” (C) el cual es un valor relativo que indica la porción potencial de agua que se infiltraría al acuífero.

$$C = (kp + kv + kfc)$$



Nota: el coeficiente C en su suma puede llegar a un máximo de 0.9, lo que indica una recarga máxima teórica de 90%.

El resultado se puede apreciar de la siguiente manera:



Paso 5. Calcular Balance Hídrico Climático (BHC)

El cálculo de Balance Hídrico Climático (BHC) se realiza a partir de las siguientes capas ráster.

Capa	Dirección y nombre de los datos de entrada
Mascara de Bosque	COBERTURA/Cobertura_arborea.tif
Índice de vegetación normalizado	RASTER/NDVI/NDVI.tif
Evapotranspiración potencial	RASTER/CLIMA/ETP/isoETP_0x.tif
Precipitación	VECTORES/LLUVIA/2malla_base_lluvia_project.shp

Para este proceso será necesario realizar dos cálculos:

- **Coefficiente de Cultivo (Kc):** de este proceso se obtendrá el coeficiente de ETP por tipo de cultivo o vegetación.
- **Balance Hídrico:** de este proceso se obtendrá el Balance Hídrico Climático anual.

Cálculo de Coeficiente de Cultivo (Kc)

Para el desarrollo de este proceso, primero se debe calcular el factor Kc o coeficiente de cultivo de la siguiente manera:

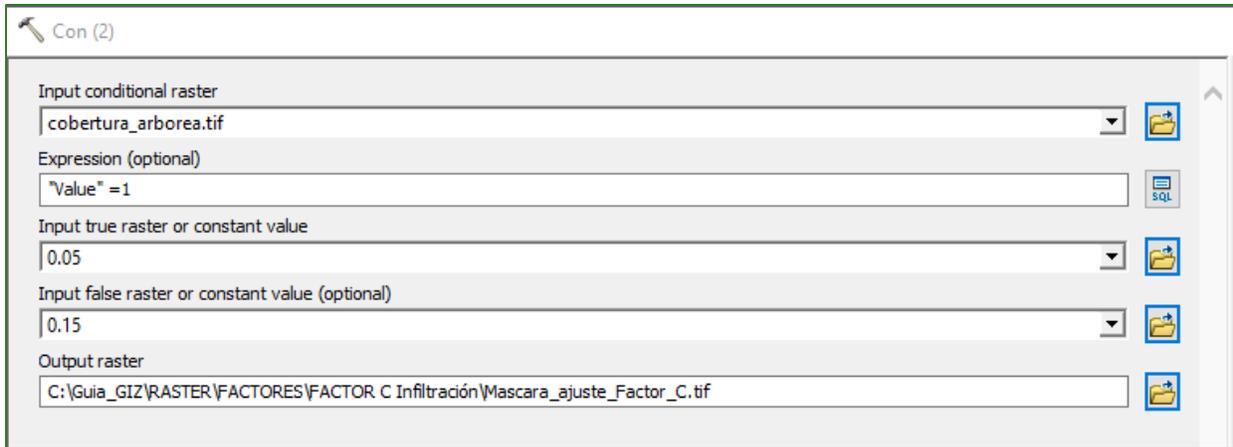
- a) Se propone obtener el Kc a partir del NDVI, y aplicando la fórmula del factor C (ajustado):

$$C = e^{-a\left(\frac{NDVI}{b-NDVI}\right)}$$

Nota: ver el paso de cálculo del factor C en la sección de Erosión Hídrica.

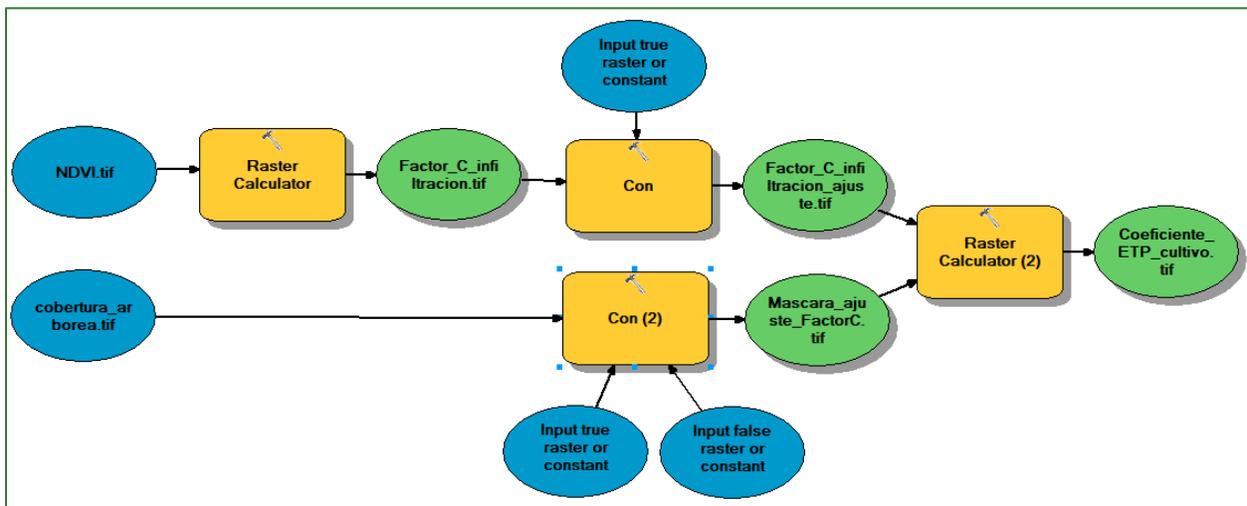
Y luego realizando un segundo ajuste en las zonas de bosque y no bosque:

- Kc (Bosque) = C + 0.05.
- Kc (No-Bosque) = C + 0.15.
- Usando la herramienta condicional (**Con**) sobre la “mascara de no-bosque” (obtenida en el cálculo de carbono), asigne un valor de 0.05 a las zonas de bosque y 0.15 a las zonas de no-bosque, para generar así la máscara de ajuste. La función Con se encuentra en **Spatial Analysis Tools/Conditional/Con**.

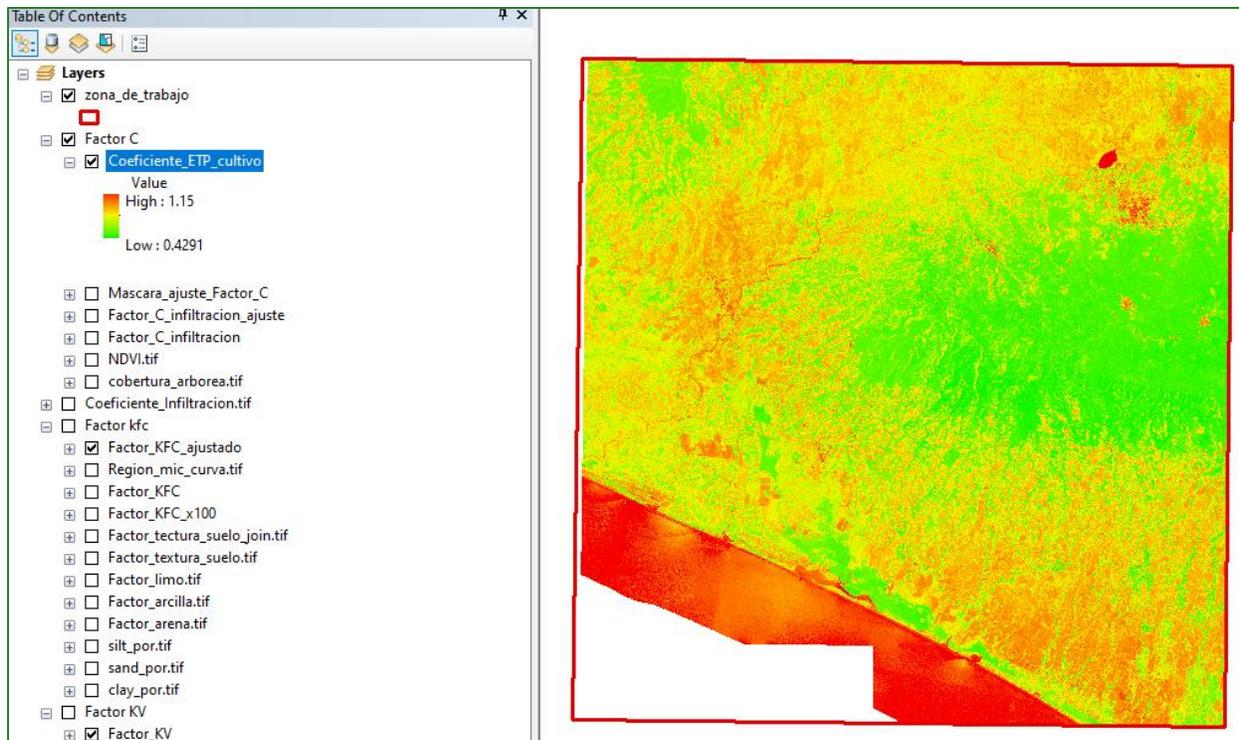


Luego se debe sumar la capa **Mascara_ajuste_FactorC.tif** + **Factor_C_ajustado.tif**, indique como nombre de salida **Coficiente_ETP_cultivo.tif**, dentro de la carpeta **RASTER/FACTORES/FACTOR C Infiltración**.

El modelo se mostrará de la siguiente manera:



El resultado se mostrará de la siguiente manera:



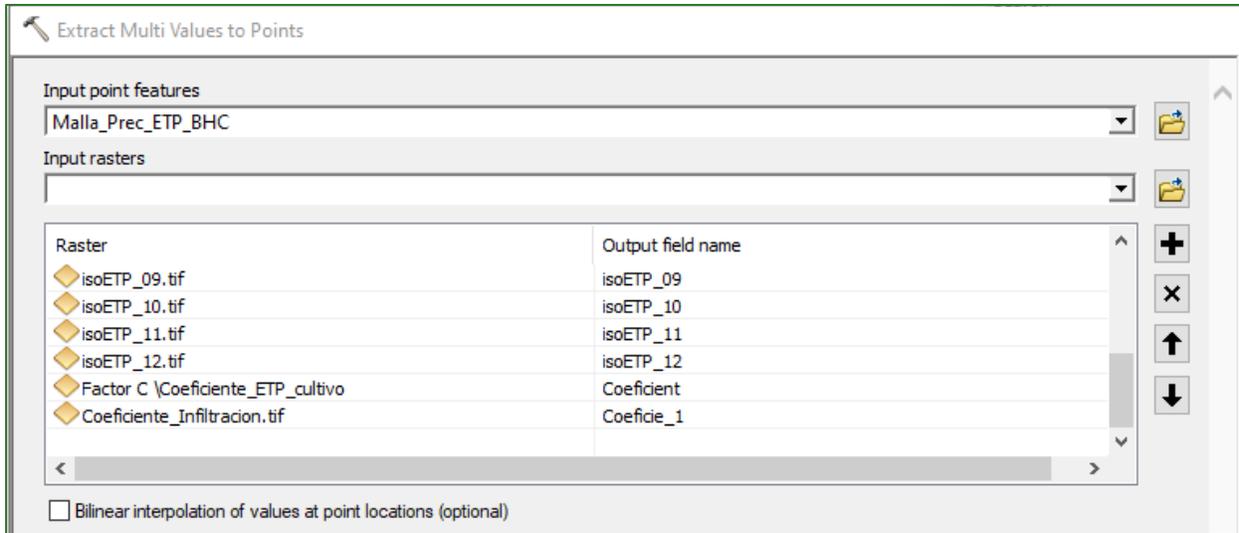
Cálculo de Balance Hídrico Climático

La capa de disponibilidad de agua anual o “Balance Hídrico Climático” (BHC) se obtiene restando la precipitación anual (P) – evapotranspiración anual (ETP).

○ $BHC = P - ETP$

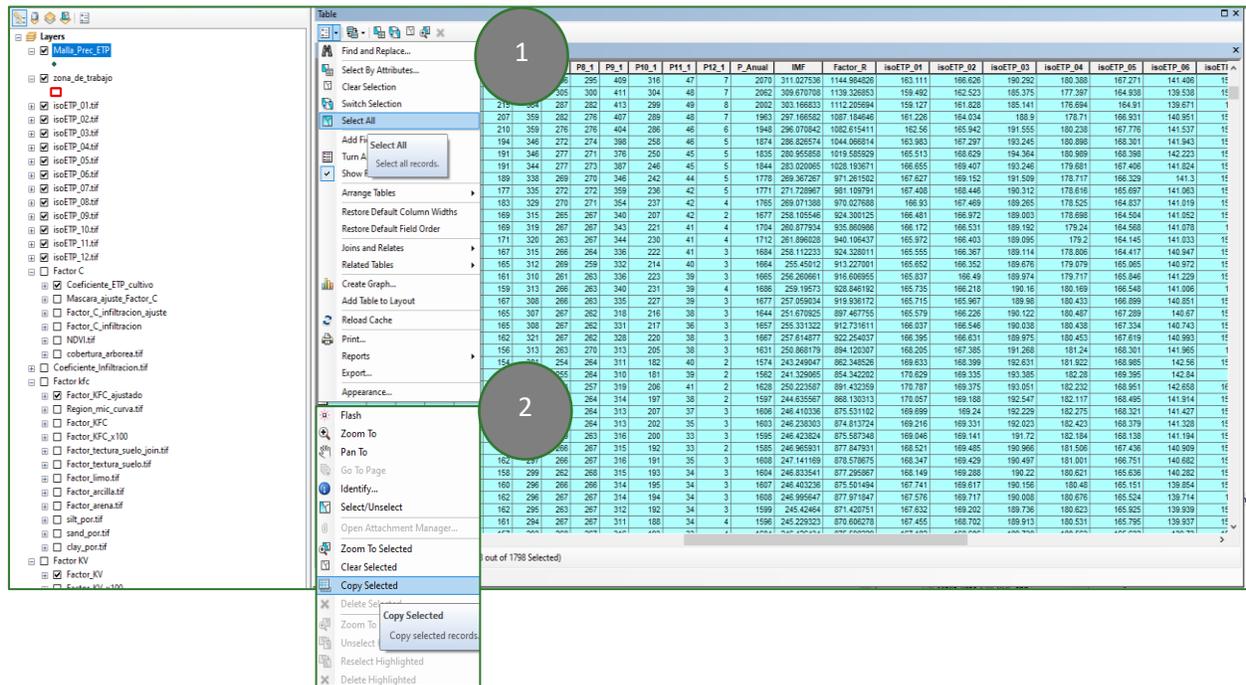
Primero se debe realizar una copia de la **2malla_LLUVIA_project.shp** y renombrarla con el nombre de **Malla_Prec_ETP_BHC.shp** y guárdela dentro de la carpeta **VECTORES/LLUVIA/BHC**.

Luego con la función **Extrac Multi Values to Point** agregamos todas las capas (12 ráster) de isoETP y las capas de **Coeficiente_ETP_cultivo.tif** y **Coeficiente_Infiltración.tif**.



Nota: Si este proceso no resulta, trate de extraer los valores únicamente de los 12 ráster de isoETP y luego por aparte realiza en la misma base de datos la extracción de las capas faltantes (Coeficiente_ETP_cultivo y Coeficiente_Infiltracion). Trate de conservar el mismo nombre de la malla (Malla_Prec_ETP_BHC.shp).

Luego abra la tabla de atributos de la capa, seleccione y copie todos los valores.



Abra un nuevo archivo de Excel y pega los valores.

	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1	isoETP_04	isoETP_05	isoETP_06	isoETP_07	isoETP_08	isoETP_09	isoETP_10	isoETP_11	isoETP_12	Coefficient	Coefficie_1
59	180.989	168.398	142.223	157.348	151.735	130.029	129.726	135.472	147.269	0.892194	0.3
60	179.681	167.406	141.824	157.316	152.346	130.494	130.333	135.806	148.023	0.918426	0.3
61	178.717	166.329	141.3	157.075	152.871	131.181	130.818	136.232	148.255	0.855855	0.3
62	178.616	165.697	141.063	157.029	153.023	131.77	131.058	136.154	147.807	0.899703	0.35
63	178.525	164.837	141.019	156.949	153.105	132.056	131.707	136.339	147.008	0.626361	0.4
64	178.698	164.504	141.052	156.666	153.274	132.253	132.202	136.246	146.608	0.835279	0.3
65	179.24	164.568	141.078	156.74	153.437	132.523	132.952	136.422	146.627	0.844864	0.35
66	179.2	164.145	141.033	156.566	153.159	132.35	132.845	136.22	146.293	0.772022	0.45

- Coefficient = Coeficiente ETP Cultivo.
- Coeficien_1= Coeficiente de Infiltración.

Luego trate de agregar las siguientes Columnas:

Columna: ETR_aisoETP_01, ETR_aisoETP_02.....

#	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
1	ETR_aisoETP_01	ETR_aisoETP_02	ETR_aisoETP_03	ETR_aisoETP_04	ETR_aisoETP_05	ETR_aisoETP_06	ETR_aisoETP_07	ETR_aisoETP_08	ETR_aisoETP_09	ETR_aisoETP_10	ETR_aisoETP_11	ETR_aisoETP_12
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3												
4												

Columna: iso_BHC_01, iso_BHC_02.....

AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF
iso_BHC_01	iso_BHC_02	iso_BHC_03	iso_BHC_04	iso_BHC_05	iso_BHC_06	iso_BHC_07	iso_BHC_08	iso_BHC_09	iso_BHC_10	iso_BHC_11	iso_BHC_12

Columna: 2iso_BHC_01, 2iso_BHC_02.....

BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
2iso_BHC_01	2iso_BHC_02	2iso_BHC_03	2iso_BHC_04	2iso_BHC_05	2iso_BHC_06	2iso_BHC_07	2iso_BHC_08	2iso_BHC_09	2iso_BHC_10	2iso_BHC_11	2iso_BHC_12

Columna: BHC_anual_mm y Infiltración_anual_mm

BS	BT
BHC_anual_mm	Infiltración_anual_mm

Luego procedemos a realizar los cálculos para cada una de las columnas de la siguiente manera.

Para las Columna ETR_aisoETP_0x, se debe multiplicar el valor de isoETP_01 x Coeficiente_ETP_Cultivo.

	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
	ETR_aisoETP_01	ETR_aisoETP_02	ETR_aisoETP_03	ETR_aisoETP_04	ETR_aisoETP_05	ETR_aisoETP_06	ETR_aisoETP_07	ETR_aisoETP_08	ETR_aisoETP_09	ETR_aisoETP_10	ETR_aisoETP_11	ETR_aisoETP_12
1	108.8648671	110.2201608	123.6679099	118.0749646	110.0648058	93.8103807	102.3516566	99.7366216	86.58409724	86.7485256	89.53714265	95.36588095
2	96.83994789	98.74395145	112.3894691	105.5361121	98.38943153	83.5703827	91.52938406	88.84408425	76.7283225	76.7515166	79.46294178	84.95887087
3	101.5516193	103.9222361	118.5706165	111.5921667	103.5771076	87.5133316	95.9383854	92.89770523	79.62371967	79.46155822	82.98688695	89.34116807
4	99.68186232	101.8298908	116.2929597	110.2403381	102.2241579	86.41730737	94.60338039	91.41267582	77.75822057	77.19517781	81.5099415	88.33014124
5	121.0050242	123.3305786	140.6718188	134.6177135	125.1632013	105.8884113	116.1359217	111.9645233	95.7751735	94.91823455	99.6263811	107.8659744
6	108.292766	110.1309126	125.9864116	120.2478648	112.2282461	95.0521235	104.4429842	100.5856165	85.93624787	85.2570595	89.66970677	96.60307885
7	128.3607248	130.5963252	150.3934906	142.2806813	132.9027834	112.2187025	123.7509931	119.0662699	101.8901966	101.1131503	106.2594898	114.3707067
8	138.517376	141.3991782	163.2240155	153.8807998	142.9619296	120.6036777	133.0494503	128.1081224	109.6414112	108.8966768	114.2171882	123.5783588
9	157.0228809	160.2022688	185.049866	173.2264776	161.1638912	135.9248213	149.914858	144.4881841	123.6528974	123.1760166	128.8794345	139.907064
10	147.6697055	150.448782	173.4103946	161.4772999	150.2436852	126.8905073	140.3849415	135.3770566	116.0110936	115.7407588	120.8673056	131.3925182
11	153.060285	155.3877934	177.4821508	165.0237021	153.750023	130.254849	144.4831046	139.9185274	119.8498284	119.7012159	124.727614	135.9481718
12	143.4644961	144.769585	163.903852	152.853838	142.8330643	120.9323115	134.4834241	130.8356097	112.2713148	111.9613394	116.5848384	126.869781

Para las Columnas iso_BHC_0x se debe restar los valores de Precipitación (P1, P2, P3...), menos los valores de ETR_aisoETP_0x (Evapotranspiración real).

	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE
	2iso_BHC_01	2iso_BHC_02	2iso_BHC_03	2iso_BHC_04	2iso_BHC_05	2iso_BHC_06	2iso_BHC_07	2iso_BHC_08	2iso_BHC_09	2iso_BHC_10	2iso_BHC_11	2iso_BHC_12
95	-106.8648671	-106.2201608	-116.6679099	-60.07436459	60.93519418	239.1896193	166.6483434	179.2633778	292.4159028	138.2514474	-40.53714265	-90.36588095
87	-94.85994789	-93.74395145	-101.3694691	-51.53611212	82.61056847	261.4296171	181.4706159	179.1559157	304.2716775	182.2484683	-32.46294178	-78.95887087
807	-98.55161929	-96.92223611	-106.5706165	-55.59216673	112.4228924	278.4866668	184.0616146	189.1022948	319.3762803	218.5384418	-33.98688695	-82.34116807
14	-94.68186232	-94.82998075	-101.2929597	-47.24033805	133.775841	287.5826926	201.3966197	203.5873242	330.8048222	238.2417794	-34.5099415	-81.33014124
444	-115.0305042	-116.3305786	-124.6718188	-72.61771345	101.8367987	263.1115887	188.8640783	188.0354768	315.2247827	209.0807655	-51.6263811	-100.8659744
885	-104.292766	-103.1309126	-112.9964116	-59.24786484	102.7716539	268.9478786	182.5570658	181.4143835	327.0637521	213.742934	-40.66970677	-88.60307885
67	-124.3607248	-123.5963252	-138.3934906	-77.28068134	74.09721663	246.7812975	158.2490069	156.9343731	305.1098034	187.8868497	-58.25948976	-107.3707067
888	-135.517376	-135.3991782	-151.2240155	-89.5807998	67.0380704	238.3963223	142.9505497	147.8918776	294.3585888	177.1033242	-68.2171882	-117.5783588
664	-155.0288089	-155.2022688	-173.049866	-111.2264776	32.83630881	210.0765187	122.0851427	129.5118159	274.3471026	134.8239834	-82.8794345	-134.907064

Para las columnas 2iso_BHC_0x se realiza el mismo calculo anterior con la excepción que durante este paso todos los valores negativos pasan a ser valores 0. En este proceso se aplica la función MAX indicando que la Precipitación (P1, P2, P3.) reste la columna ETR_aisoETP_0x (Evapotranspiración Real).

	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ
	2iso_BHC_01	2iso_BHC_02	2iso_BHC_03	2iso_BHC_04	2iso_BHC_05	2iso_BHC_06	2iso_BHC_07	2iso_BHC_08	2iso_BHC_09	2iso_BHC_10	2iso_BHC_11	2iso_BHC_12
9	-	-	-	-	2.50	136.50	104.50	107.50	146.50	43.50	-	-
9	-	-	-	-	-	136.01	106.01	108.01	151.01	29.01	-	-
9	-	-	-	-	12.98	145.98	120.98	116.98	159.98	42.98	-	-
9	-	-	-	-	-	142.80	113.80	108.80	154.80	42.80	-	-
9	-	-	-	-	10.88	159.88	129.88	125.88	175.88	59.88	-	-
9	-	-	-	-	6.17	141.17	112.17	112.17	161.17	31.17	-	-
9	-	-	-	-	17.54	155.54	126.54	128.54	174.54	44.54	-	-
9	-	-	-	-	-	154.49	117.49	113.49	158.49	38.49	-	-

Para la columna BHC_anual_mm se debe sumar todas las celdas de 2iso_BHC_0x de cada mes.

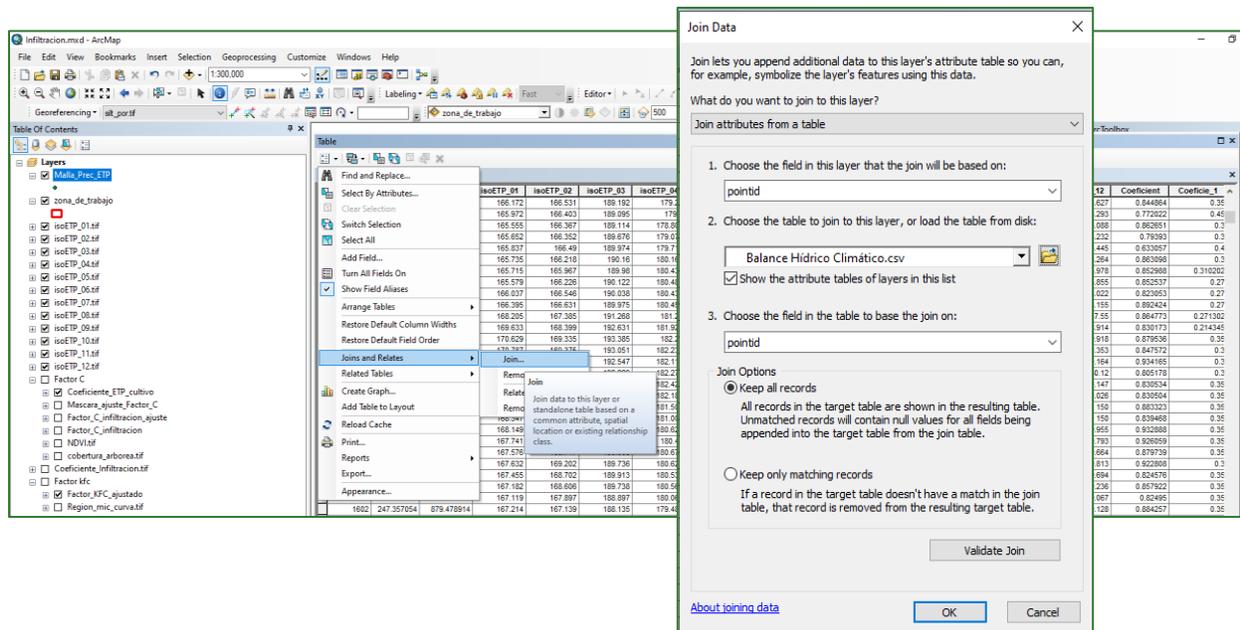
=SUMA(BF2:BQ2)									
	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
04	2iso_BHC_05	2iso_BHC_06	2iso_BHC_07	2iso_BHC_08	2iso_BHC_09	2iso_BHC_10	2iso_BHC_11	2iso_BHC_12	BHC_anual_mm
-	2.50	136.50	104.50	107.50	146.50	43.50	-	-	541.00
-	-	136.01	106.01	108.01	151.01	29.01	-	-	530.05
-	12.98	145.98	120.98	116.98	159.98	42.98	-	-	599.90
-	-	142.80	113.80	108.80	154.80	42.80	-	-	562.99
-	10.88	159.88	129.88	125.88	175.88	59.88	-	-	662.28

Para la columna Infiltración_anual_mm se multiplica los valores de BHC_anual_mm x Coeficiente_Infiltración.

=BR2*AG2									
	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	
C 06	2iso_BHC_07	2iso_BHC_08	2iso_BHC_09	2iso_BHC_10	2iso_BHC_11	2iso_BHC_12	BHC_anual_mm	Infiltración_anual_mm	
323	263	276	340	226	48	3	1717	635.29	
329	262	280	382	222	49	4	1765	706	
336	267	279	386	239	49	6	1804	631.4	
356	277	277	404	275	49	7	1920	710.4	
372	280	281	422	306	51	7	2046	634.26	
371	292	291	423	308	49	7	2074	767.38	
365	303	296	417	302	47	7	2061	721.35	
370	290	280	417	305	49	8	2034	508.5	
376	291	280	410	303	48	8	2025	749.25	

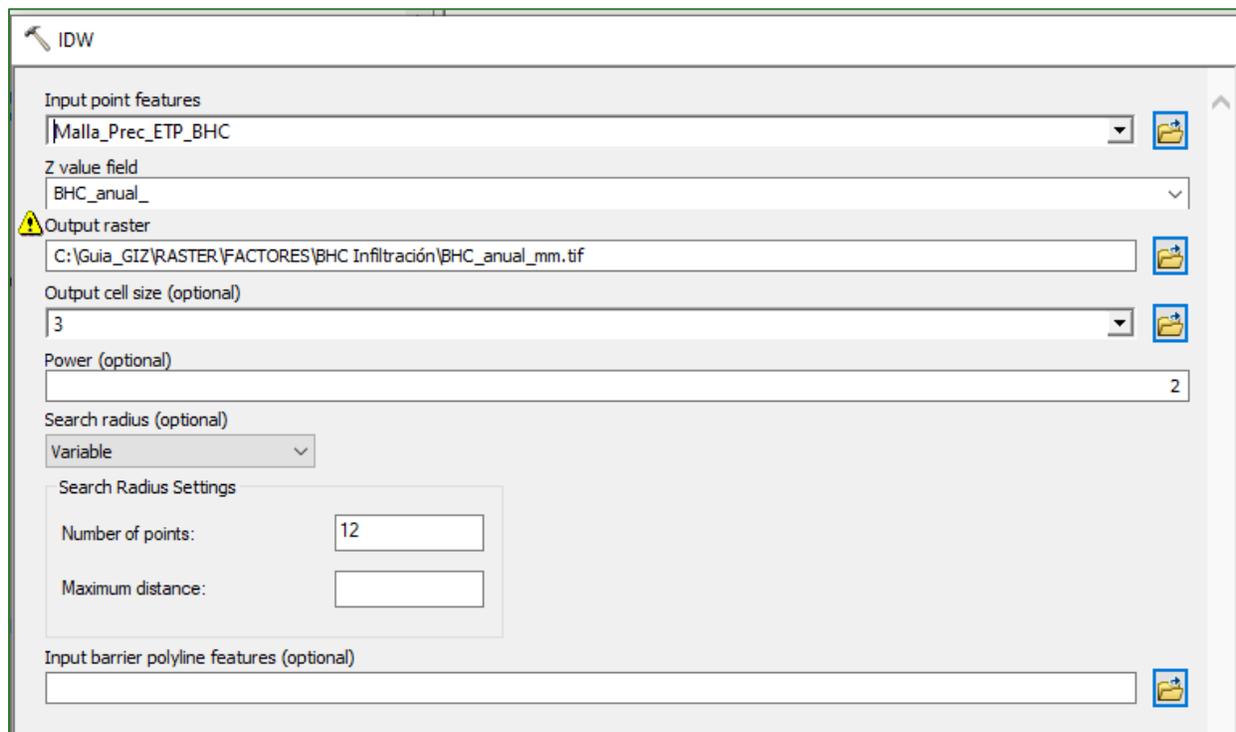
Guarde la tabla con el nombre Balance_Hidrico_Climatico.csv.

Luego abrimos la tabla de atributos de la capa Malla_Prec_BHC y procedemos a realizar un join con la base de datos que se generó en el proceso anterior (**Balance_Hidrico_Climatico.csv**). Las columnas que permitirán la unión es **pointid**.

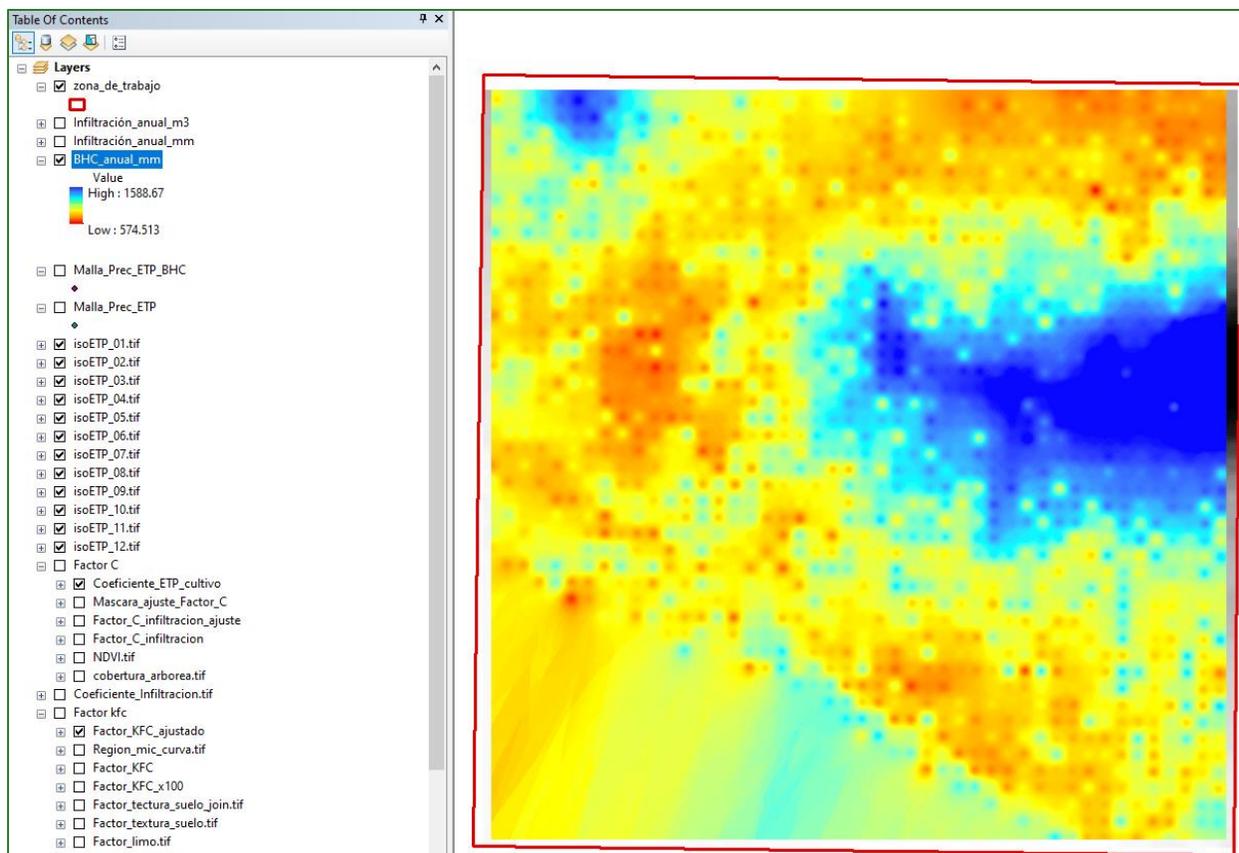


Nota: debe guardar una copia del archivo anterior para asegurarnos de que se conserven los datos y se guarda con el nombre de **Malla_Prec_ETP_BHC.shp** en la carpeta **VECTORES/LLUVIA/BHC**.

Luego se debe realizar una interpolación IDW utilizando la columna de **BCH_anual_mm.tif** para generar la capa de Balance Hídrico anual en mm. Esta capa se debe guardar en la carpeta **RASTER/FACTORES/BHC Infiltracion**. La función IDW se encuentra en **Spatial Analysis Tools/Interpolation/IDW**.

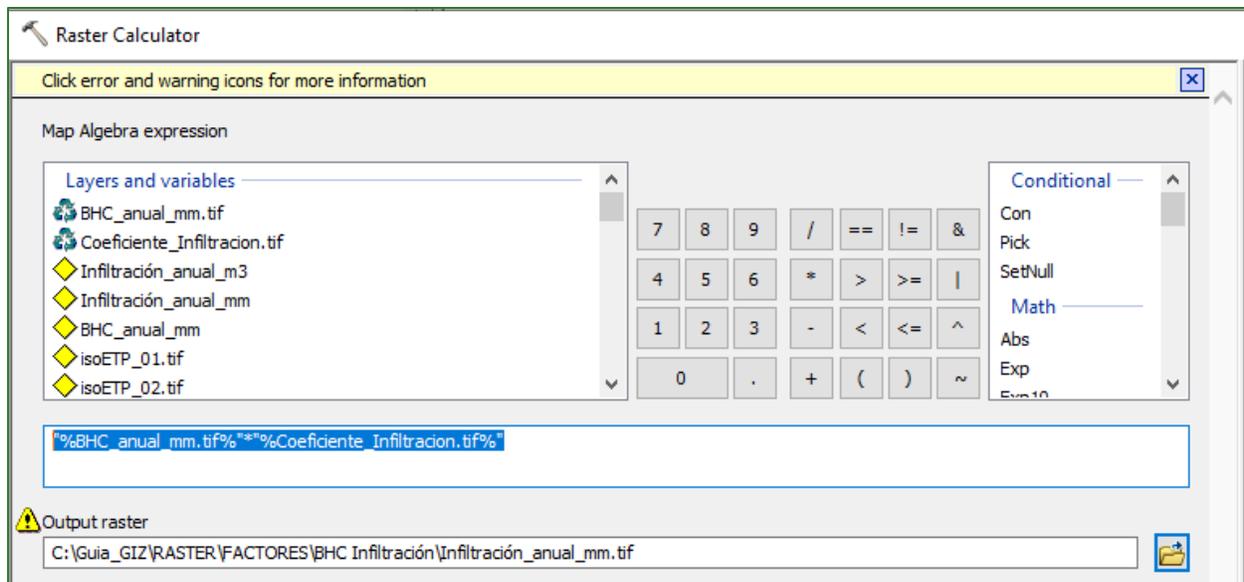


El resultado se puede apreciar de la siguiente manera:



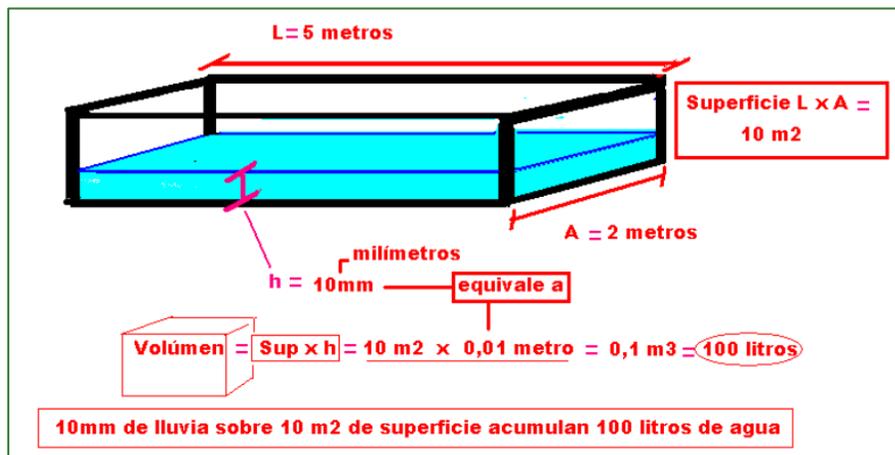
Paso 6. Cálculo de Infiltración total

Para obtener los mm anuales de infiltración se deberá multiplicar el ráster de **Coeficiente_Infiltracion.tif** (Factor CI), por la disponibilidad de agua anual obtenida del ráster de **BHC_anual_mm.tif** (BHC). El resultado de este proceso se debe guardar con el nombre de **Infiltración_anual_mm.tif** dentro de la carpeta **RASTER/FACTORES/BHC Infiltración**.



Tenga en cuenta que 1 mm de agua corresponde a una lámina de 0.001m que se extiende por toda la superficie que cubre. Si quisiéramos los m³ de por píxel debemos multiplicar:

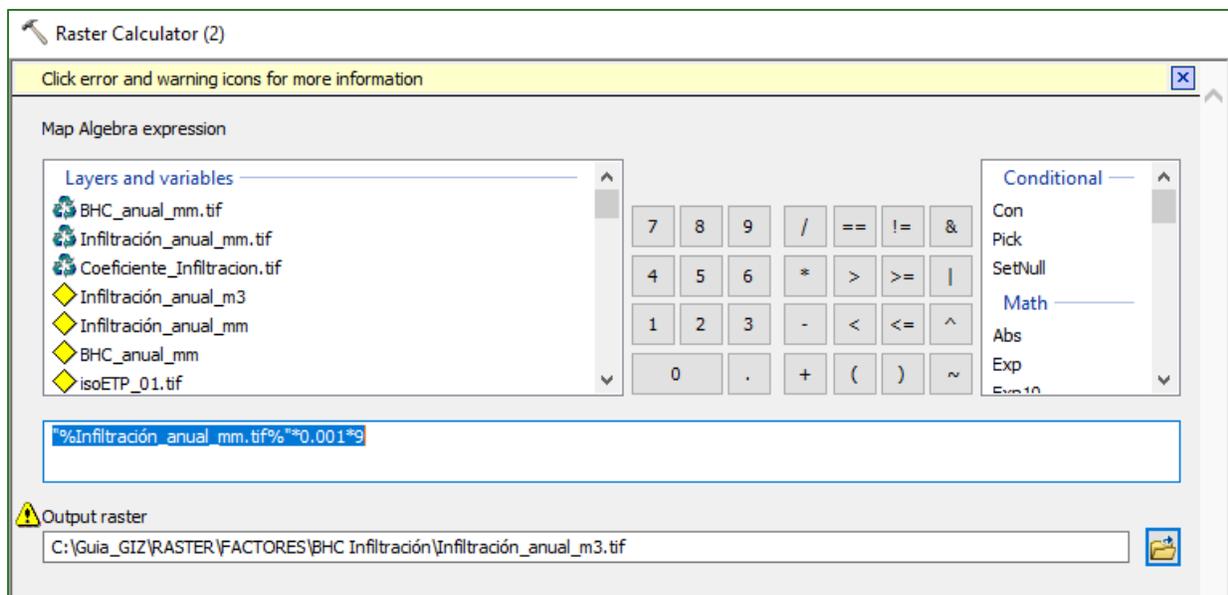
Cantidad de mm * 0.001m * Tamaño del píxel²



Nota: para fines de análisis de datos del balance hídrico considerar las siguientes métricas:

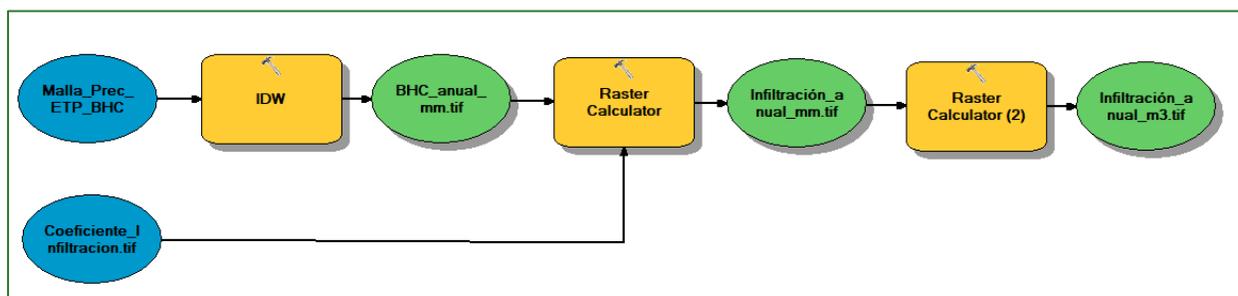
- a) Promedio de mm por año
- b) m³ por píxel por año

La conversión de mm a m³ se realiza de la siguiente manera con el Raster Calculator:

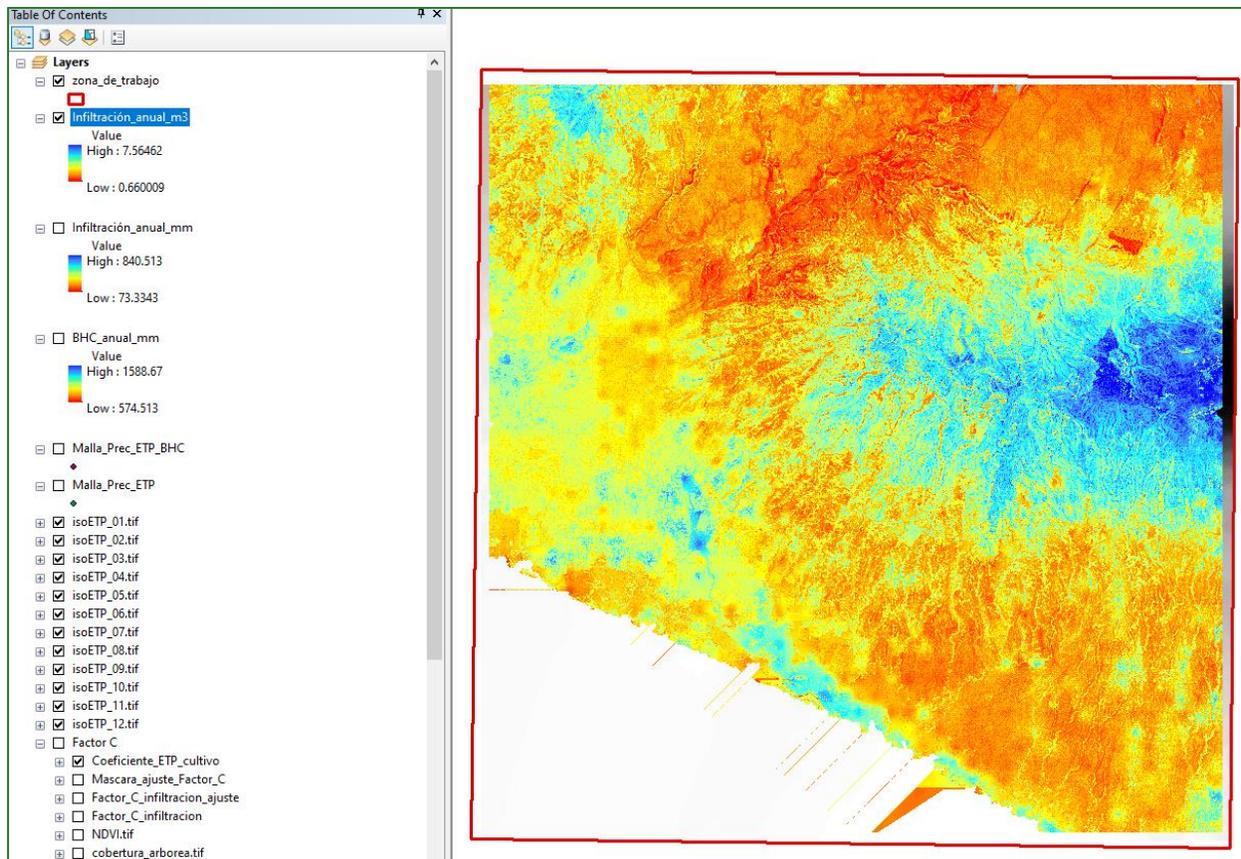


Almacene el archivo con el nombre **Infiltración_anual_m3.tif** en la carpeta **RASTER/FACTORES/BHC Infiltración**.

El modelo quedará de la siguiente manera:



El resultado se puede apreciar de la siguiente forma:





Análisis de conectividad estructural del paisaje

Módulo 3: Análisis de conectividad estructural del paisaje

La conectividad del paisaje se puede definir como la facilidad o el impedimento que presenta el paisaje para el desplazamiento de las especies entre parches de vegetación.

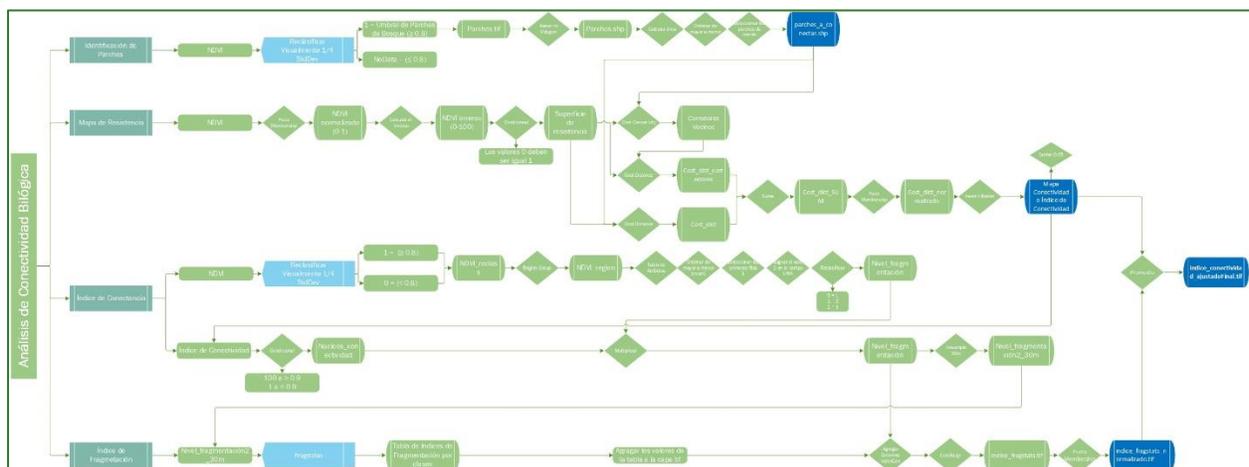
En el módulo de análisis de conectividad estructural del paisaje se generan una serie de métricas sobre conectividad de paisaje asociadas especialmente a la fragmentación de este. La fragmentación es el proceso de división de un hábitat continuo en secciones. En este sentido, se han identificado como las principales amenazas que impiden que un territorio esté conectado con la pérdida de hábitat y la fragmentación, causadas por barreras artificiales como por ejemplo la infraestructura vial, la urbanización y los usos del suelo como agricultura o ganadería.

La importancia de la conectividad espacial se ve aún más acentuada en el contexto actual de cambio climático. La creación de redes de conectividad es una estrategia frecuentemente propuesta para reducir los efectos negativos del cambio climático sobre la biodiversidad, puesto que puede facilitar la dispersión de muchas especies que precisen cambios en su distribución espacial debido a las nuevas condiciones climáticas.

Basado en lo anterior, será necesario realizar un análisis de conectividad biológica para el área del proyecto o zona de estudio, por lo tanto, procederá a la ejecución de cuatro grandes pasos que consisten en:

- (i) Identificación de parches
- (ii) Generar un mapa de resistencia basado en un índice de conectividad de paisaje
- (iii) Generación de un índice de conectividad
- (iv) Un índice de fragmentación de paisaje

A partir de las cuatro métricas antes mencionadas, se generará un índice de conectividad de paisaje ajustado.



El diagrama de los procesos que conlleva la presente sección está disponible en el repositorio web de GitHub, mediante el siguiente enlace: [Your Repositories \(github.com\)](#)

Parte 15. Conectividad biológica

Opciones

El análisis de conectividad requiere de la selección de los parches núcleo que requieren ser conectados; para ellos existen varias opciones, una podría ser utilizar los polígonos disponibles de áreas protegidas, otra sería utilizar el mapa de densidad de carbono y seleccionar parches de mayor superficie con mayor densidad de carbono o usar el NDVI seleccionando los parches de mayor tamaño con NDVI altos. En este ejercicio se explica el procedimiento utilizando el NDVI.

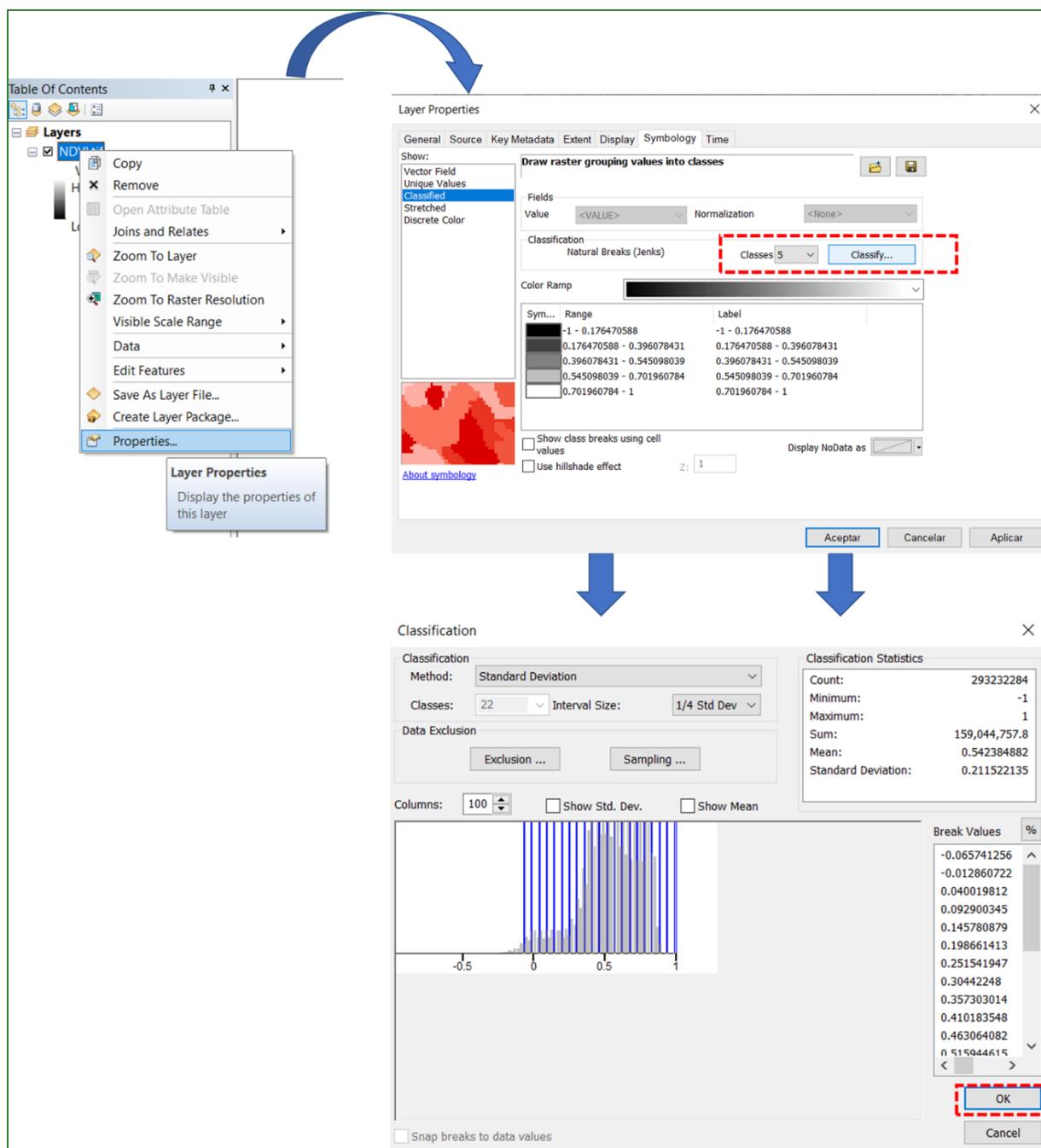
Utilice el mapa de densidad de carbono para definir los núcleos a conectar y usar el NDVI como mapa de fricción para la conectividad. Para ello deberá invertir los valores del NDVI (1-NDVI) para que los valores más altos representan la menor resistencia.

Pasos

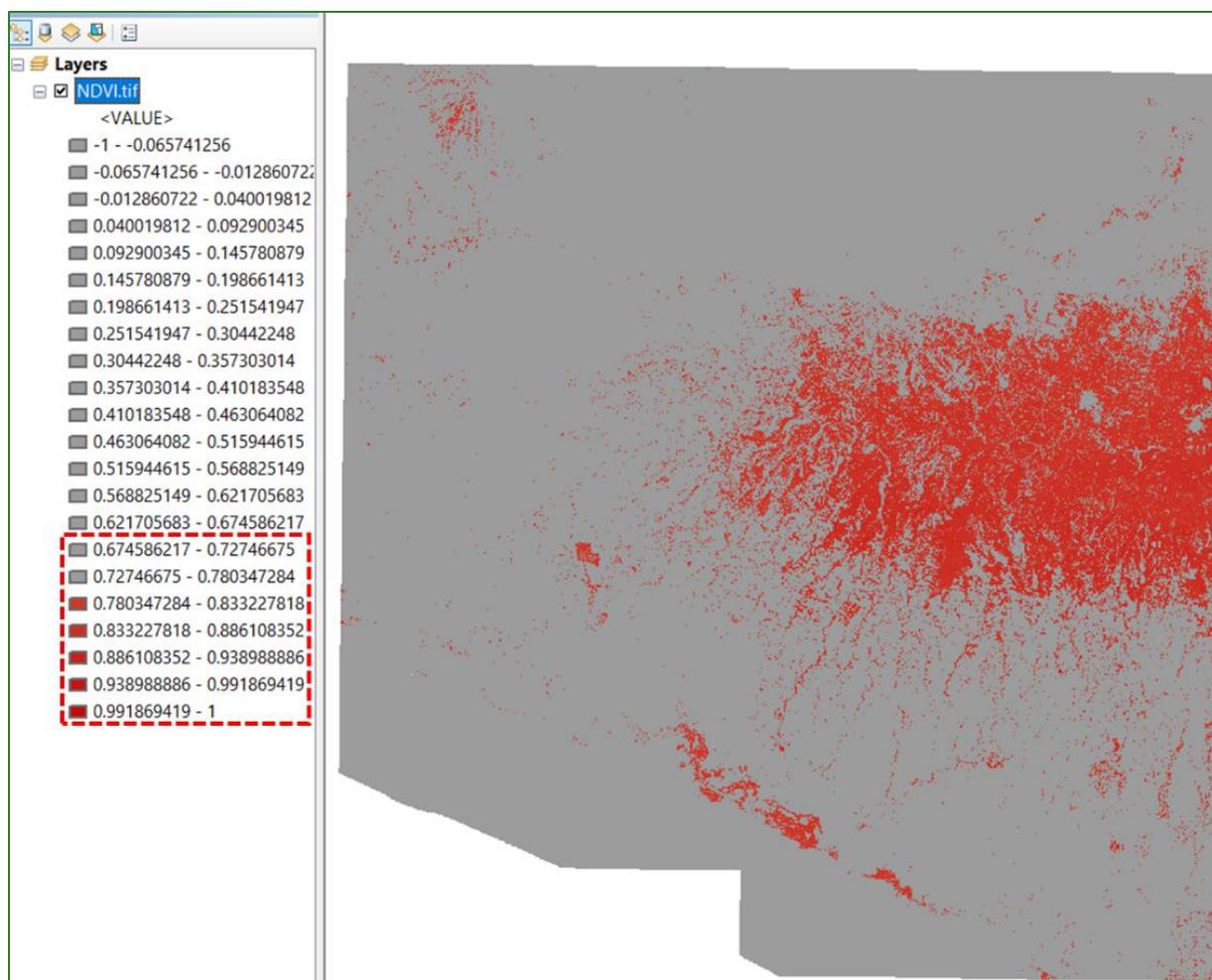
Paso 1. Identificación de parches

Seleccione los parches núcleos de interés para la conectividad biológica:

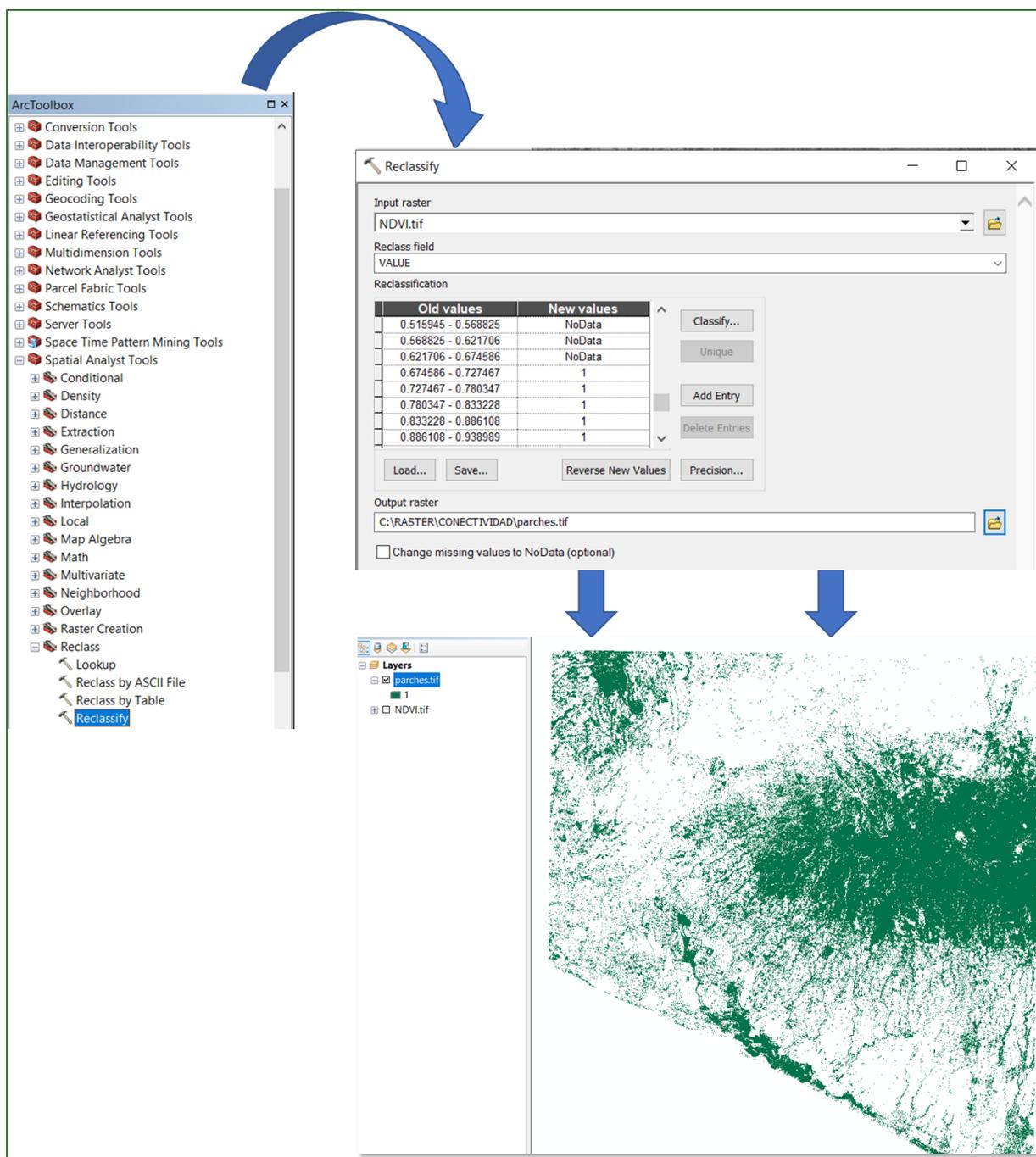
Reclasificar visualmente el NDVI, usando la opción de 1/4 StdDev con el método de desviación estándar y observar las últimas 4 o 5 clases para definir el umbral de los parches de bosque que desea conectar. Para realizar este proceso abra el ráster llamado **NDVI.tif** que se encuentra en la carpeta **RASTER/NDVI**, darle clic derecho y abrir las propiedades del ráster, después clic en classify y seleccionar el método Standard Deviation (1/4 Std Dev) y clic en ok.



- a) Como segundo paso, identifique las últimas cinco clases (o las que considere adecuadas que sean capaz de representar los parches a conectar) de NDVI, que serán el umbral de los parches que conectará, **en este caso** seleccionaremos los índices de NDVI mayores a **0.67**.

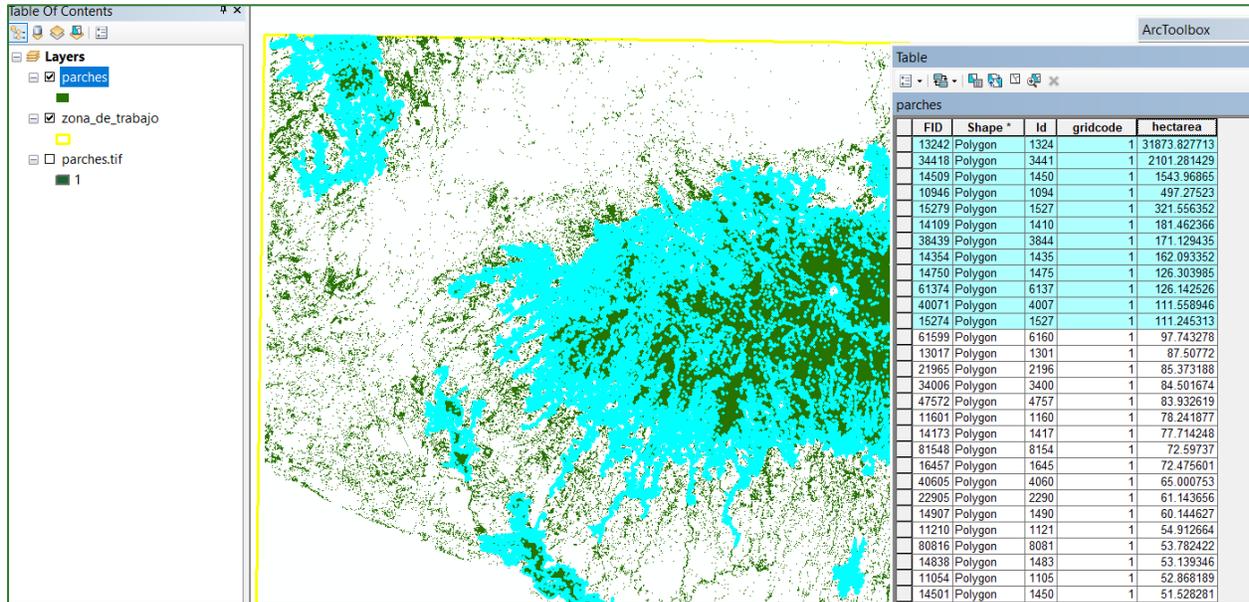


- b) Posteriormente, realizar una reclasificación de 2 clases, indicando NoData para los valores de NDVI inferiores al umbral seleccionado, y 1 para los valores superiores a dicho umbral. La reclasificación la debe realizar con la herramienta “Reclassify” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**, nombre el archivo como **parches.tif** y guarde el archivo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.

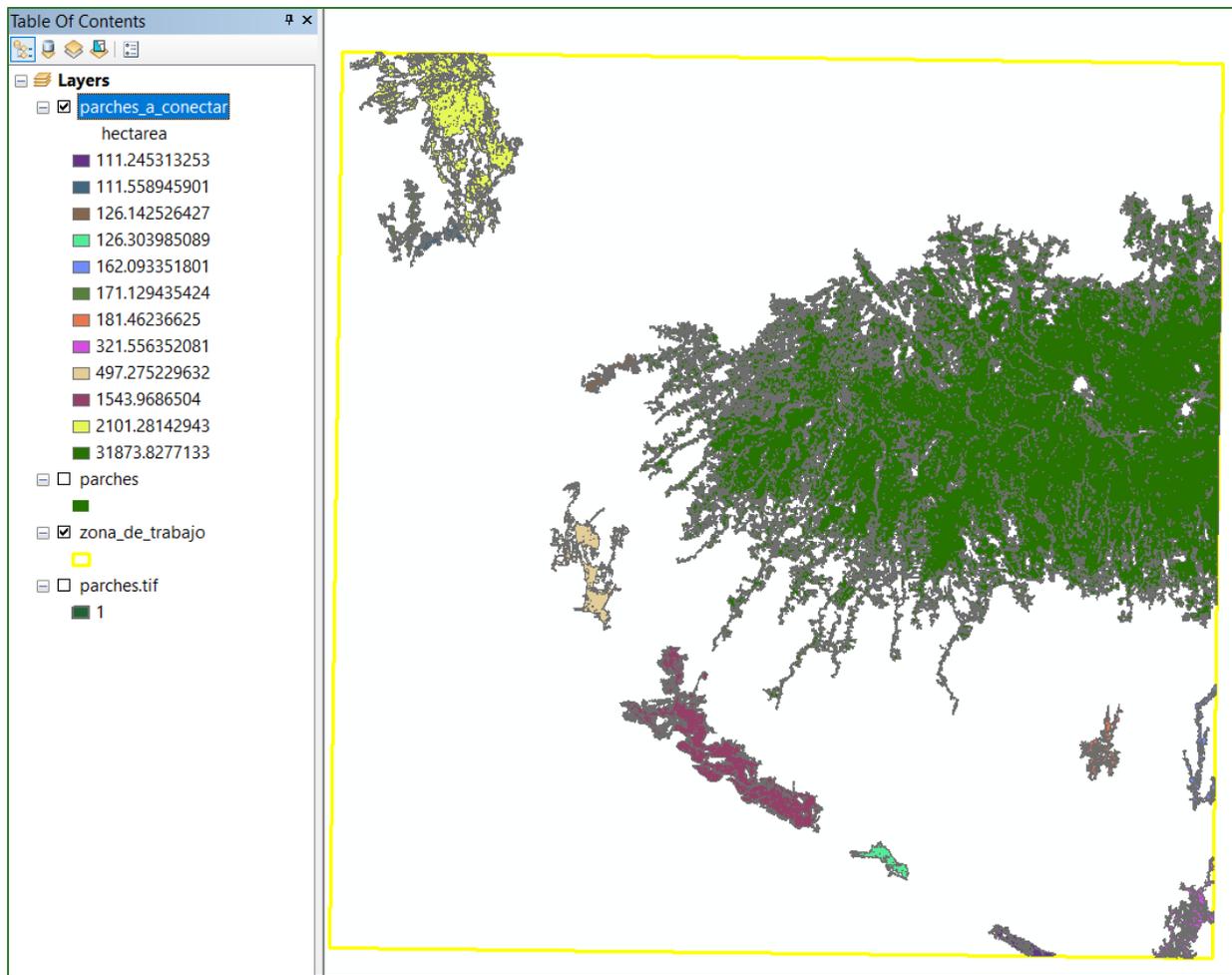


- c) Ahora, convierta el ráster generado llamado **parches.tif** a un archivo de formato vectorial (shapefile) con el nombre **parches.shp**, será este archivo el que servirá para obtener los parches de vegetación a conectar. Para realizar este proceso, busque la herramienta “Raster to Polygon” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Polygon**, nombre el archivo como **parhes.shp** y guarde el archivo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.

- d) En el shapefile de parches generado calcule el área y ordene los campos de mayor a menor área. Luego seleccione los parches de mayor superficie que desea conectar y expórtelos a un nuevo shapefile con el nombre **parches_a_conectar.shp** y guarde el archivo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



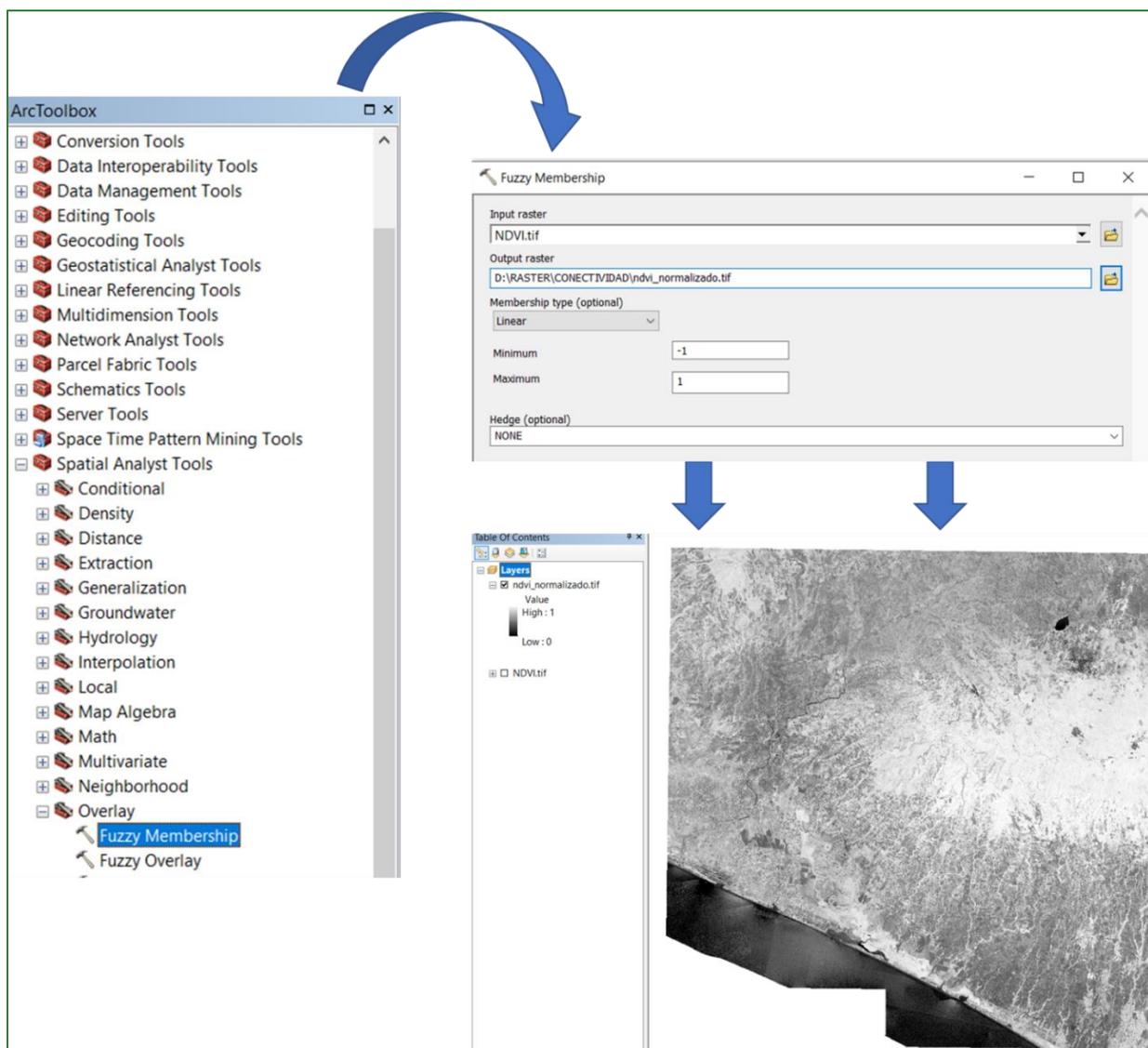
- d) El shapefile de parches a conectar podría quedar como se muestra a continuación:



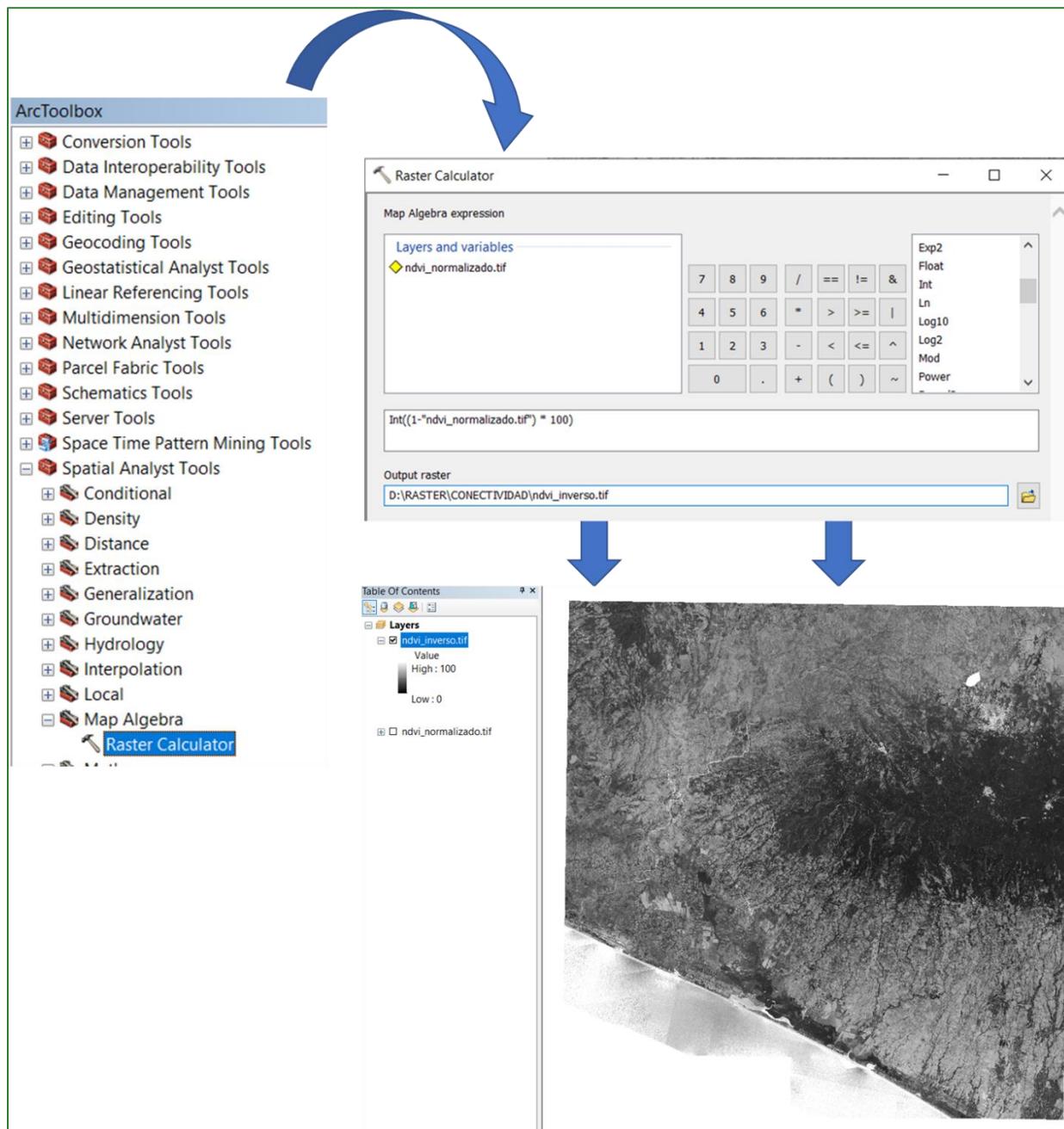
Paso 2. Mapa de resistencia

Genere un mapa de resistencia del paisaje a partir del NDVI. Este mapa indicará la facilidad de una especie y través de los parches continuos o fragmentados del paisaje. Una menor vegetación, es decir NDVI bajo indicarán alta resistencia, y valores de NDVI altos indicarán baja resistencia. Para ello se necesitará convertir el ráster a NDVI a una escala de 1 a 100, donde los valores 1 indiquen baja resistencia a la movilidad (NDVI alto) y 100 alta resistencia (NDVI bajo).

a) Primero convertir el NDVI a valores normalizado entre 0-1 utilizando la herramienta Fuzzy Membership, nombre el archivo como **ndvi_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**, para ejecutar el proceso utilice la herramienta “**Fuzzy Membership**” que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**.

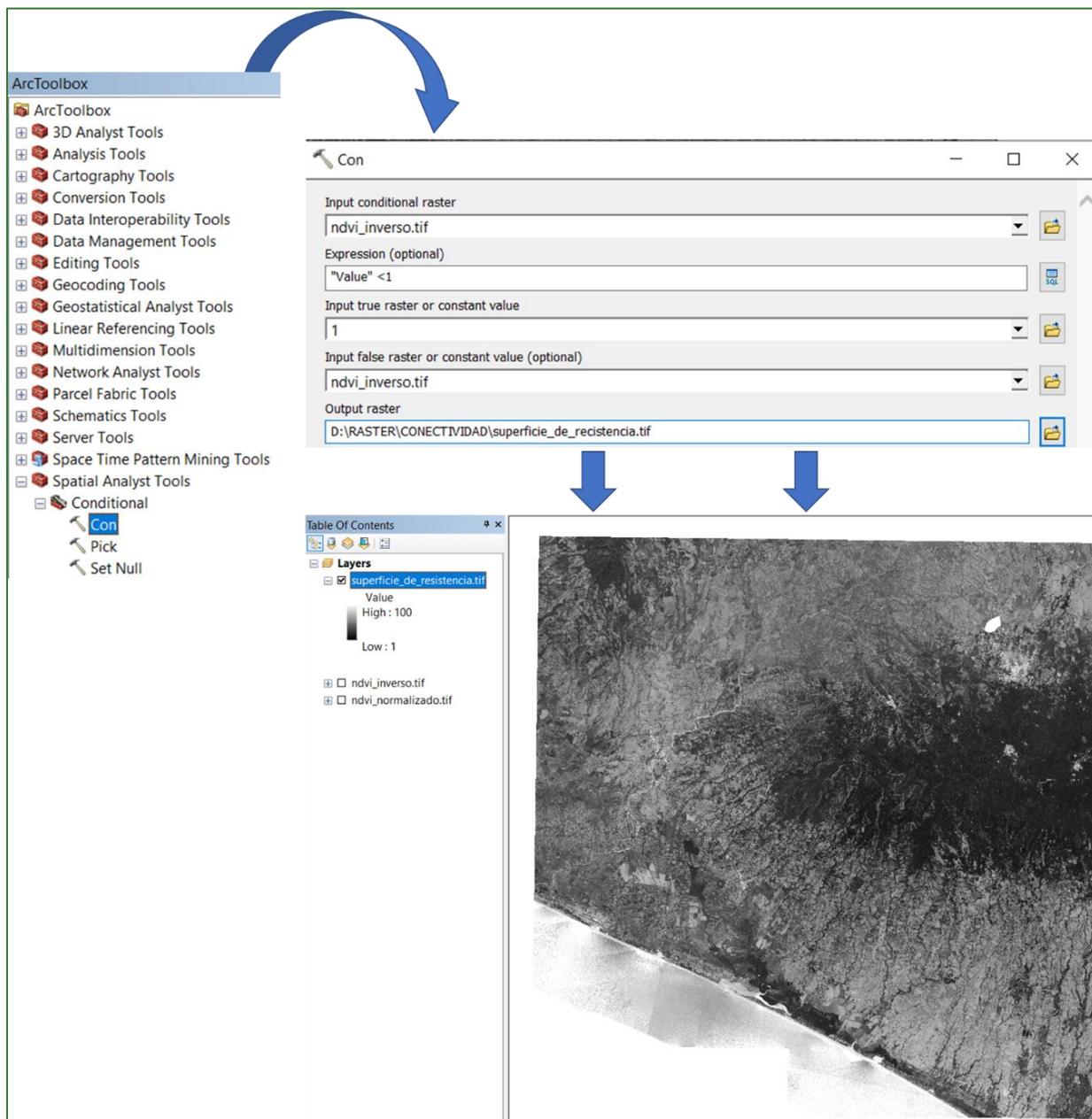


b) Como el resultado anterior los valores altos indican alta vegetación y lo que queremos es el inverso, por lo tanto debe calcular el NDVI inverso con la siguiente operación: $\text{Int}((1 - \%ndvi_normalizado.tif) * 100)$ y guarde el archivo con el nombre **ndvi_inverso.tif** en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



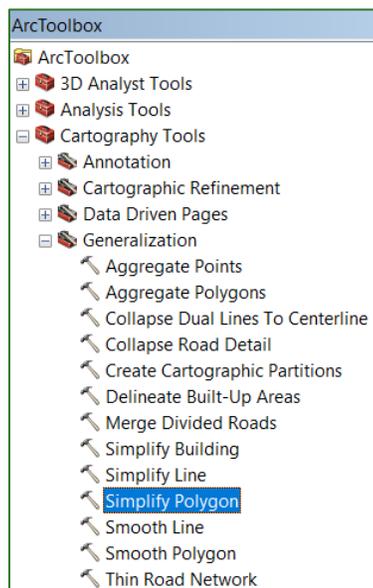
c) Para correr el modelo de conectividad no puede haber valores de cero. Entonces, debemos convertir los valores de cero del ráster anterior a 1. Para ello se utilizará la herramienta “Con” que se encuentra

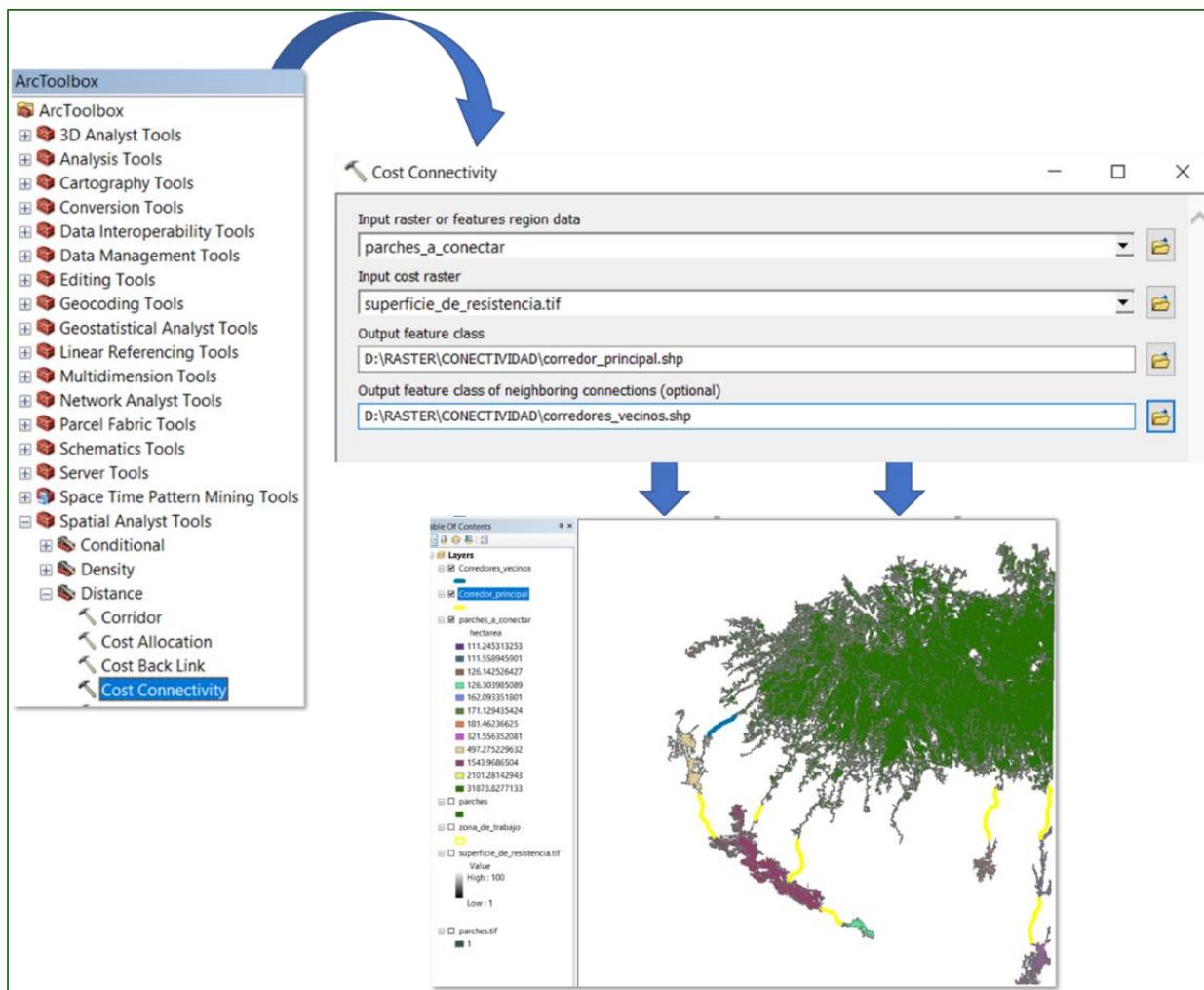
disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Conditional/Con.** El archivo de salida nómbrelo como **superficie_de_resistencia.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



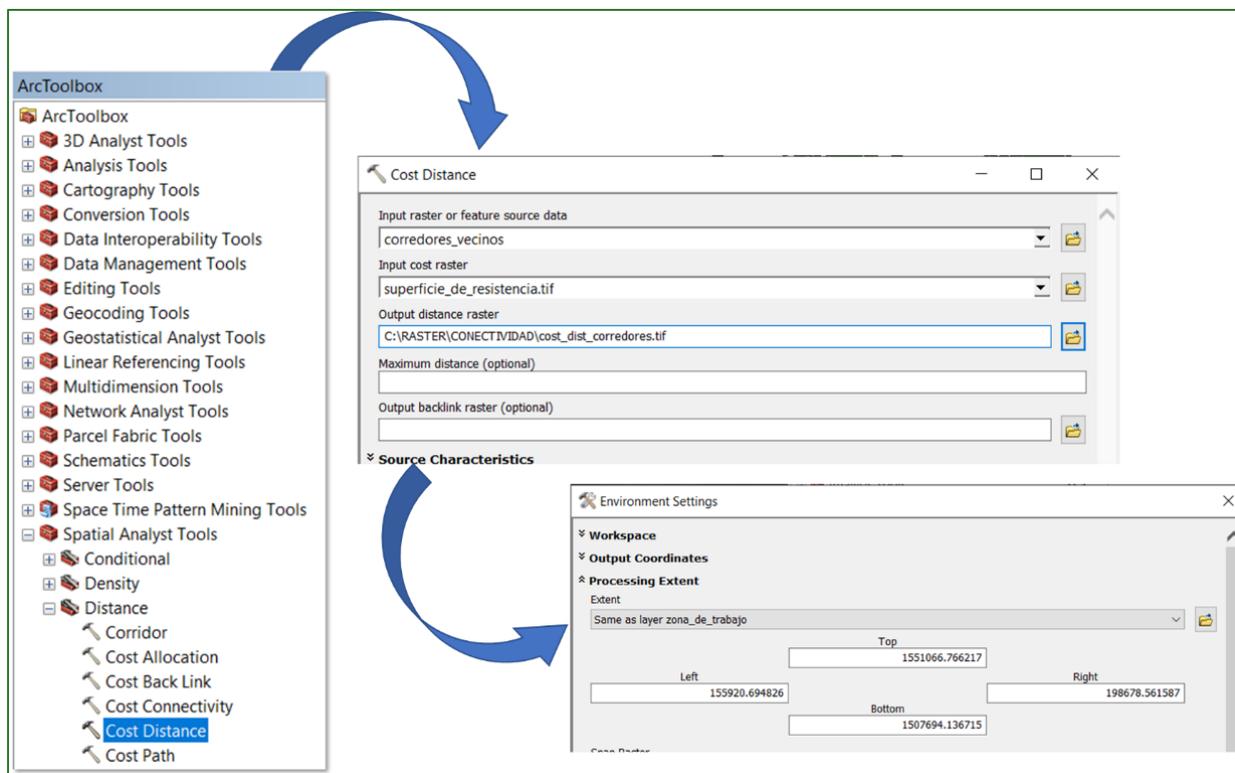
d) Ahora utilice el algoritmo de Cost-Connectivity para generar el shapefile del corredor óptimo y el de corredores vecinos (todos los corredores óptimos). Para esto, utilice la herramienta “**Cost Connectivity**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Distance/ Cost Connectivity** para esto utilice como dato de entrada el shapefile llamada **parches_para_conectar.shp** generado en el paso 1, en la casilla de Input cost raster ingrese el archivo **superficie_de_resistencia.tif** y finalmente nombre el archivo de salida como **corredor_principal.shp** y **corredores_vecinos.shp**, ambos guárdelos en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD** (este proceso puede durar aproximadamente 30 minutos en completarse). Si la duración del proceso es muy larga, proceda a

simplificar el shepefile de polígonos utilizando la herramienta “**Simplify Polygon**” ubicada en **ArcToolBox/Cartography Tools/Generalization/Simplify Polygon**.

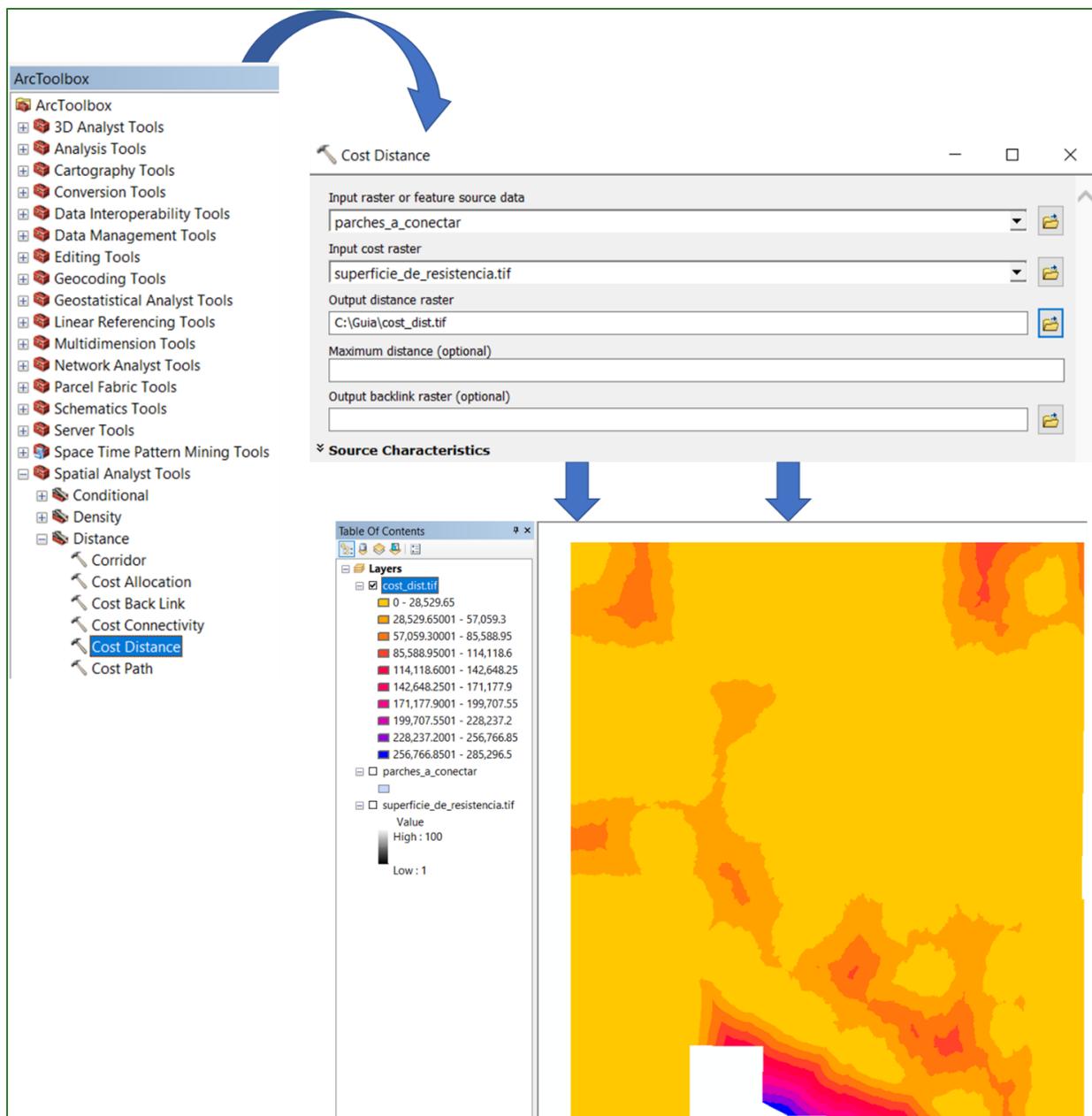




e) Ahora utilice el algoritmo de costo-distancia para calcular el valor de resistencia al desplazamiento acumulada hasta los corredores vecinos. Para esto aplique la herramienta “Cost Distance” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Distance/Cost Distance** y guarde el archivo de salida con el nombre **cost_dist_corredores.tif** en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**. En la casilla de environment ajuste el proceso al límite de la zona de proyecto.

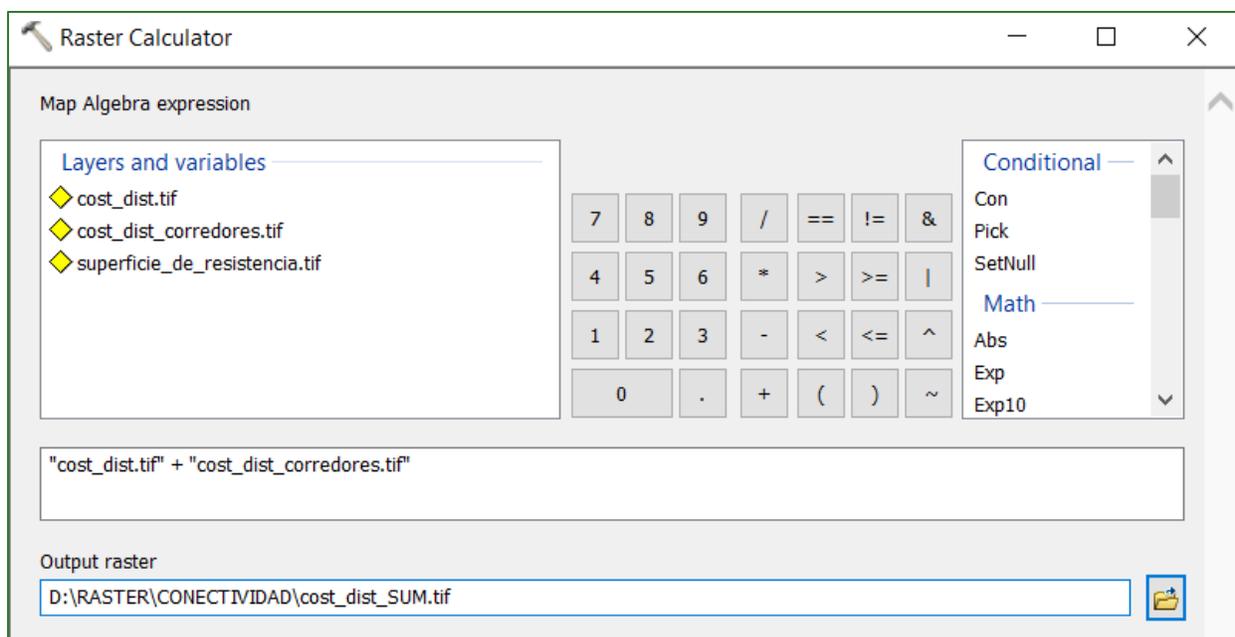


f) Utilizar el algoritmo de costo-distancia para calcular el valor de resistencia al desplazamiento acumulada hasta los parches objetivo más próximo desde cada píxel. Para esto aplique la herramienta “Cost Distance” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Distance/Cost Distance** y guarde el archivo de salida con el nombre **cost_dist.tif** en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**. En la casilla de environment ajuste el proceso al límite de la zona de proyecto.

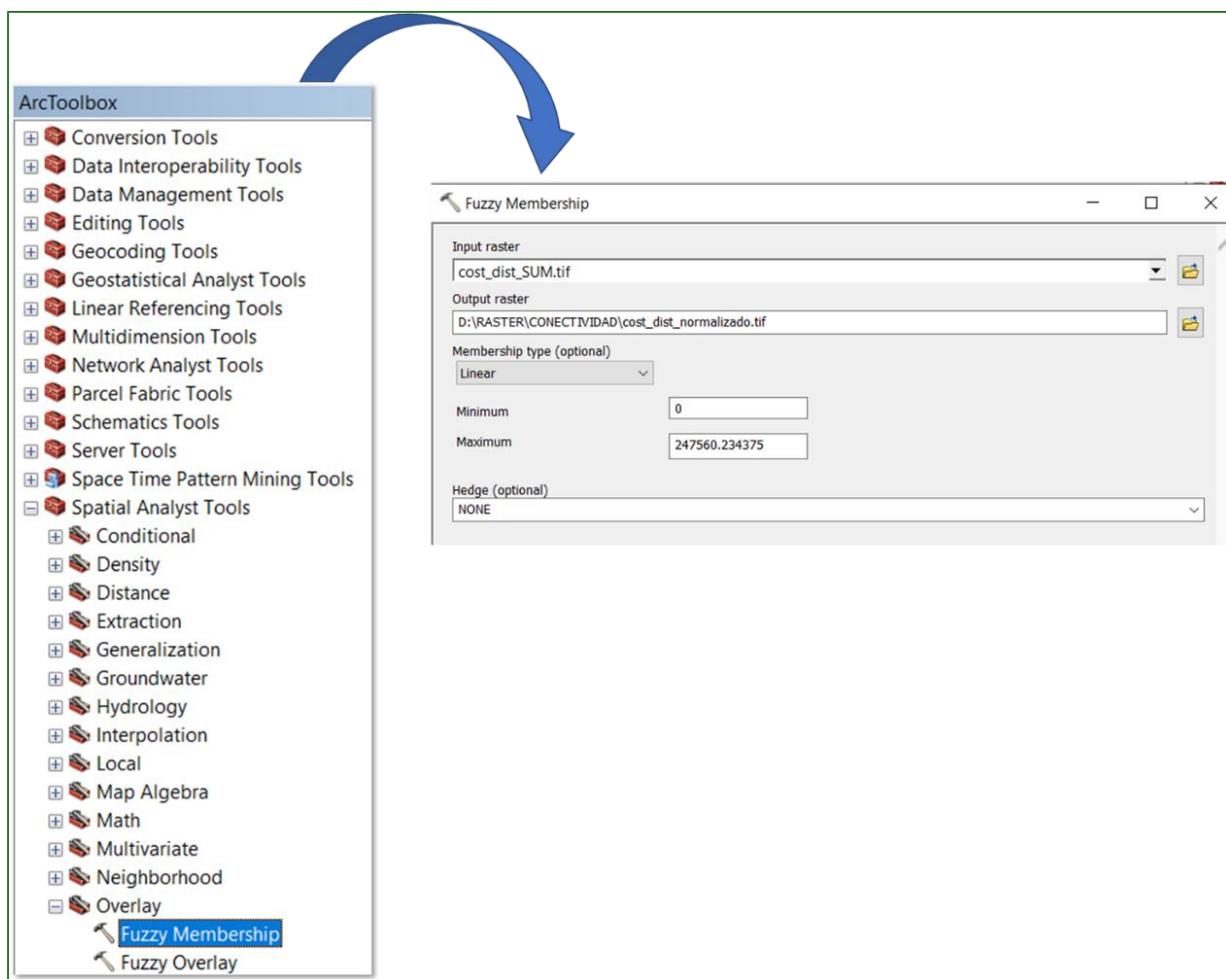


g) Calcular para cada píxel, una métrica estandarizada que servirá para evaluar la conectividad en paisajes fragmentados, sumando el costo de desplazamiento hacia los parches objetivo y hacia los corredores óptimos. Los valores altos deberán indicar un mayor potencial de conectividad en paisajes fragmentados. Para esto deberá:

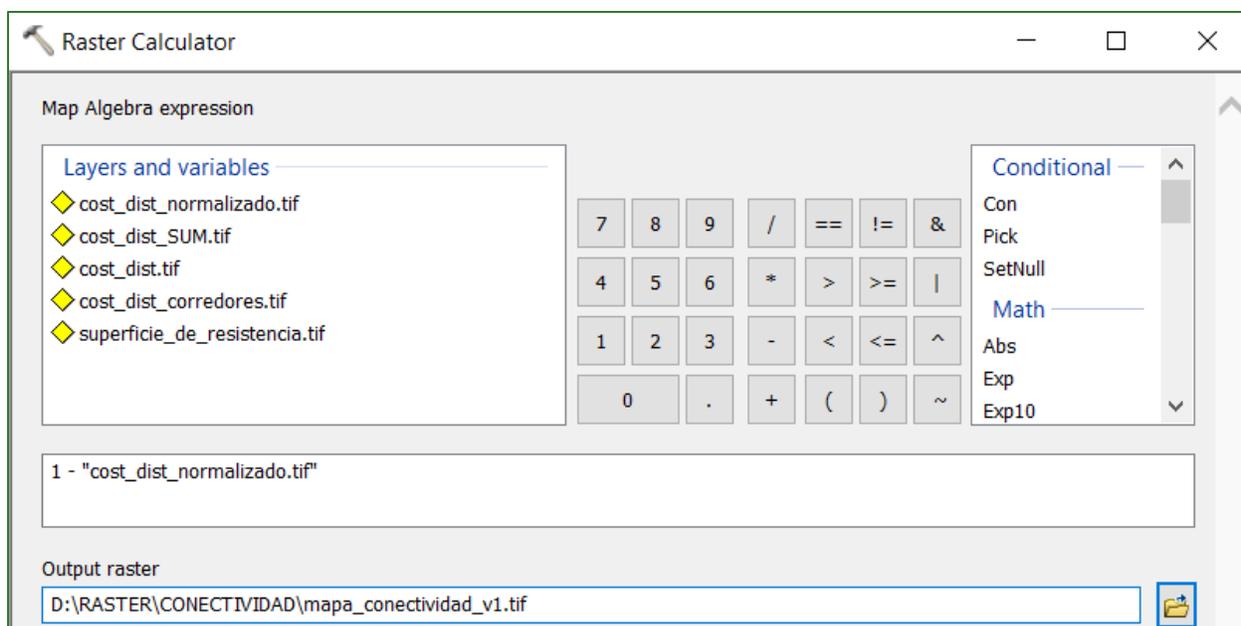
- ✓ Sumar el costo de desplazamiento hacia los parches objetivo y hacia los corredores óptimos. Para esto utilice la calculadora de ráster (Raster Calculator) y guarde el archivo con el nombre **cost_dist_SUM.tif** en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



- ✓ Normalizar los valores entre 0 y 1. Para ejecutar el proceso utilice la herramienta **“Fuzzy Membership”** que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input raster ingrese el archivo **cost_dist_SUM.tif** y al archivo de salida nómbrelo **cost_dis_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



h) Ahora toca invertir los valores del ráster normalizado generado en el paso anterior para que valores altos indiquen un mayor potencial de conectividad en paisajes fragmentados y los valores bajos un menor potencial de conectividad. Esto lo realiza utilizando el Raster Calculator y el archivo de salida nómbrelo como **mapa_conectividad_v1.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



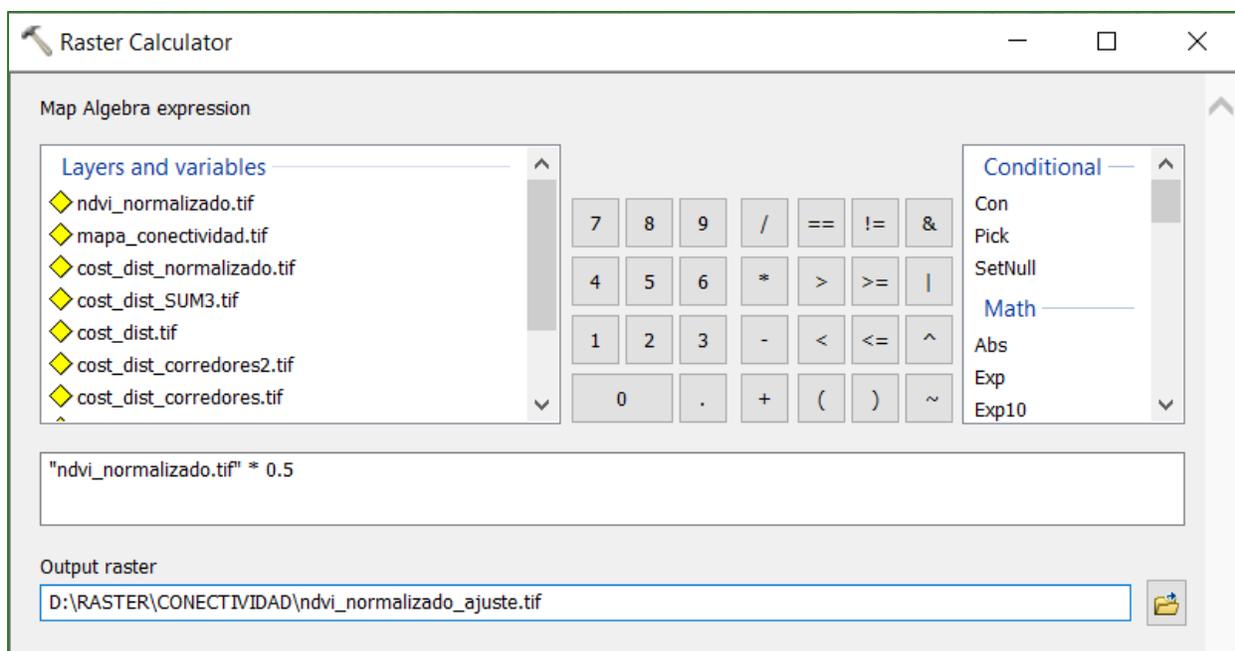
i) En el siguiente paso deberá generar un mapa de conectividad ajustado: los valores altos del índice de conectividad indica un mayor potencial de conectividad en paisajes fragmentados y los valores bajos un menor potencial de conectividad en paisajes fragmentados. En ese sentido, su definición está relacionado a “parches objetivo” que quieren conectar y el resultado son corredores que son definidas para la ruta más corta sobre la cual una especie podría desplazarse siguiendo los parches de bosque cercanos.

Para fines de línea base y su monitoreo en posteriores mediciones, se deberá considerar la conectividad respecto a los mismos parches objetivo. Por cuestiones de costo-distancia las zonas de bosques que están alejadas de los parches objetivos son clasificadas con valores de potencial de conectividad más bajo que los que están cerca. Por esta razón, se dificulta poder aplicar esta métrica para poder analizar el estado de la conectividad del paisaje completo más allá del contexto los parches objetivo.

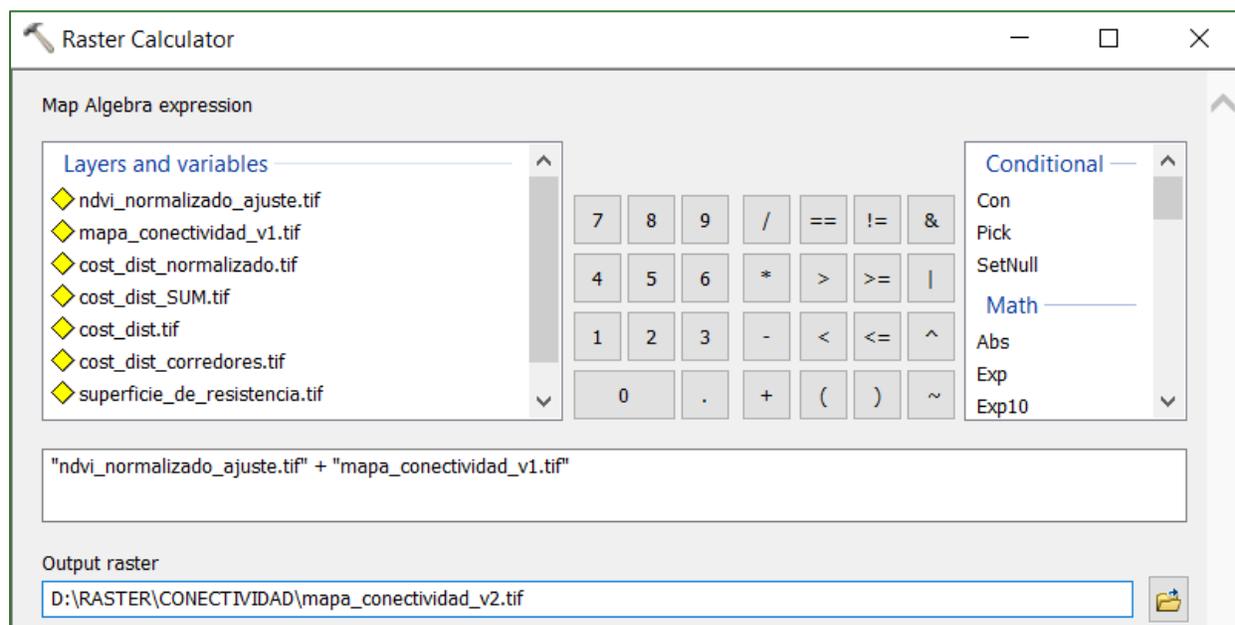
Por la razón anterior se recomienda que para fines de los cálculos nivel de paisaje, ajustar el mapa de conectividad multiplicándolo por el NDVI normalizado (entre 0 y 1) dándole un peso de 0.5. Es decir:

$$\text{Índice de Conectividad Ajustado} = \text{Mapa de conectividad} + (\text{NDVI normalizado} * 0.5)$$

Para realizar este proceso, utilice la herramienta del Raster Calculator y multiplique el ráster **ndvi_normalizado.tif** por 0.5 y el archivo de salida nómbrelo como **ndvi_normalizado_ajuste.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.

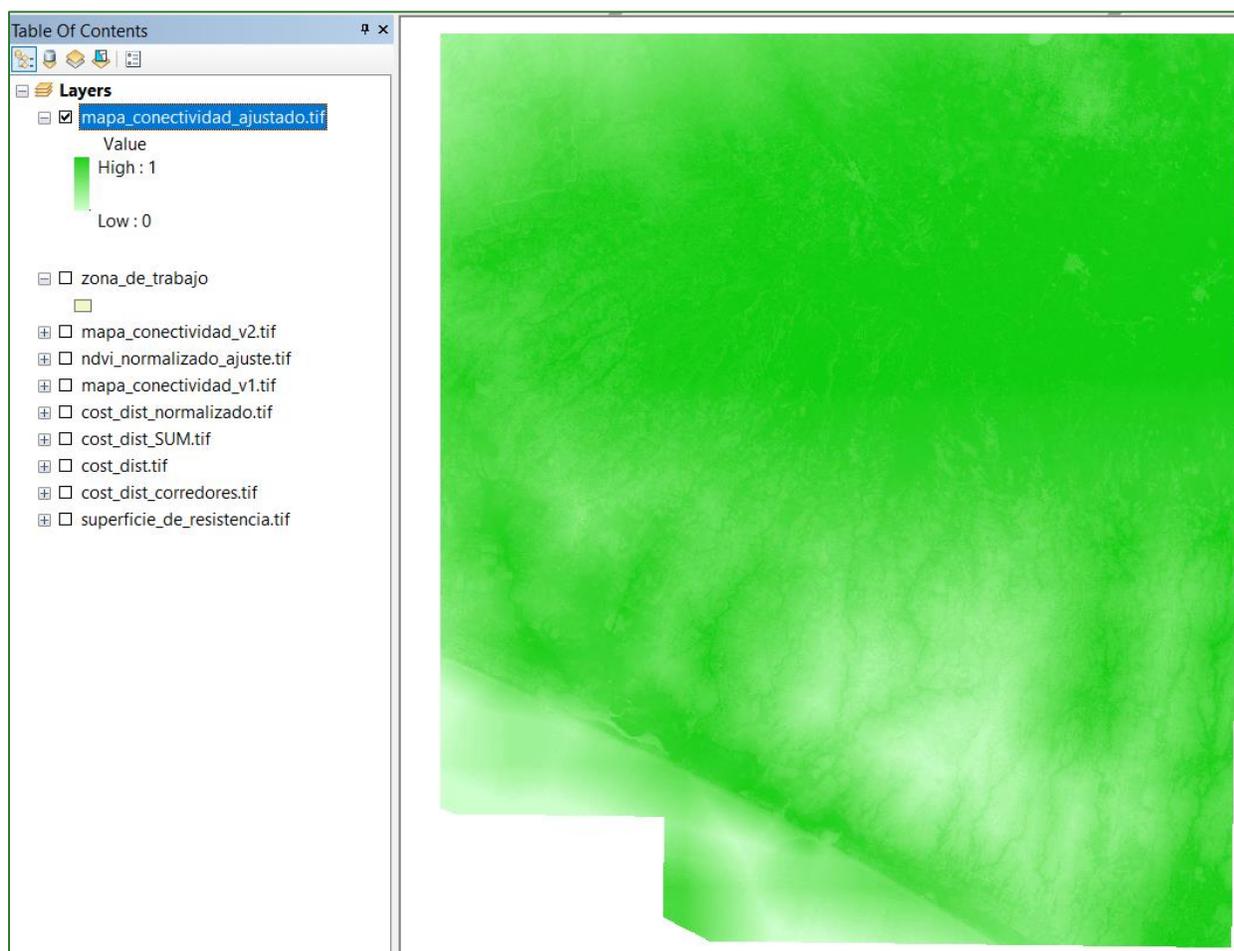


j) Ahora proceda a generar el Índice de Conectividad Ajustado utilizando la **herramienta “Raster Calculator”** y sume el ráster **mapa_conectividad_v1.tif** con el raster **ndvi_normalizado_ajuste.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **mapa_conectividad_v2.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



k) como último paso, deberá normalizar los valores entre 0 y 1 del **mapa_conectividad_v2.tif** generado en el proceso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input raster ingrese el archivo **mapa_conectividad_v2.tif** y al archivo de salida nómbrelo **mapa_conectividad_ajustado.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.

El resultado del mapa de conectividad se vería como se muestra a continuación:



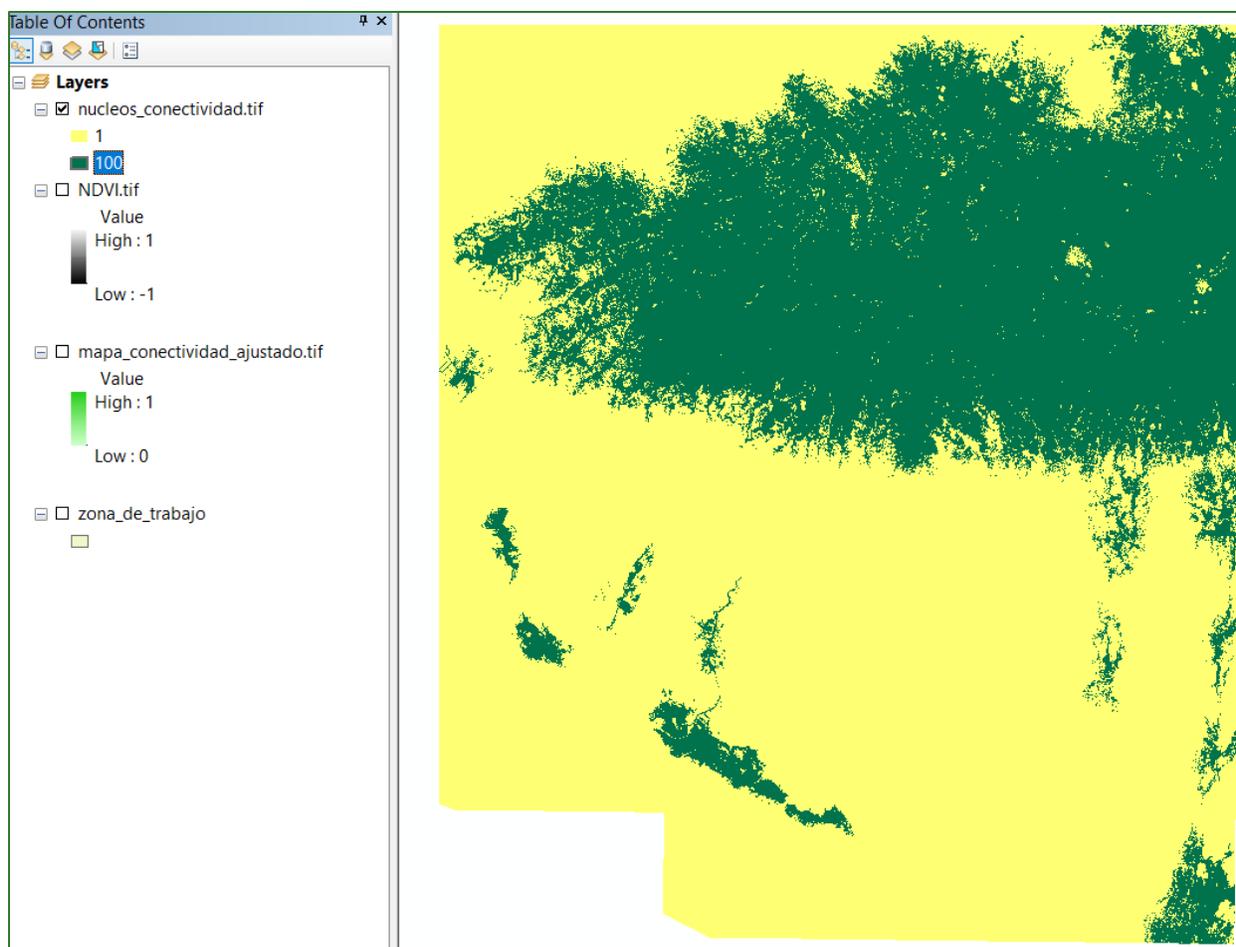
Paso 3. Índice de conectancia

En el tercer paso procederá a obtener una métrica que mide el grado de conexión física entre los fragmentos de cada tipo de cobertura, como indicador indirecto de la conectividad espacial. Para ello se calculará el Índice de Conectancia incorporado en el software FRAGSTATS5 el cual está definido por el número de enlaces funcionales entre fragmentos de la misma clase donde cada fragmento está conectado o no, basado en un criterio de distancia (MGarigal et al., 2002 Kindlmann y Burel, 2008). Este cálculo en FRAGSTATS corresponde a la métrica (de clase) CONNECT la cual arroja valores en porcentaje entre 0 y 100, y es igual a 0 cuando la clase consiste en un solo fragmento aislado o ninguno de los fragmentos está conectado, y es igual a 100 cuando todos los fragmentos de la clase están conectados.

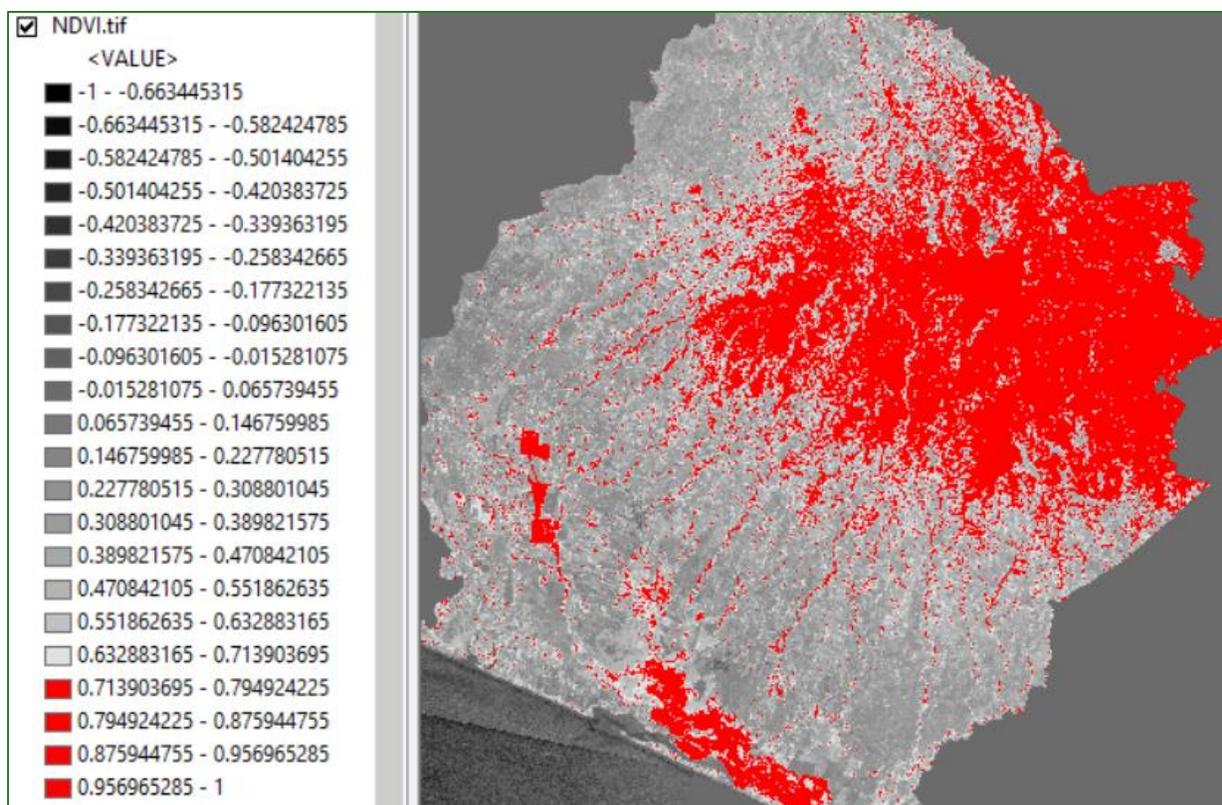
Para realizar este proceso, siga las siguientes indicaciones:

- Cree dentro de la carpeta **RASTER** una carpeta con el nombre **Ajuste_Final_Conectividad**. Todos los archivos generados en este ejercicio los guardará en esta carpeta.
- Agregue a ArcMap los ráster **indice_conectividad_ajustado.tif** y **NDVI.tif**.
- Use la herramienta condicional “**Con**” para asignar el valor de 100 a los píxeles > 0.9 en el ráster de **indice_conectividad_ajustado.tif** y el valor de 1 a los < 0.9 guárdelo con el nombre **nucleos_conectividad.tif** en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.

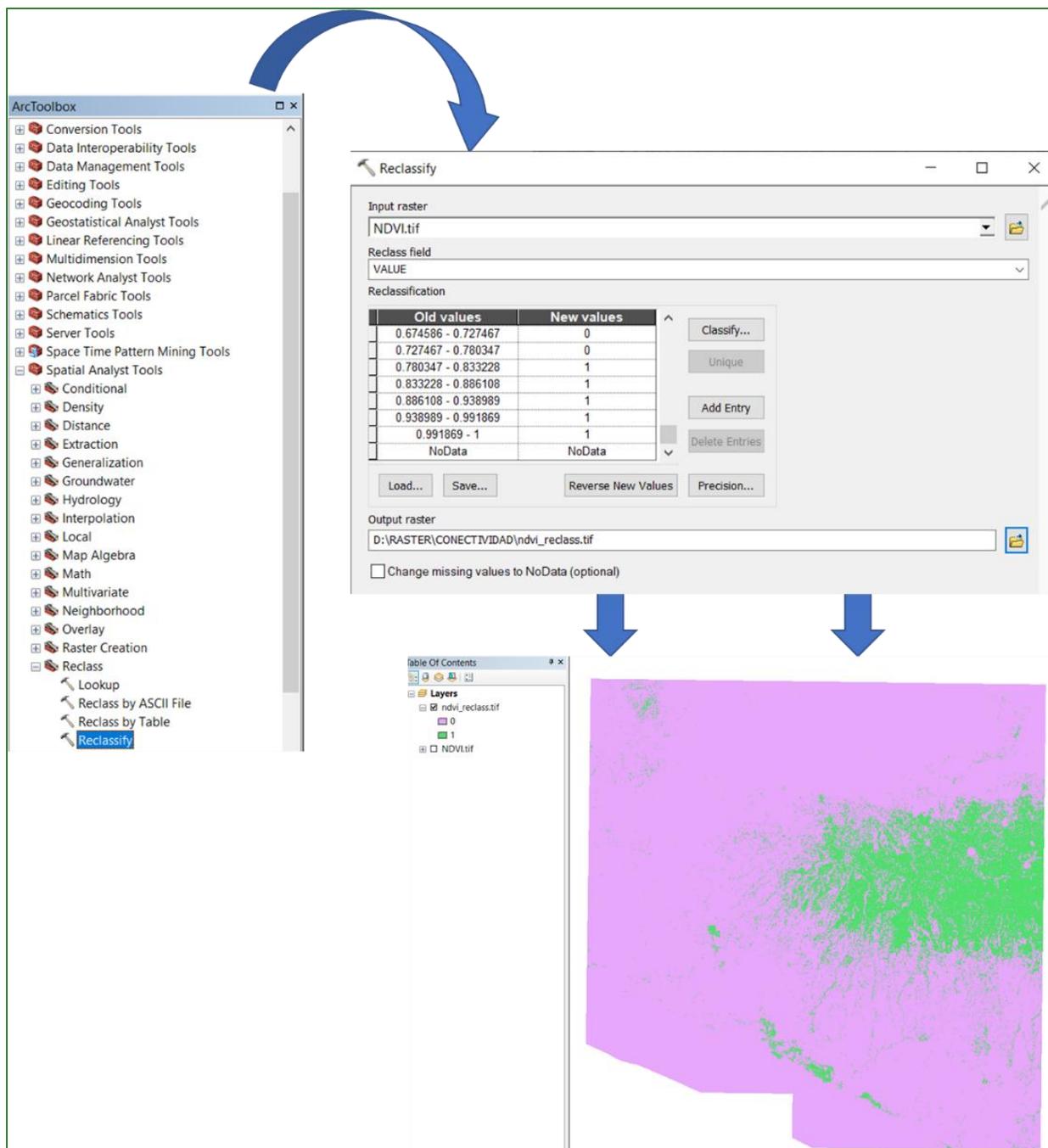
⁵ FRAGSTATS: <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>



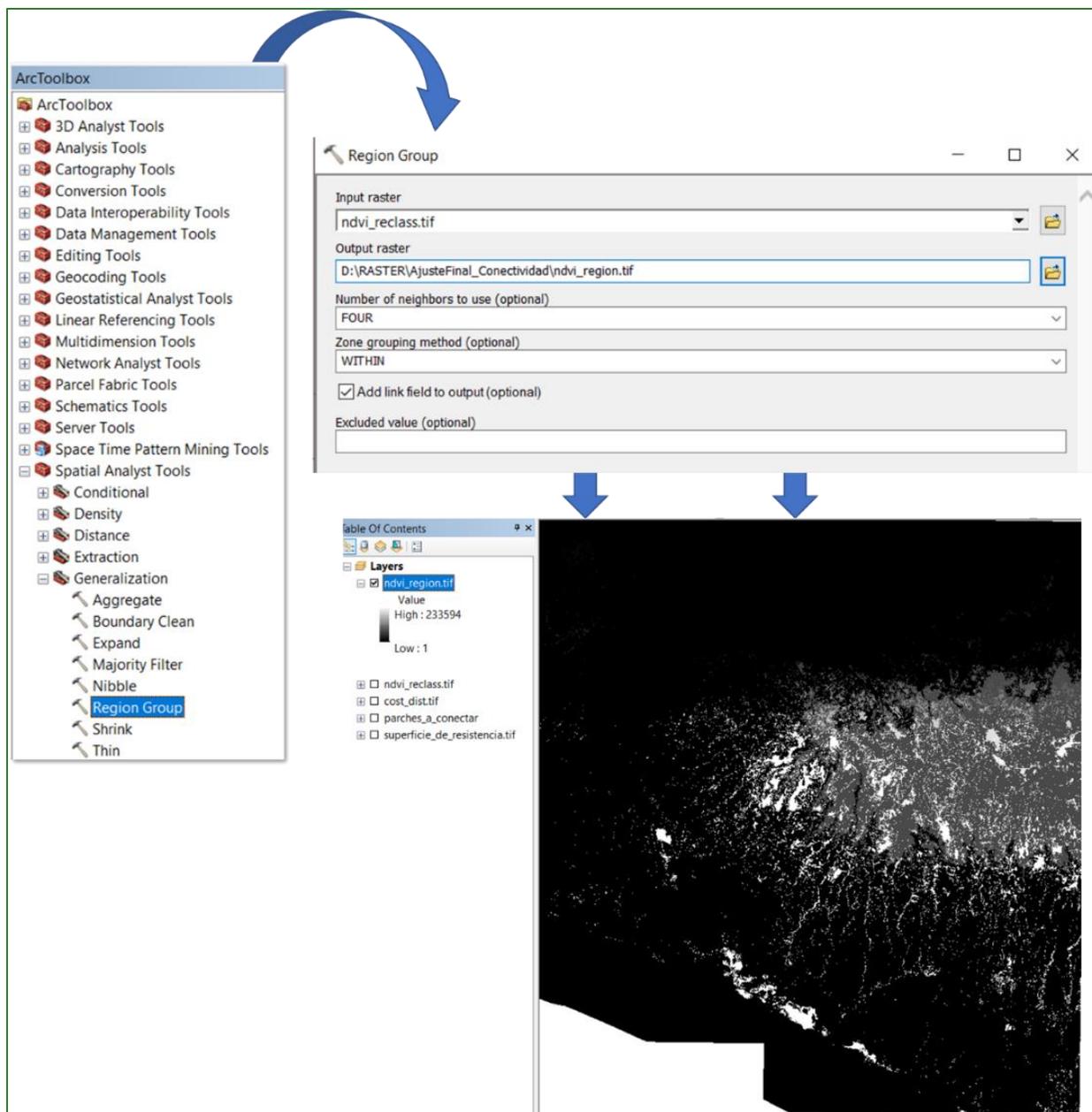
- Utilice el NDVI para generar un ráster de niveles de fragmentación, siga los siguientes pasos:
 - Reclasifique visualmente el NDVI.tif usando la opción de 1/4 StdDev con el método de desviación estándar y observe los últimos rangos de clase para definir el umbral en donde las mayores masas de vegetación continua aparecen.



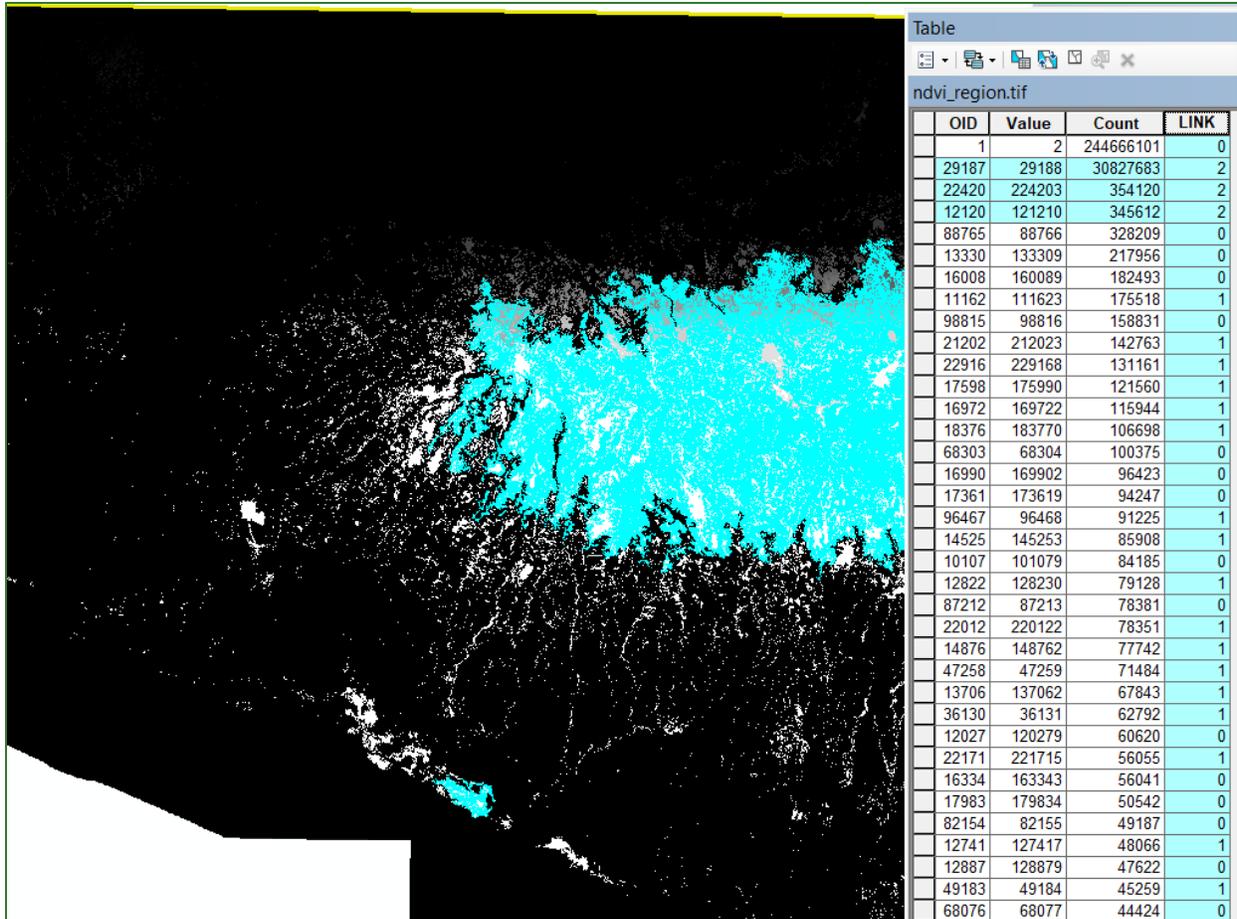
- Reclassifique le NDVI, asignando “0” a los valores menores al umbral definido y 1 a los mayores al umbral definido. Al archivo de salida asígnele con el nombre **ndvi_reclass.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



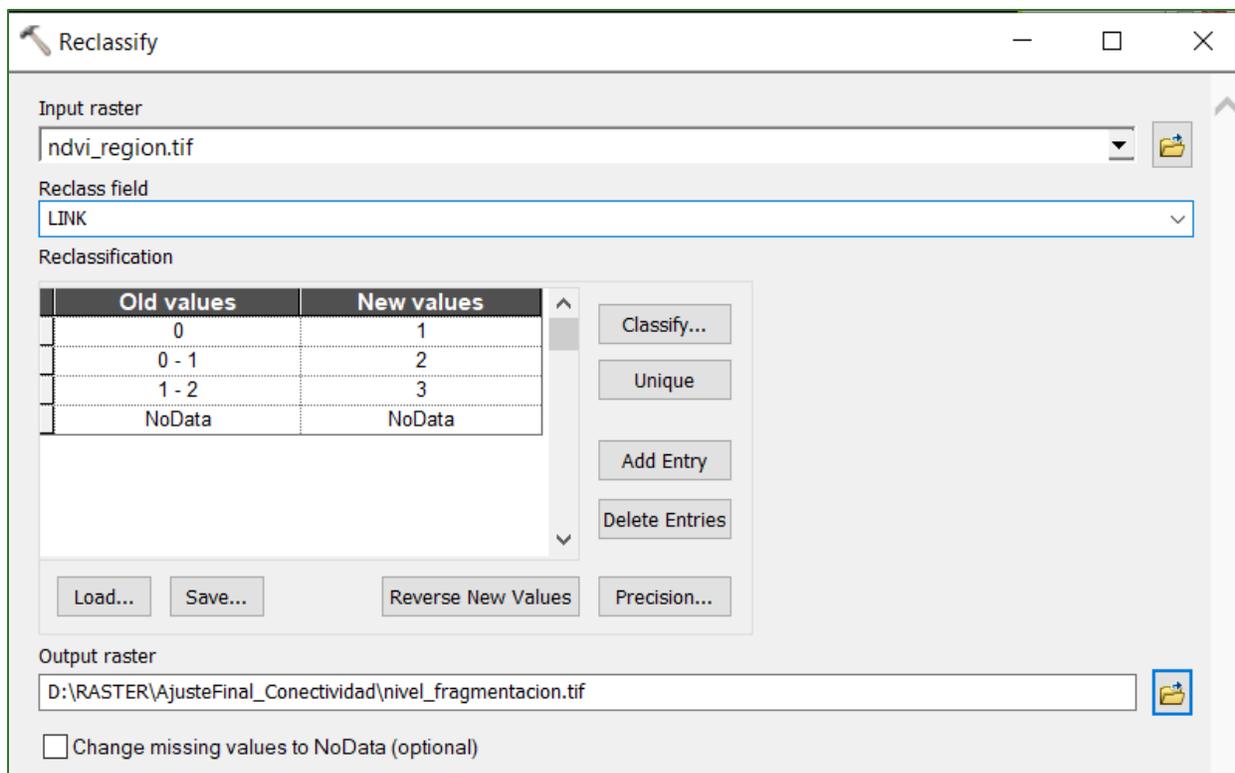
- Al ráster resultante **ndvi_reclass.tif** aplíquese la herramienta de **“Region Group”** ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst/Generalization/Region Group**. Al archivo de salida asígnele el nombre **ndvi_region.tif** y almacénelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



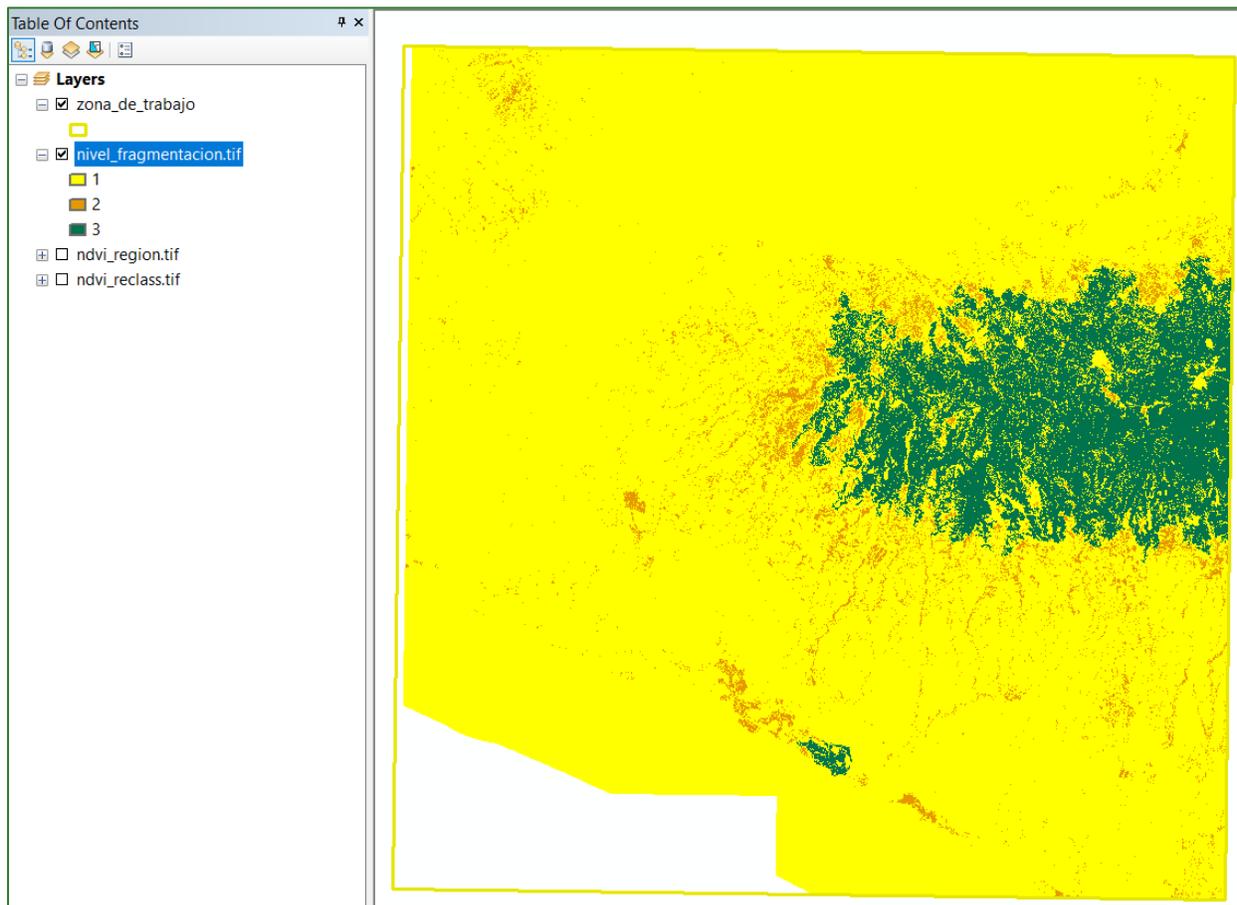
- Abra la tabla de atributos de las ráster **ndvi_region.tif** y realice los siguiente:
 - i. Ordene de mayor a menor los valores del campo Count.
 - ii. Seleccione las filas correspondientes al valor 1 en el campo LINK. El número de filas a seleccionar será el que Usted considera que correspondan a los grandes parches continuos de bosque. A los registros seleccionados asígneles el valor de 2 en el campo Count. Finalmente deshaga la selección.



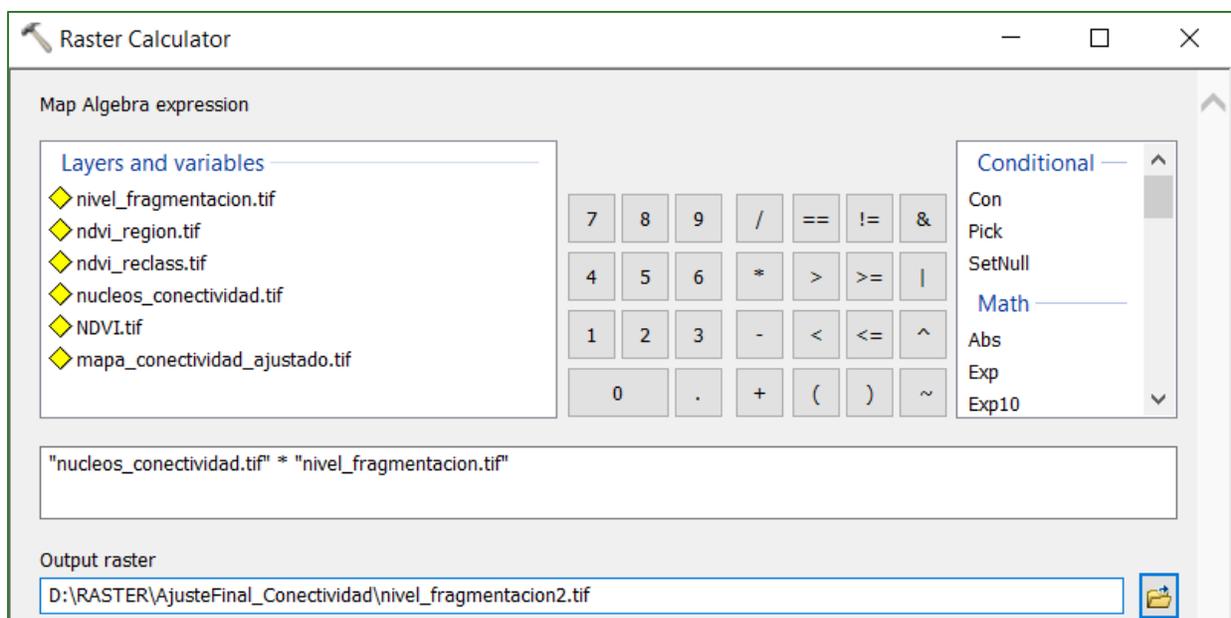
- Reclasifique **ndvi_region.tif** asignando los valores que se indican a continuación. Al archivo de salida asígnele con el nombre **nivel_fragmentación.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



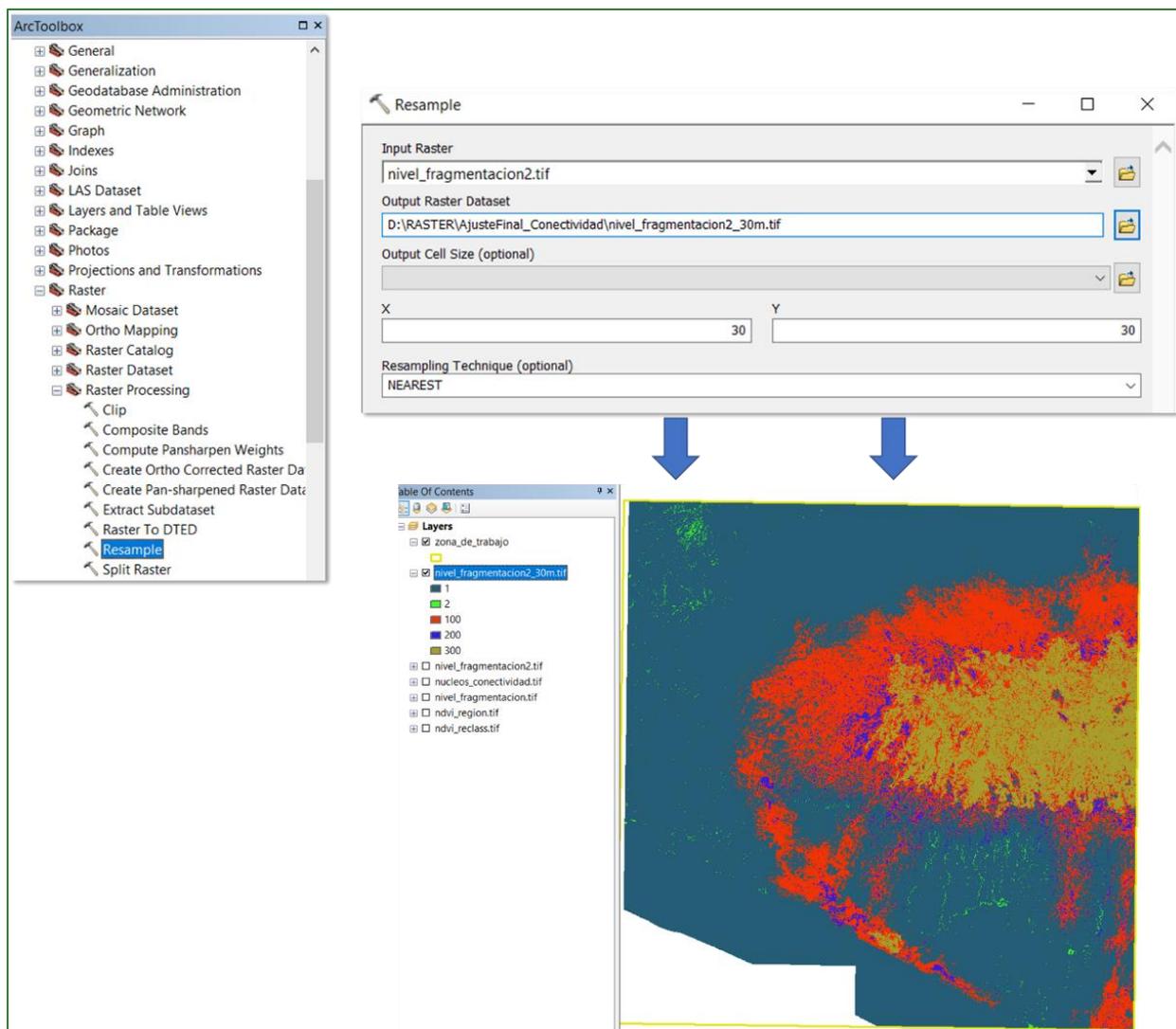
El resultado de este paso se muestra a continuación:



Con el Raster Calculator, multiplique **nucleos_conectividad.tif** con **nivel_fragmentación.tif**. Al archivo de salida asígnele con el nombre **nivel_fragmentación2.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



- Finalmente haga un resample de **nivel_fragmentación2.tif** llevando el ráster a 30 m. Para esto, utilice la herramienta llamada **“resample”** que se encuentra ubicada en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Processing/Resample**. Al archivo de salida asígnele con el nombre **nivel_fragmentación2_30m.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



Paso 4. Índice de fragmentación

- Descargue e instale el software Fragstats:

https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloads.html#FRAGSTATS

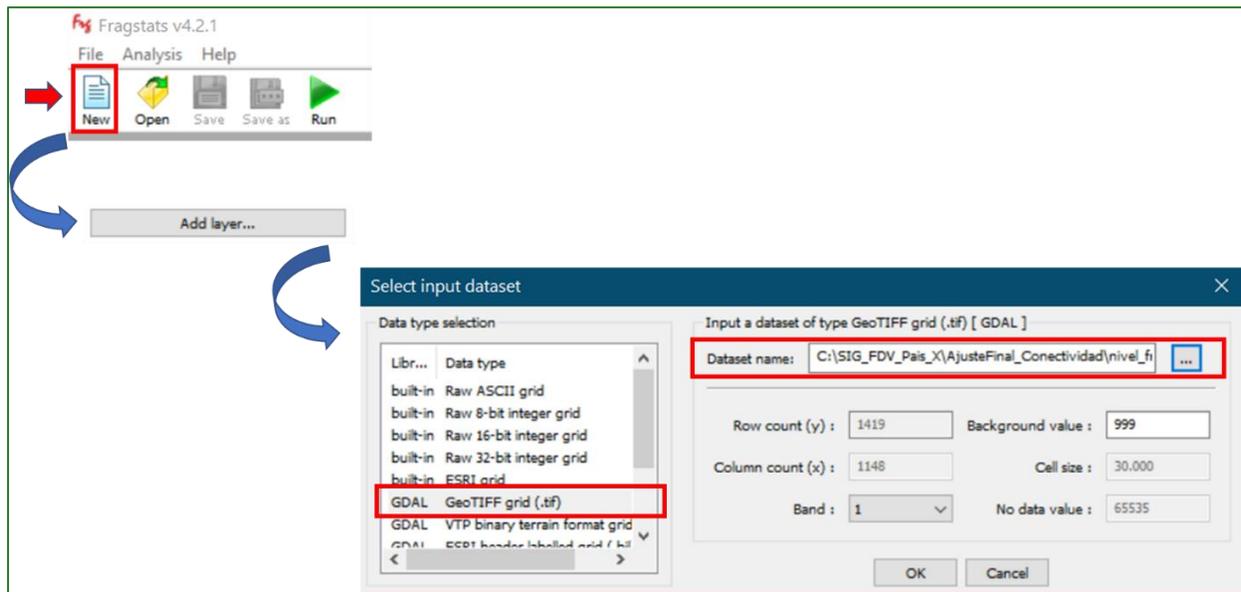
FRAGSTATS software (version 4.2)

File: [fragstats4.2.zip](#)

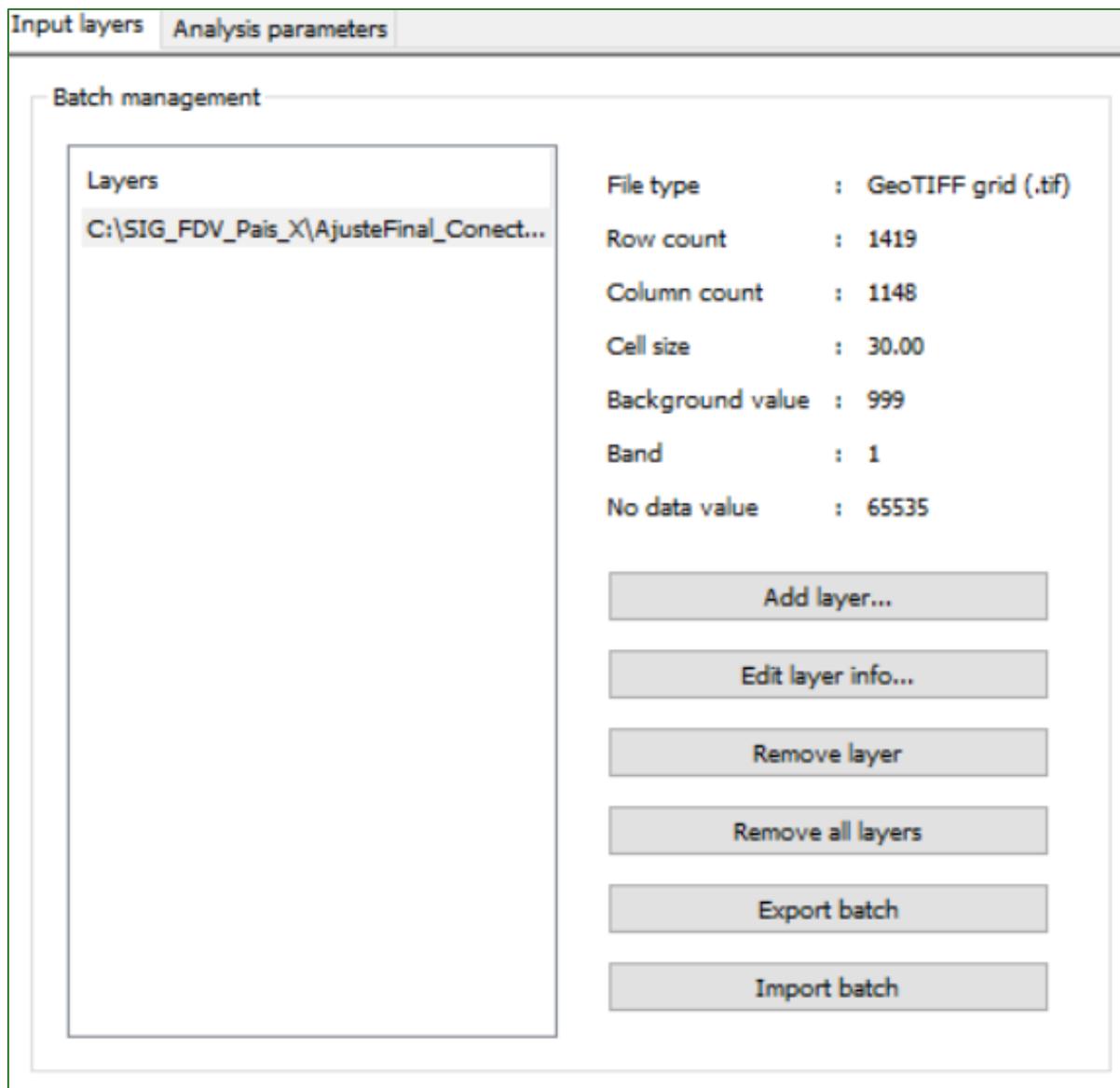
- Abra Fragstats



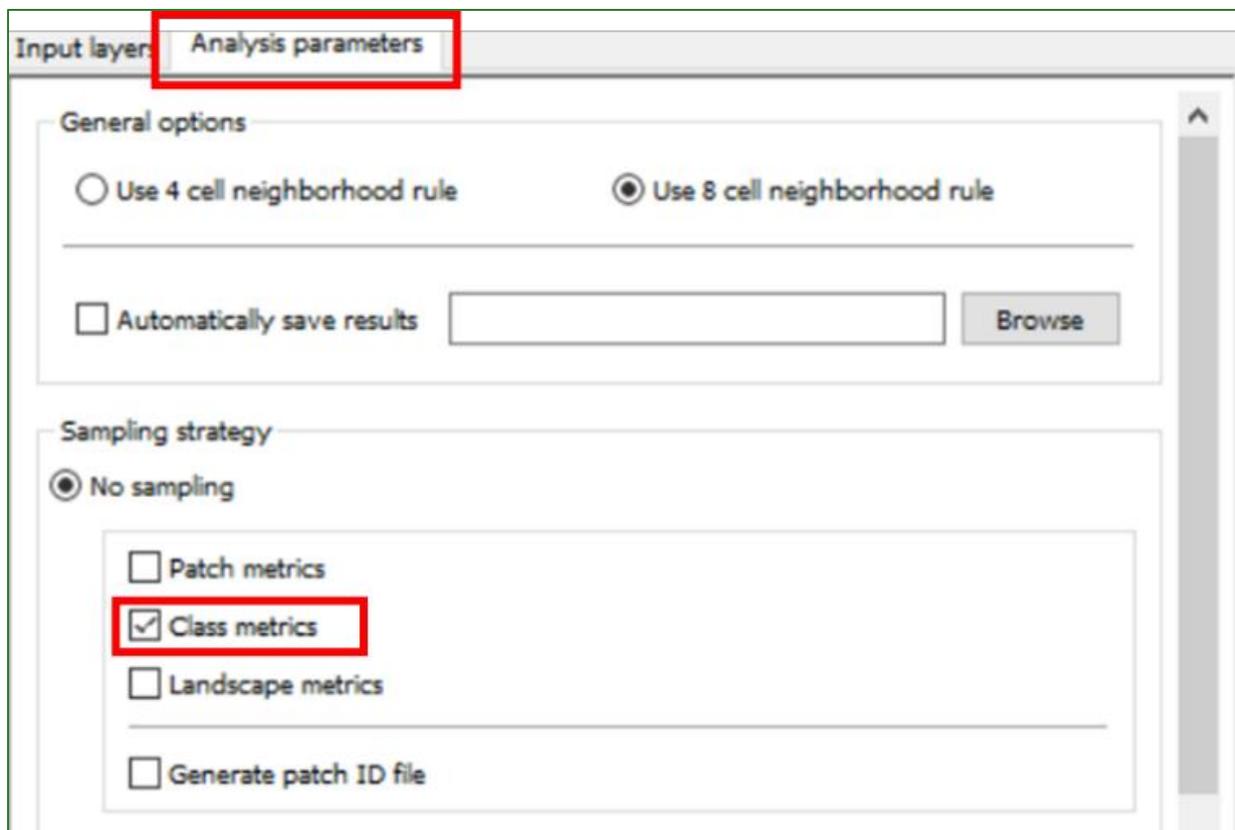
- Haga clic en New, luego en Add layer. En la ventana que aparece seleccione en Data type: **GDAL GeoTIFF** y en Input dataset agregue el archivo **nivel_fragmentación2_30m.tif**.



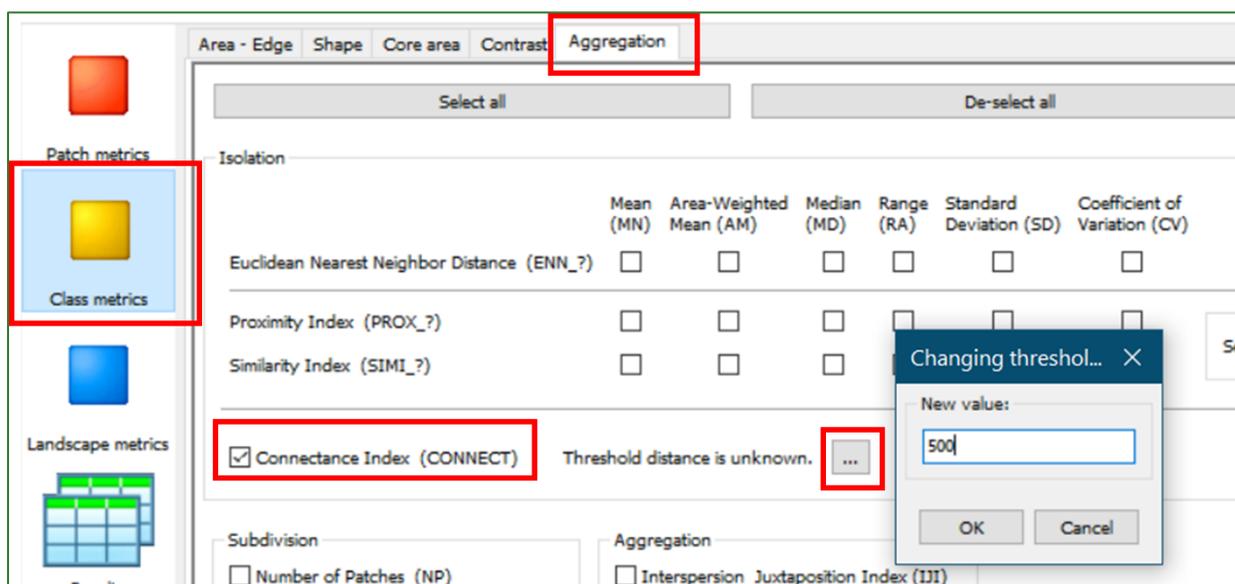
- Seleccione el Layer **nivel_fragmentación2_30m.tif** y aparecerán los valores que lo describen:



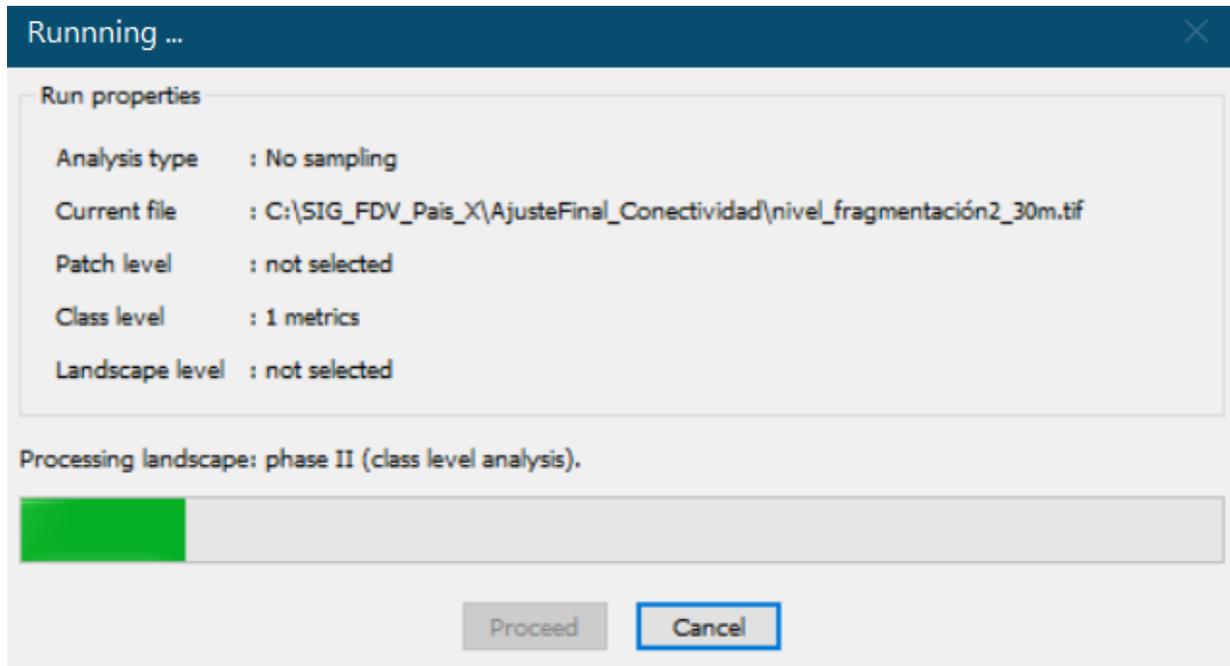
- Luego cambie a la pestaña **Analysis parameters** y seleccione la opción **Class metrics**.



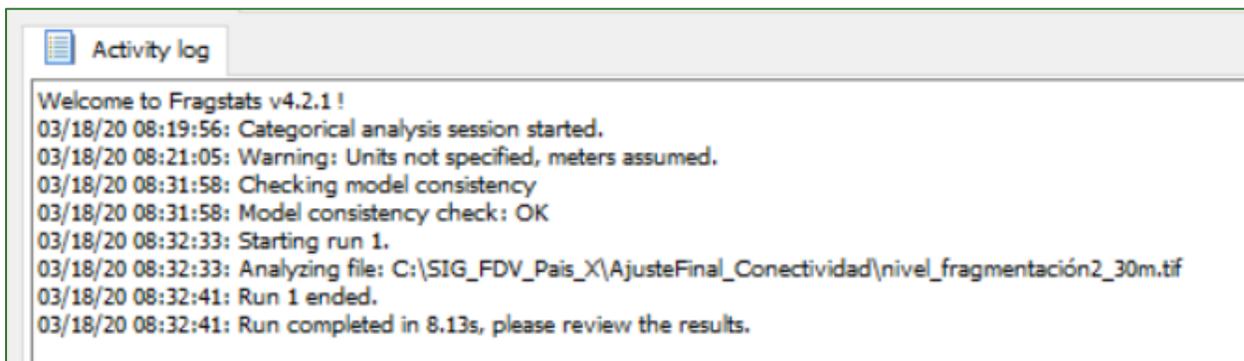
- En la pantalla de la derecha seleccione el **botón cuadrado amarillo de Class metrics** y luego vaya a la pestaña **Aggregation**. Ahí seleccione la opción **Connectance Index (CONNECT)** y en **Threshold distance** selecciones los 3 puntos ... y escriba 500.



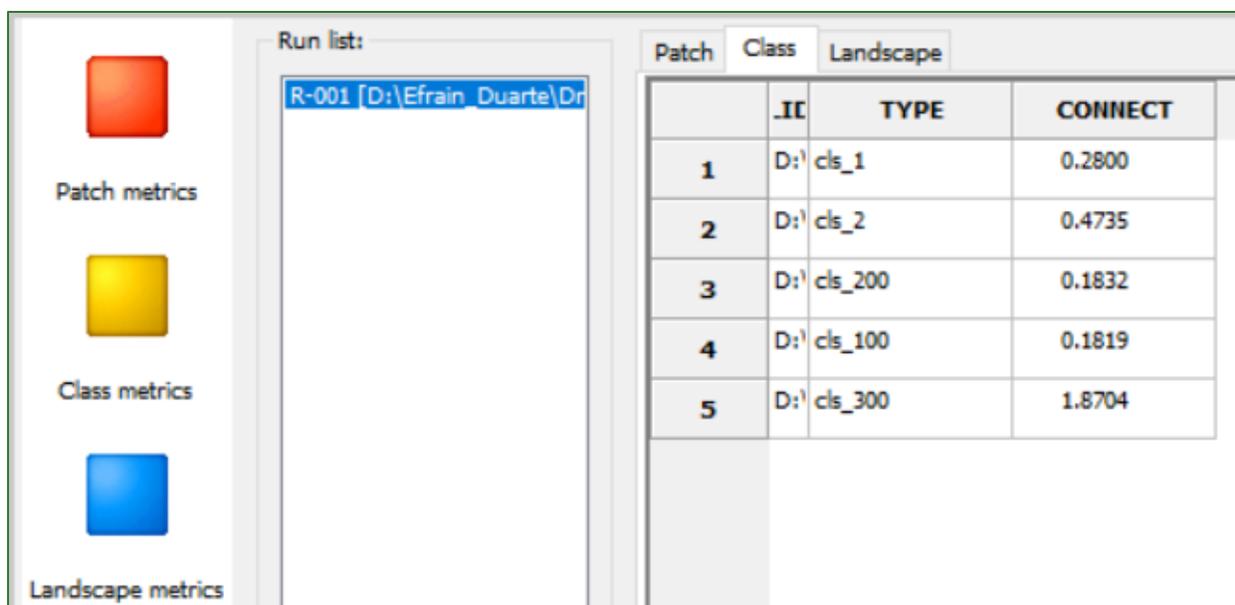
- En el menú superior Haga clic en **Run** y en la ventana que aparece haga clic en **Proceed**.



- Al finalizar en la ventana de Activity log debería de aparecer en la última línea el mensaje **Run completed**.



- Vaya al menú de **Result**, seleccione el archivo de la **Run list** y luego a la pestaña **Class**.



- Vaya a ArcMap y abra la tabla de atributos del ráster **nivel_fragmentación2.tif** que se encuentra en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad** (no el de 30 m) y agregue un campo de tipo numérico **"IndexCon"**. Luego a la clase 1 asígnele el valor de 0.01 y para las demás clases escriba los valores correspondientes calculados en Fragstats.

Table

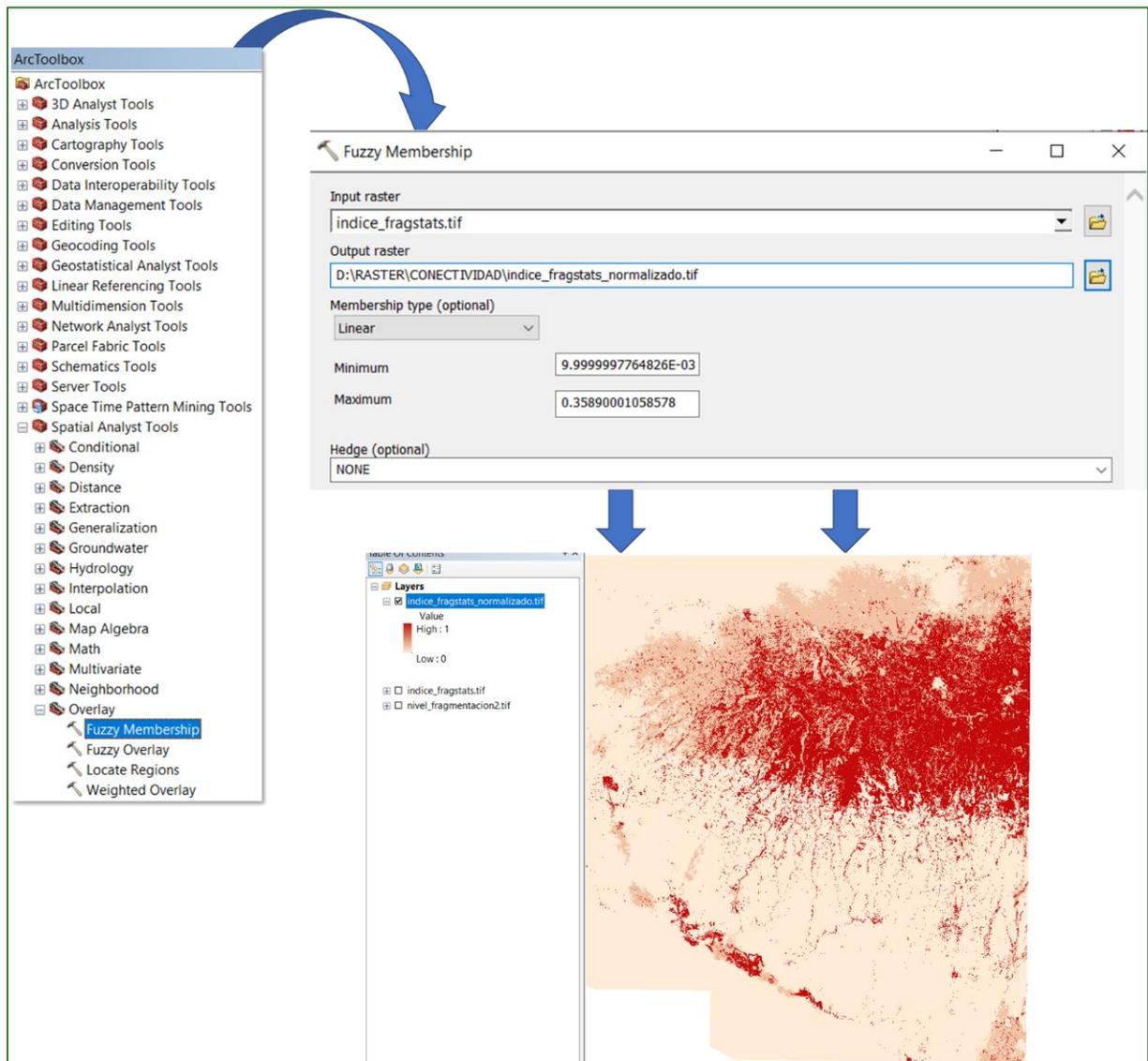
nivel_fragmentacion2.tif

OID	Value	Count	IndexCon
0	1	192379228	0.01
1	2	1181459	0.4735
2	100	59668573	0.1819
3	200	8435366	0.1832
4	300	31526215	1.8704

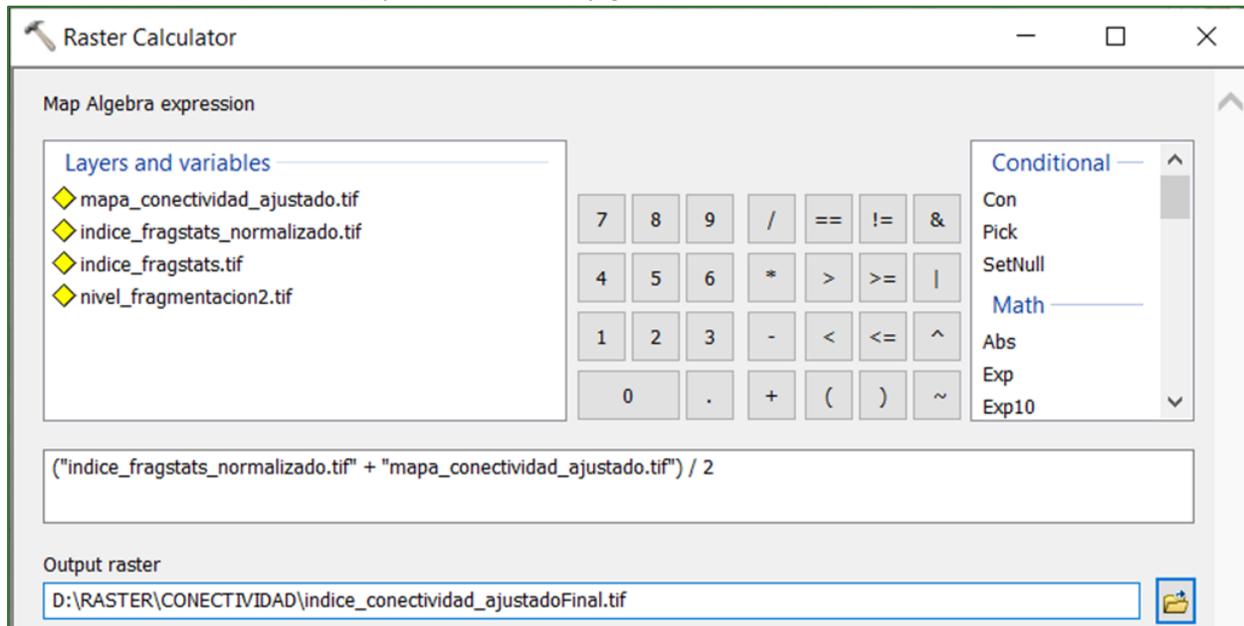
- Utilice la herramienta Reclass/Lookup para pasar los valores de IndexCon a un nuevo ráster con el nombre **indice_fragstats.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/AjusteFinal_Conectividad**.



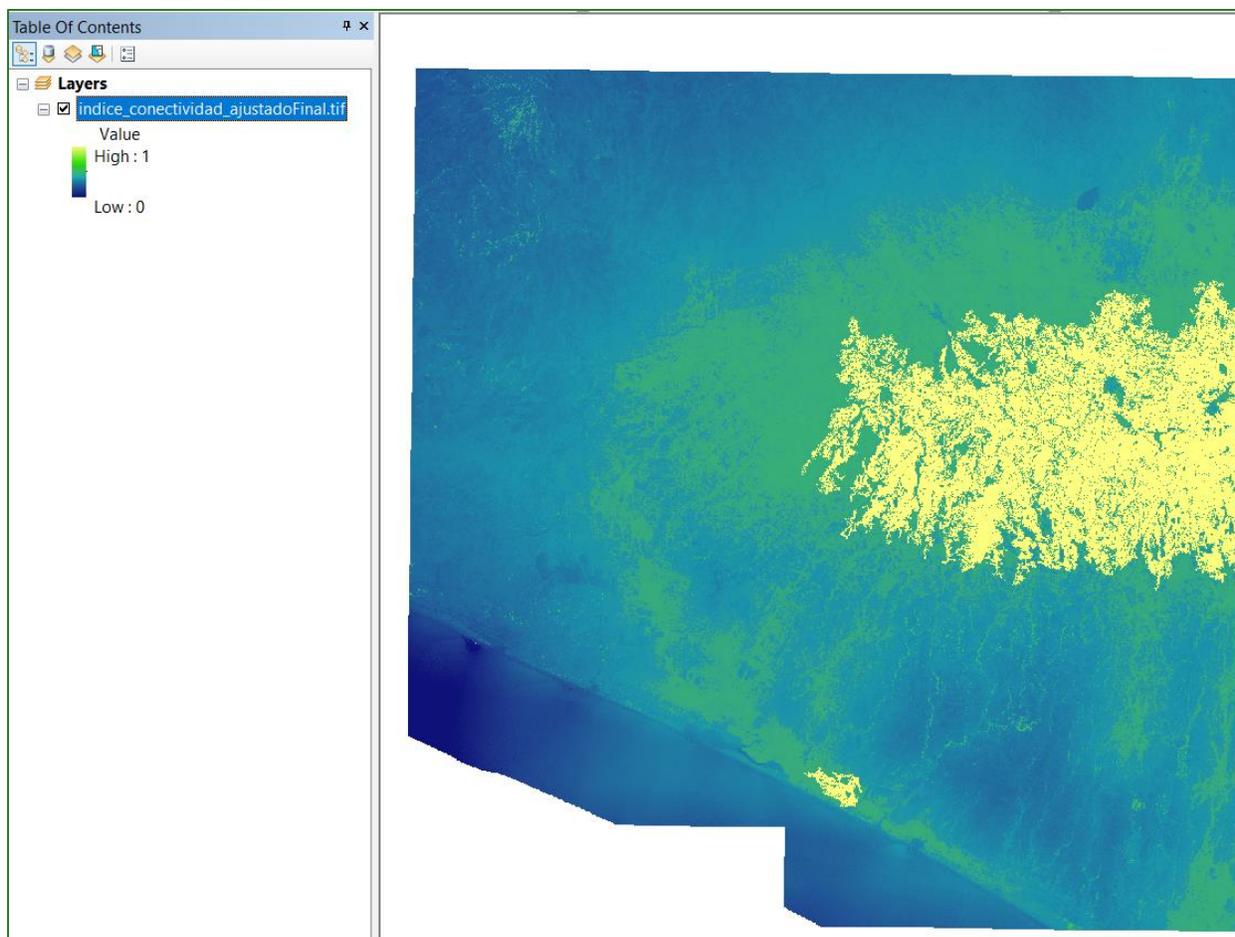
- Aplique Fuzzy Membership para estandarizar el índice de conectividad calculado en Fragstats **indice_fragstats.tif**. Al archivo de salida asigne el nombre de **indice_fragstats_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



- Calcule un promedio que resulte entre el **mapa_conectividad_ajustado.tif** y el **indice_fragstats_normalizado.tif**. Este será el resultado final y asígnele el nombre **indice_conectividad_ajustadoFinal.tif** y guárdelo en la carpeta **RASTER/CONECTIVIDAD**.



El resultado se muestra a continuación: los colores amarillos y verdes representan una conectividad alta (presencia de vegetación) y los colores azules representan una conectividad baja (ausencia de cobertura arbórea).





Análisis integrado de datos geoespaciales

Módulo 4: Análisis integrado de datos geoespaciales

Una base de datos es una colección de elementos o datos interrelacionados que se pueden procesar por uno o más sistemas de aplicación; esta funcionalidad ayuda a evitar:

- a) Redundancia de los datos. - hay datos que deben aparecer una y solo una vez en el sistema.
- b) Pobre control de los datos. - el mismo elemento de los datos suele tener varios nombres, dependiendo del archivo en el que esté contenido.
- c) Capacidad inadecuada de manipulación de los datos. - Los archivos indexados, permiten tener un control sobre las consultas, existencia de identificadores únicos.
- d) Programación excesiva. - para hacer consultas y manipulación más rápida y eficiente.

Durante la ejecución de la presente guía metodológica se ha creado un gran volumen de datos espaciales, referentes a información temática diversa, costosa de obtener, que adecuadamente han tratado y analizado con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se puede decir, que el objetivo final de este análisis de datos es la elaboración de mapas que forman parte de una línea base biofísica para los Proyectos del Fondo de Desarrollo Verde (FDV), sin embargo, su aplicación es diversa.

Las ventajas de diseñar y trabajar con una base de datos representan:

- a) Tener datos estructurados.
- b) Tener datos y procesos de división, esto significa una mayor dependencia del dato y mayor flexibilidad de procesamiento.
- c) Integridad de los datos, esto es una consistencia de los datos, así como seguridad y protección de estos.
- d) Datos de larga vida y duración.

Debido a que el proceso conlleva la elaboración de modelo en entorno SIG, los datos poseen naturaleza numérica diversa, que van desde modelos basados en la combinación de mapas mediante reglas lógicas, aritméticas, estadísticas o probabilísticas, hasta modelos más complejos basados en algoritmos de inteligencia artificial. Debido a lo anterior y para una correcta gestión de los datos hasta aquí obtenidos, la sistematización e integración de estos se vuelve fundamental en el proceso.

Parte 16. Organización de carpeta de resultados

En su directorio de trabajo, debe crear una carpeta con el nombre RESULTADOS y dentro de ella organice todos los archivos resultantes de los pasos anteriores, según se indica a continuación:

- 01_GENERAL
- 02_CARBONO
- 03_FISIOGRAFIA
- 04_HIDROLOGIA
- 05_EROSION
- 06_CONECTIVIDAD
- 07_OTROS

01_GENERAL

- **Límites del territorio piloto**
 - lim_zona_estudio_project.shp
 - zona_de_trabajo.shp
- **Datos cartográficos base**
 - Limites_municipales.shp
 - Limites_de_aldeas.shp
 - Subcuencas_hidrograficas.shp
 - Areas_protegidas.shp
 - Areas_urbanas.shp
 - Red_hidrica.shp
 - Red_vial.shp

02_CARBONO

- **Cobertura arbórea por tipo y otros usos de suelo**
 - cobertura_project.tif
- **Carbono forestal**
 - mapa_carbono

03_FISIOGRAFIA

- **Topografía**
 - MDT_Corregido.tif
 - Hillshade.tif
 - pendiente_grados.tif
 - pendiente_porcentaje.tif
- **Hidrografía**

- microcuencas_orden_7.tif
- microcuencas_orden_7.shp
- microcuencas_orden_9.tif
- microcuencas_orden_9.shp

- **Geoformas**

- Curvatura.tif
- Pendiente_porcentaje_reclass.tif
- MDT_Corregido_reclass.tif
- geoforma_combina.tif
- curvatura_reclass.tif
- Region_mic_curva.tif.

04_HIDROLOGIA

- **Clima**

- malla_base_ETP.shp
- malla_base_LLUVIA.shp
- malla_base_TEMP.shp
- malla_base_RADSOLAR.shp
-

- **Factores infiltración**

- Factor_KP.tif
- Factor_KV.tif
- Factor_KFC_ajustado.tif
-

- **Infiltración**

- BHC_anual_mm.tif
- Infiltracion_anual_mm.tif
- Infiltracion_anual_m3.tif
- Coeficiente_ETP_cultivo.tif
- Coeficiente_Infiltracion.tif
-

05_EROSIÓN

- **Factores**

- Sand_por.tif
- Silt_por.tif
- Clay_por.tif
- Orgcarb_por.tif
- Factor_K_ajustado.tif
- Factor_LS.tif
- Factor_C_ajustado2.tif

- **Erosión**

- EROSION.tif

06_CONECTIVIDAD

- NDVI.tif
- parches_a_conectar.shp
- superficie_de_resistencia.tif
- Corredor_principal.shp
- Corredores_vecinos.shp
- Indice_conectividad_ajustadoFinal.tif

7_OTROS

- **Tabla de factores de carbono**

- Factores carbono.xlsx
- forest_edge_carbon_lu_table.csv
- join_clasesderelieve.csv
- Balance Hídrico Climático.csv
- Join_TexturaSuelo.



Módulo 5: Análisis integrado del paisaje

Módulo 5: Análisis integrado del paisaje

El espacio geográfico es un conjunto dinámico formado por estructuras espaciales móviles en el tiempo y en el espacio. La porción visible de este complejo constituye el paisaje geográfico. Así, podemos definir al paisaje como una porción del espacio caracterizado por un tipo de combinación dinámica de elementos geográficos diferenciados.

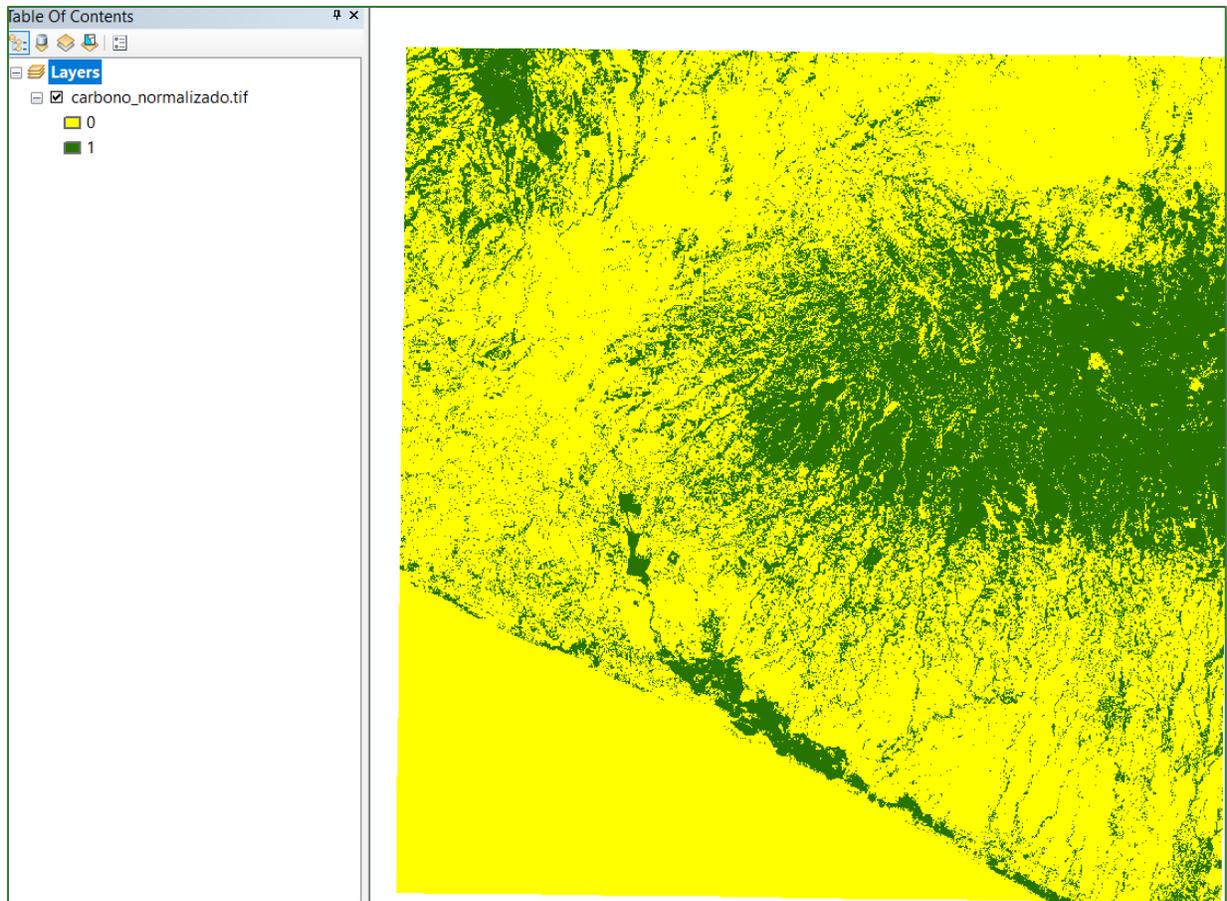
El Análisis Integrado de Paisajes tiene como objeto la definición del contenido estructural y funcional de los diversos componentes físicos, bióticos y antrópicos del área considerados por separado. La integración de los datos comenzará con los componentes como el clima, seguido por la hidrología y el relieve. Seguidamente se integran variables bióticas como la vegetación y los suelos. Con base a la línea base biofísica compuestas por variables como carbono, infiltración, erosión de suelo y conectividad de paisaje, realizaremos una serie de procesos geográficos con el cual se buscará obtener un índice integrado del paisaje para el área objeto de estudio.

Parte 17. Análisis integrado del paisaje: integración de Stock de Servicios Ecosistémicos

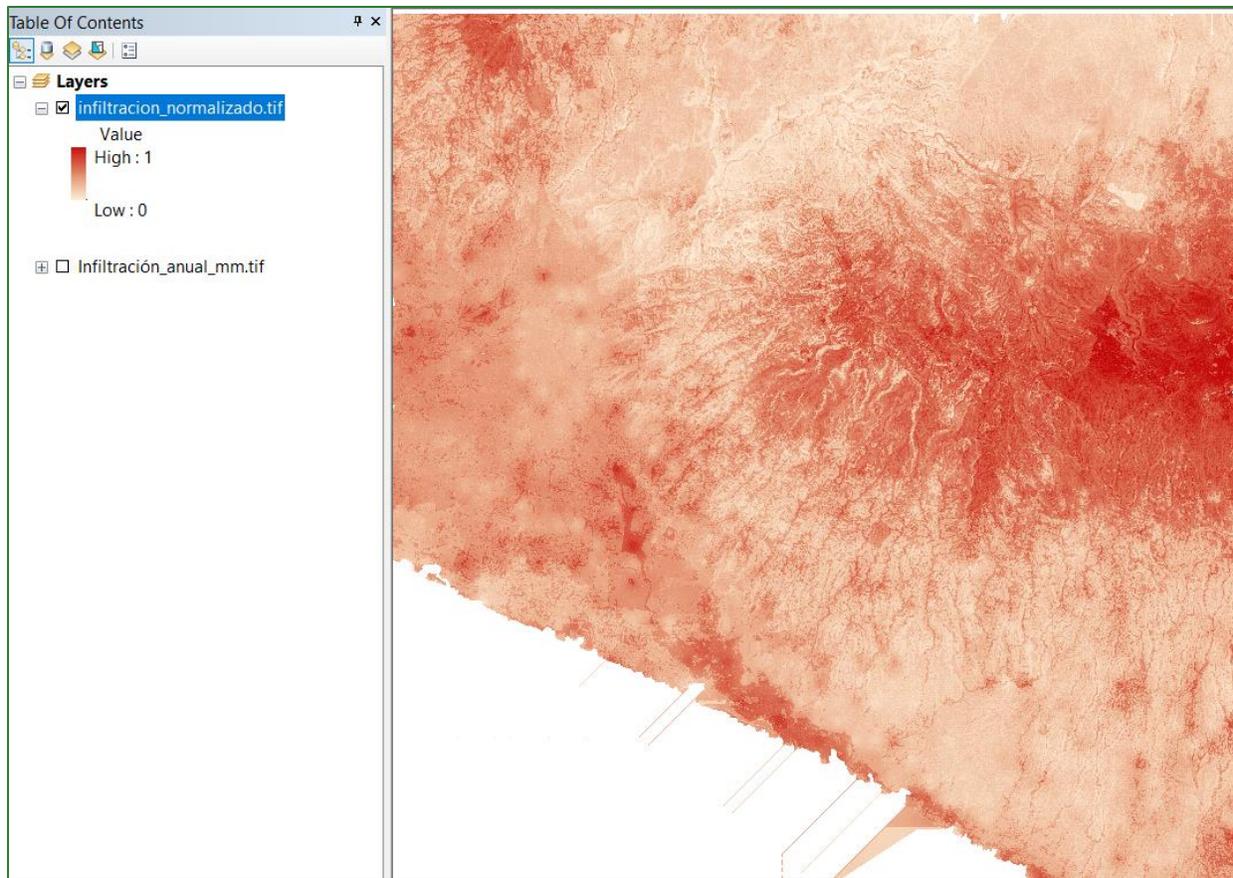
- Genere un índice integrado usando como datos de entrada los diferentes ráster de servicios ecosistémicos generado. Siga los siguientes pasos:
- Normalice los valores del índice entre 0 – 1. Considere los siguiente:

Sub-Índices	Descripción
Carbono	0 es menor y 1 es mayor stock de carbono
Infiltración	0 es menor y 1 es mayor infiltración
Erosión	0 es mayor y 1 es menor erosión
Conectividad	0 es menor y 1 es mayor conectividad

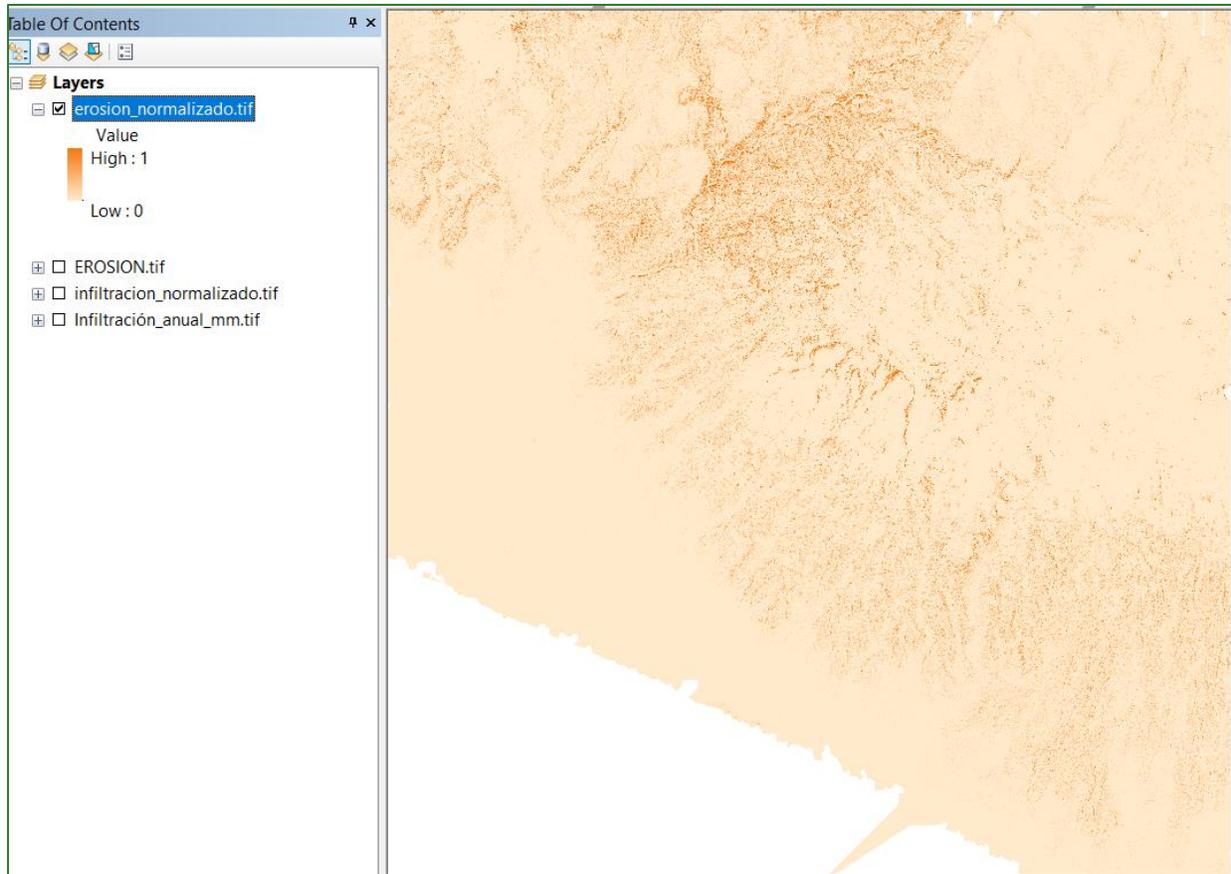
- a) Primero, convertir el **mapa_carbono.tif** a valores normalizado entre 0-1 utilizando la herramienta Fuzzy Membership, nombre el archivo como **carbono_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**, para ejecutar el proceso utilice la herramienta “**Fuzzy Membership**” que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**.



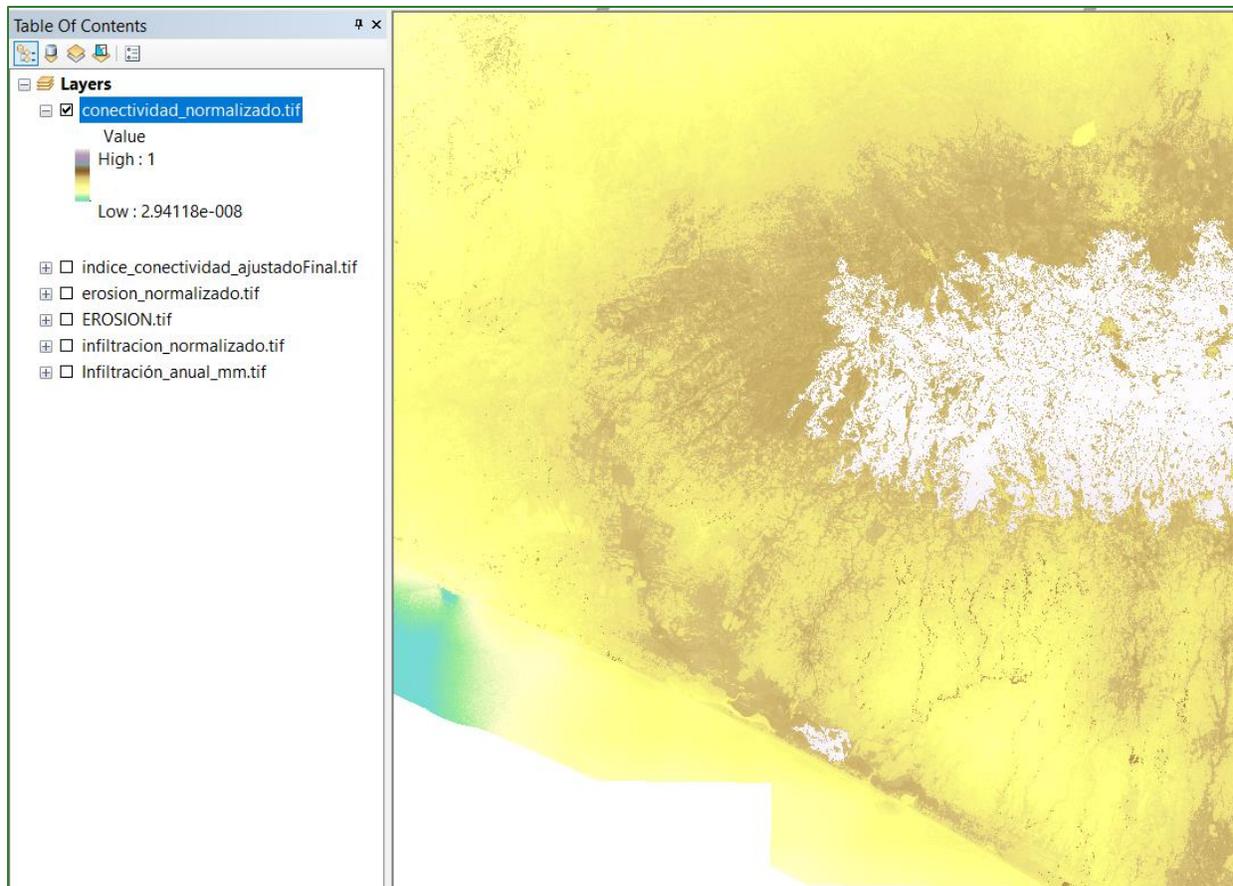
- b) Segundo, convertir el ráster **infiltración anual mm.tif** a valores normalizado entre 0-1 utilizando la herramienta Fuzzy Membership, nombre el archivo como **infiltracion_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**, para ejecutar el proceso utilice la herramienta “**Fuzzy Membership**” que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**.



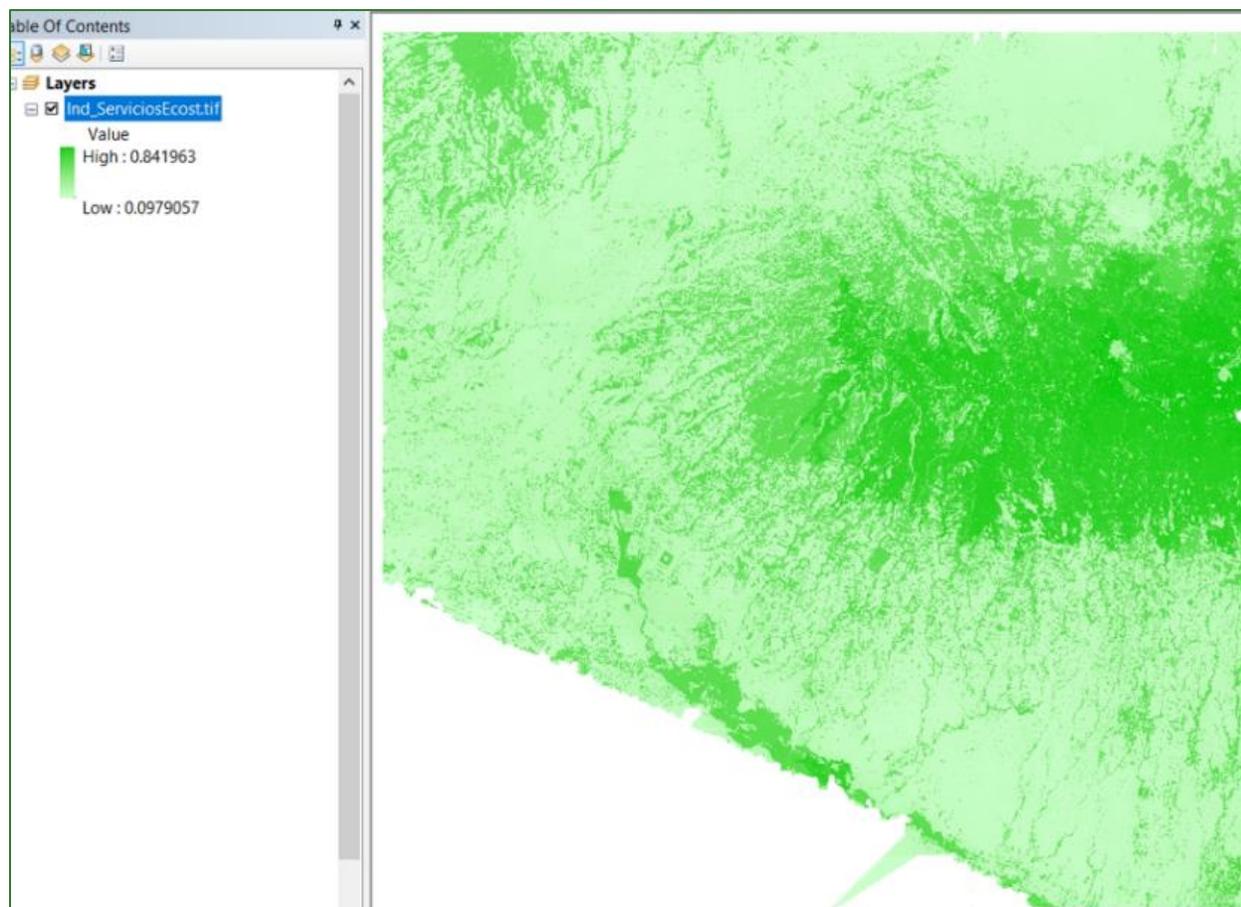
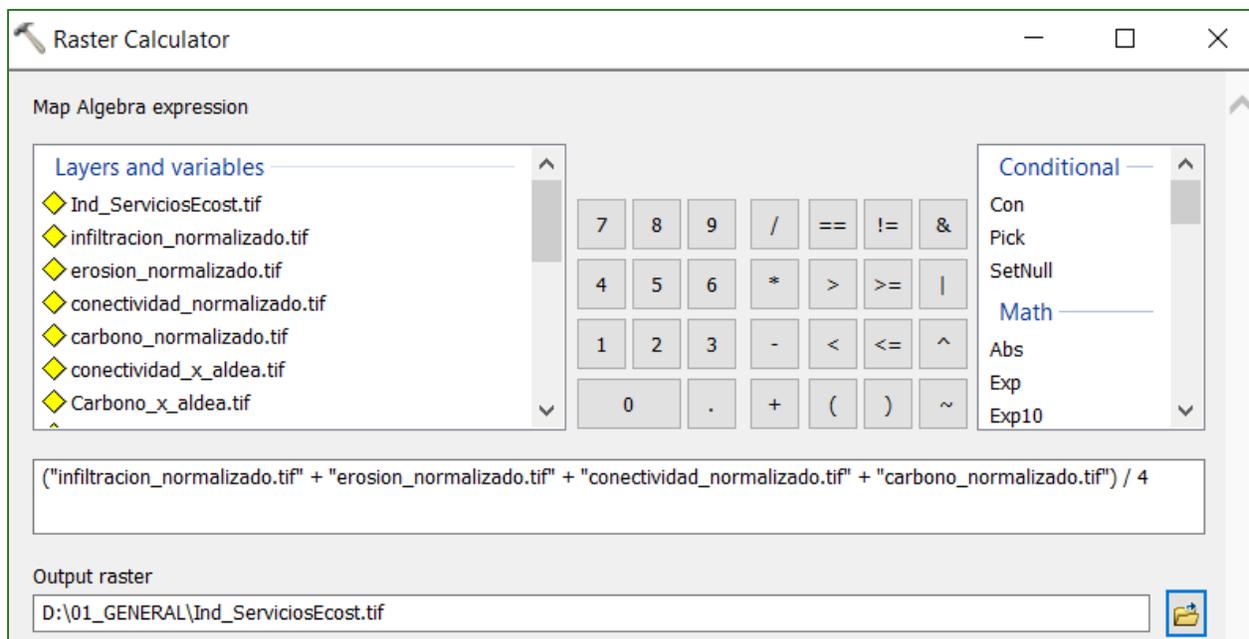
- c) Tercero, convertir el **EROSION.tif** a valores normalizado entre 0-1 utilizando la herramienta Fuzzy Membership, nombre el archivo como **erosion_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**, para ejecutar el proceso utilice la herramienta “**Fuzzy Membership**” que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**.



- d) Cuarto, convertir el **indice_conectividad_ajustadofinal.tif** a valores normalizado entre 0-1 utilizado la herramienta Fuzzy Membership, nombre el archivo como **conectividad_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**, para ejecutar el proceso utilice la herramienta “**Fuzzy Membership**” que se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**.

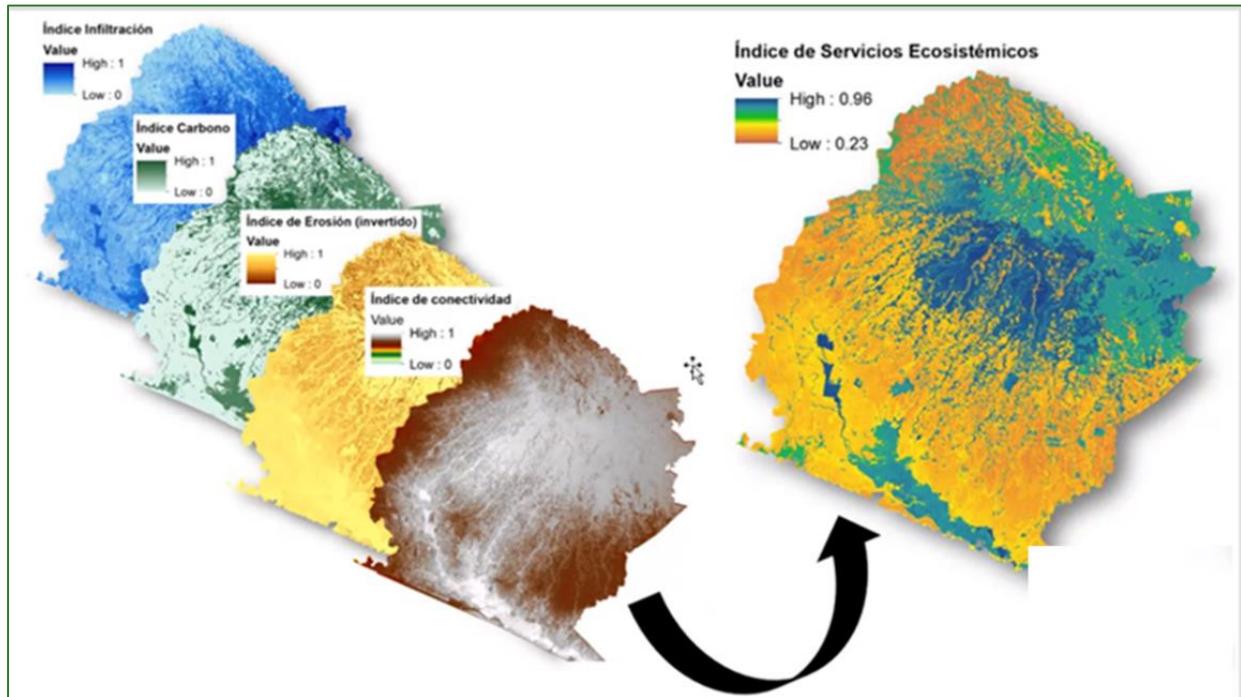


- e) Ahora, para obtener un índice de servicios ecosistémicos proceda a sumar los cuatros índices anteriores con la herramienta **“Raster Calculator”** y guarde la capa con el nombre **Ind_ServiciosEcost.tif** en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.



En la siguiente figura se muestra el proceso de integrar los 4 índices antes mencionados para la generación de un Índice de Servicios Ecosistémicos para el área de proyecto (**Ind_ServiciosEcost.tif**). Para este ejercicio, cada índice tiene el mismo peso (0.25), sin

embargo, si desea asignar un peso o ponderación diferente para cada índice, puede realizarlo al momento de multiplicar cada capa en la calculadora de ráster.



Parte 18. Integración de datos en unidades de gestión territorial

Antes de proceder a la integración de los datos en unidades de gestión territorial, debe asegurarse que todos los datos se encuentren proyectados en el mismo sistema de coordenadas, si no es así, reprojete las capas aplicando los pasos mencionados en la **PARTE 1** denominada “**PROYECTAR LAS CAPAS AL SISTEMA GEODÉSICO DEL PAÍS**” que se encuentra al inicio del presente documento.

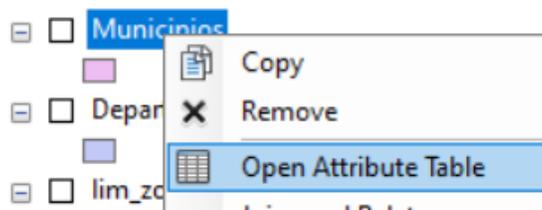
Paso 1. Agregue a ArcMap los archivos de límites político-administrativos y de gestión territorial de la zona de estudio para los cuales requiere obtener cifras agregadas de superficie y otras variables de la línea base. Estos archivos incorpórelos a una carpeta con el nombre de **LIMITES** y ubíquela en **VECTORES/LIMITES**, dentro de la carpeta **LIMITES** creada recientemente, deberá de tener al menos los siguientes shapefiles

- **Límites Político-Administrativos**
 - Municipios.shp
 - Cantones.shp
- **Límites de Gestión Territorial**
 - Área_natural_protegida.shp
 - Subcuencas.shp

Paso 2. Genere una tabla resumen de los identificadores únicos de los shapefile anteriores. Para ello:

- a) Acceda a la tabla de atributos del shapefile.

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA



- b) Localice el campo que contiene el ID o Código Único que identifica cada uno de los elementos del shapefile. Por ejemplo, en la imagen a continuación es el campo COD_MUNI. También identifique el campo que contenga el nombre del elemento (en este ejemplo sería el campo NAME que contiene el nombre del municipio).

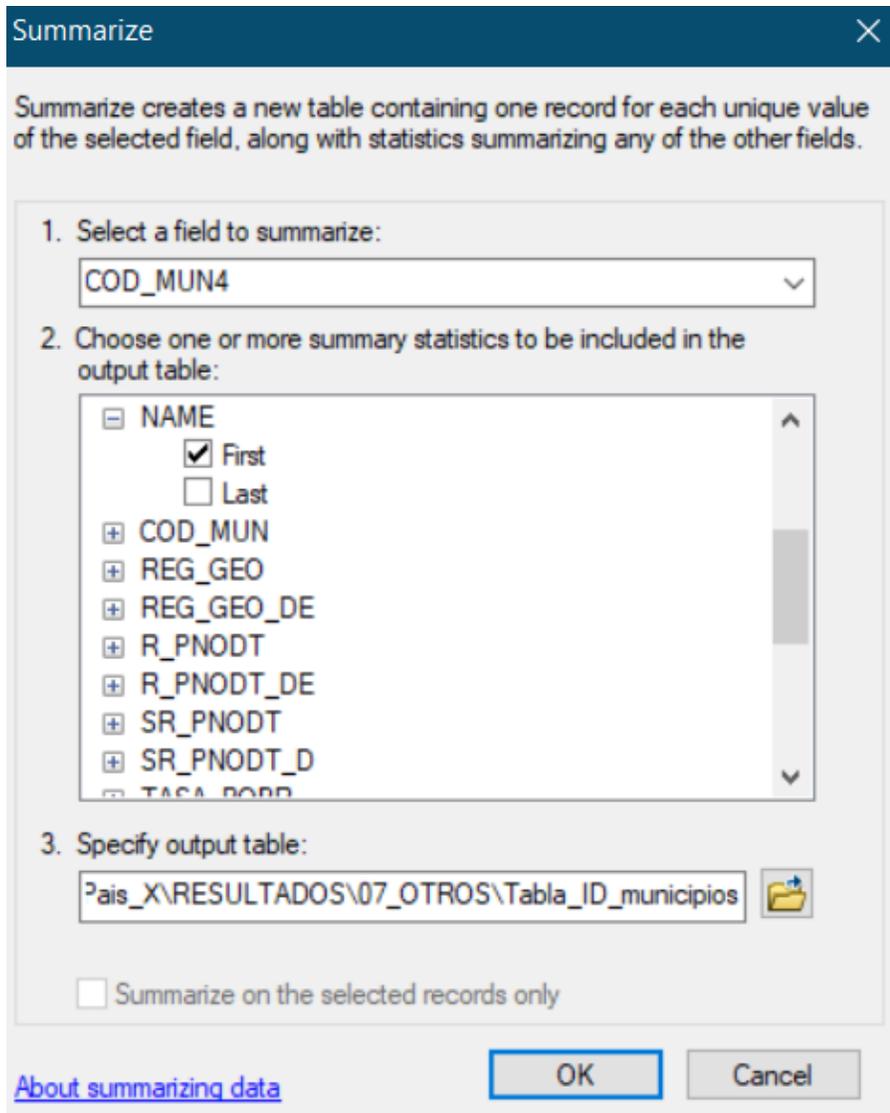
Nota: Si los registros no tienen un identificador único, deberá crearle uno, agregando un campo de Código. Ejemplo:

CODIGO	NOMBRE
1	Acaxual
2	Atehuesian
3	Cara Sucia
4	El Chino
5	El Corozo
6	El Imposible
7	El Salto

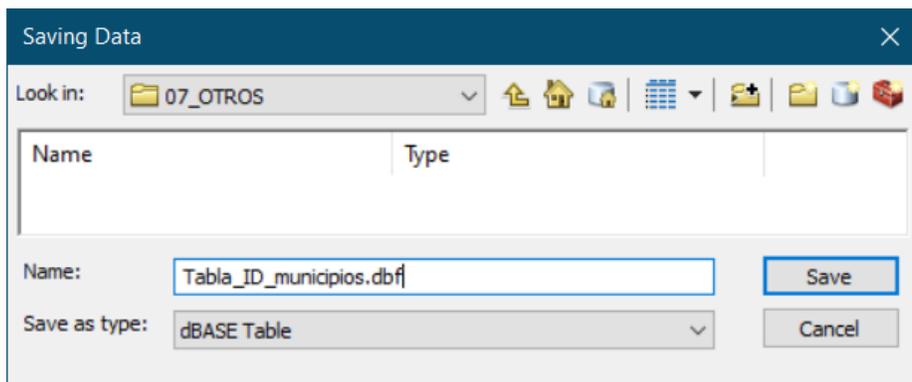
Luego, haga clic derecho sobre el campo del código y seleccione la opción “Summarize”.

NAME	COD_MUN	COD_MUN
Acajutla	01	0301
San Antonio del Monte	11	0311
Sonsonate	15	0315
Santo Domingo de Guzmán	14	0314
Guaymango	06	0106
San Pedro Buena Vista	10	0110

- c) En la ventana de Summarize marque la opción **First** del campo que contiene el nombre **NAME**.



- d) Asigne el nombre de salida de la tabla (Tabla_ID_XXXXXX), asegurándose de seleccionar en Save as type la opción dBASE Table. Guarde las tablas en la carpeta VECTORES/LIMITE.



e) Finalmente habrá la tabla resultante y elimine el campo “Count_...”.

	OID	COD_MUN4	Count_COD_MUN4	First_NAME
	0	0101	1	Ahuachapán
	1	0102	1	Apaneca
	2	0103	1	Atiquizaya
	3	0104	1	Concepción de Ataco
	4	0106	1	Guaymango

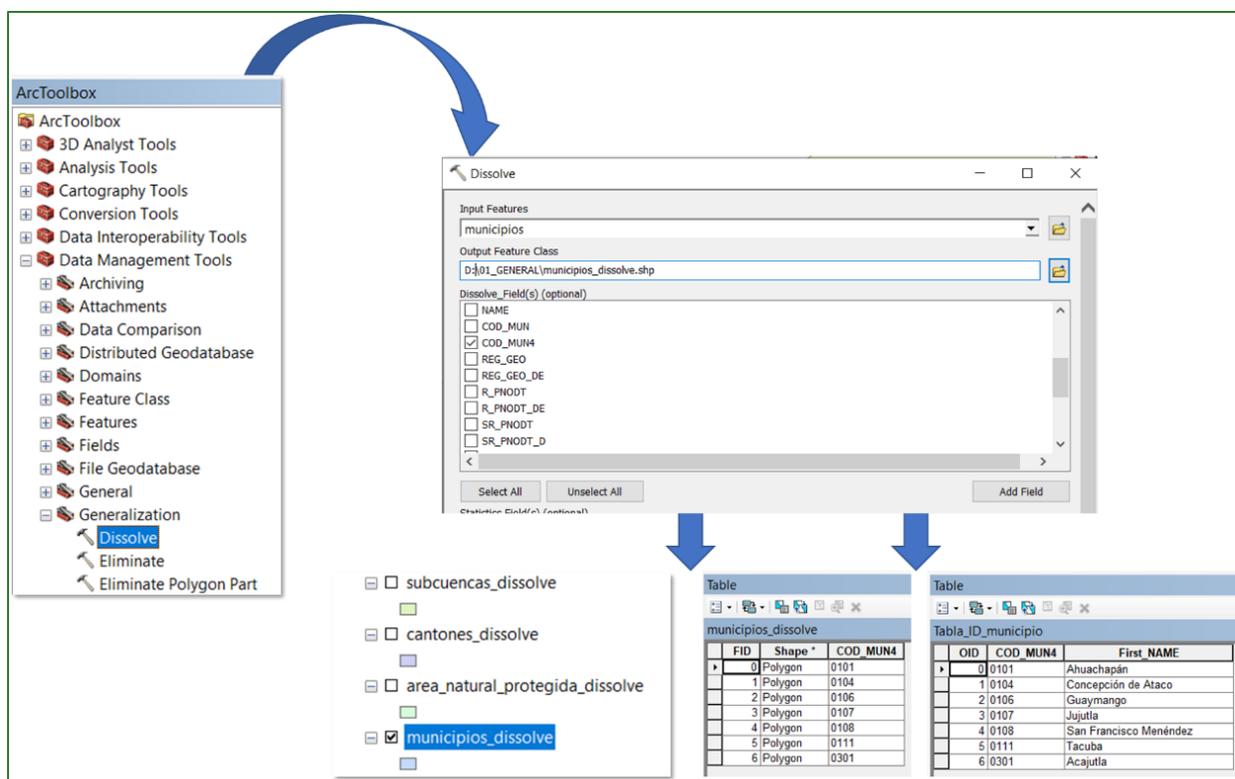
Repita el procedimiento para obtener las tablas resúmenes de los identificadores únicos de todos los shapefile que utilizará para obtener las cifras agregadas de la línea base. Guarde las tablas en la carpeta VECTORES/LIMITE.

Paso 3.

Utilice la herramienta **Dissolve** para eliminar las redundancias en los shapefile seleccionados en el paso 1. Aplique el dissolve a partir del campo CODIGO.

Nota: Asegúrese que el campo de código seleccionado sea el mismo que utilizo para generar la tabla correspondiente en el paso anterior.

La herramienta “Dissolve” se encuentra disponible en **ArcToolBox/Data Management Tools/Generalization/Dissolve**. Aplique el dissolve a todos los shapefile seleccionados en el paso 1, y guárdelos en la carpeta **01_GENERAL** agregando la palabra **_dissolve** después del nombre, ejemplo **municipios_dissolve.shp**.



- a) Para cada una de las tablas resúmenes agregue 2 campos con su correspondiente nombre indicado a continuación. Y traslade a estos nuevos campos los valores correspondientes.

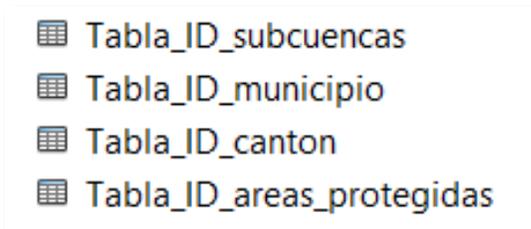
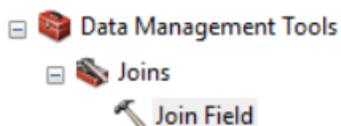
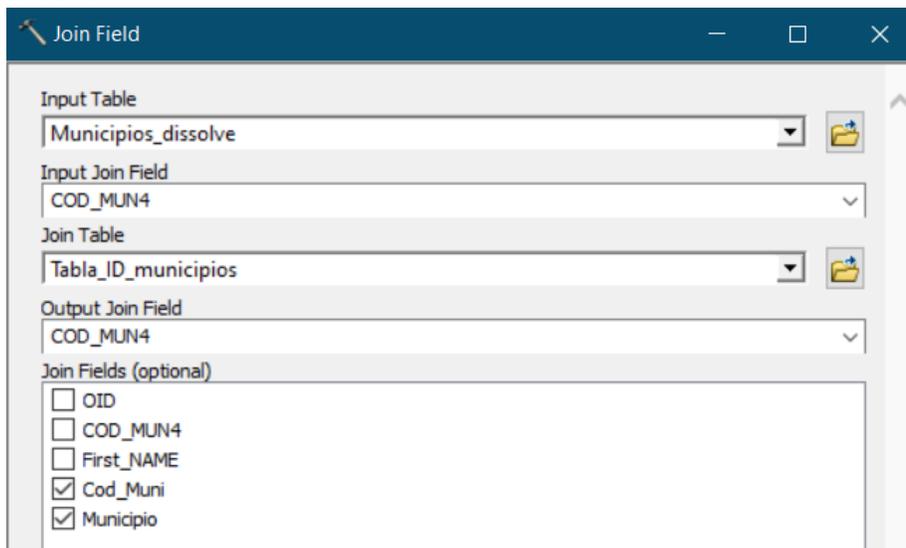


Tabla	Campo_Código (Text)	Campo Nombre (Text)
Tabla_ID_municipio	Cod_Muni	Municipio
Tabla_ID_canton	Cod_Canton	Conton
Tabla_ID_areas_protegidas	Cod_Areap	AreaProt
Tabla_ID_subcuencas	Cod_Subc	Subcuencia

- b) Utilice la herramienta **“Join Field”** para vincular las tablas resúmenes con su correspondiente shapefile dissolve. Asegúrese de que el campo en común de código seleccionado sea el mismo en ambas tablas.
- c)



En Join Fliels (optional) marque los 2 nuevos campos que agrego en el paso anterior.



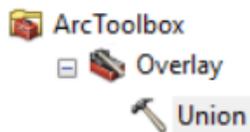
Una vez finalizado el join abra la tabla del shapefile dissolve y borre el campo de código duplicado (dejando el nuevo campo de código).

Repita este paso para todos los shapefile dissolve.

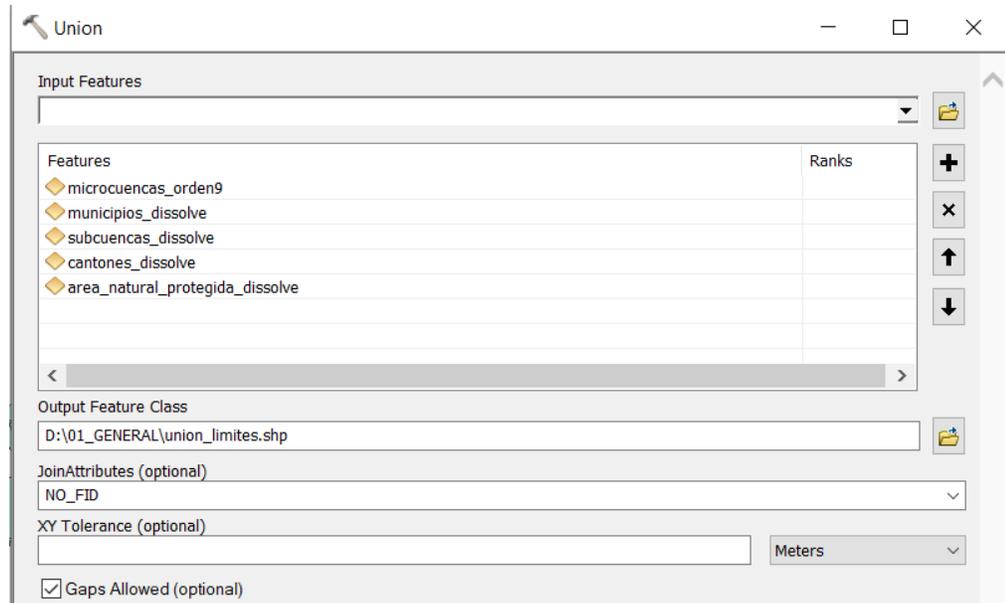
- d) Copie el shapefile microcuencas_orden9.shp y péguelo en la carpeta de **RESULTADO/01_GENERAL**.
- e) Añada el shapefile y en su tabla de atributos agregue el campo **Cod_Mic** y pase a este los valores del Campo ID. Borre los demás campos y solamente deje el campo **Cod_Mic**.

Table			
microcuencas_orden9			
	FID	Shape *	Cod_Mic
	0	Polygon	18
	1	Polygon	19
	2	Polygon	31
	3	Polygon	35
	4	Polygon	45
	5	Polygon	51
	6	Polygon	52
	7	Polygon	54
	8	Polygon	64
	9	Polygon	66
	10	Polygon	69
	11	Polygon	70
	12	Polygon	72
	13	Polygon	78
	14	Polygon	83
	15	Polygon	85
	16	Polygon	88
	17	Polygon	93
	18	Polygon	97
	19	Polygon	102
	20	Polvaon	104

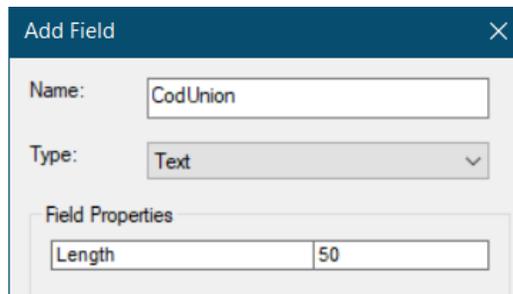
- f) Aplique la herramienta Unión para integrar en un solo shapefile todas las capas de unidades de político administrativas y/o de gestión territorial con las microcuencas. Asigne como nombre de salida **union_limites.shp** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.



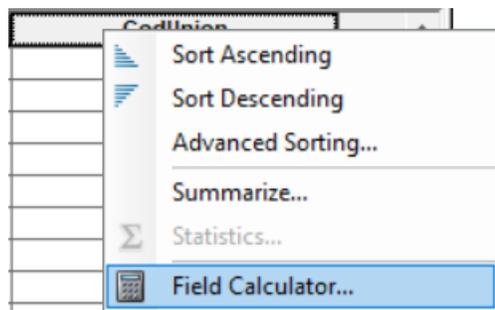
En **Input Feature**, agregue los shapefile a unir. Y en JoinAttributes seleccione **NO_FID**.



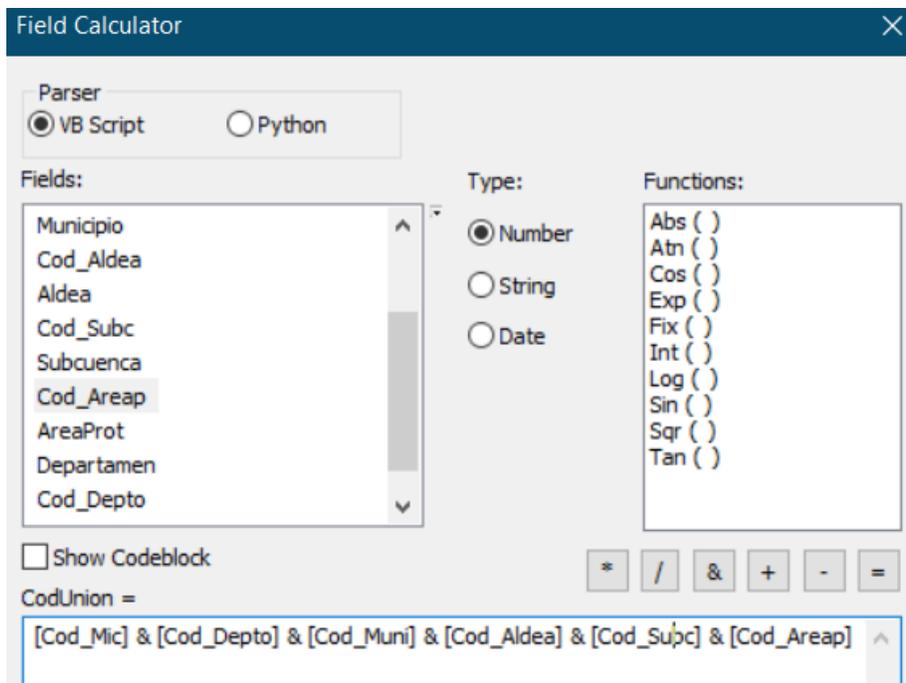
g) En la tabla de atributos de **union_limites.shp**, agregue el campo **CodUnion**.



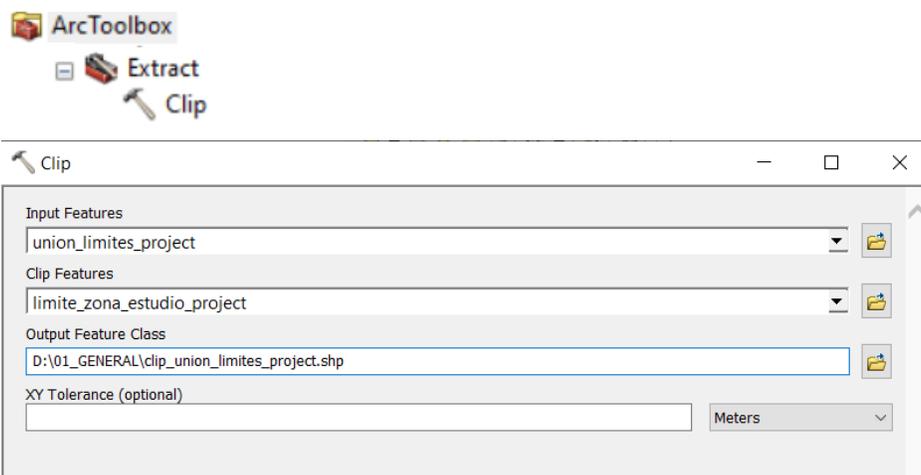
h) Haga clic derecho en el campo CodUnion creado en el paso anterior y seleccione Field Calculator.



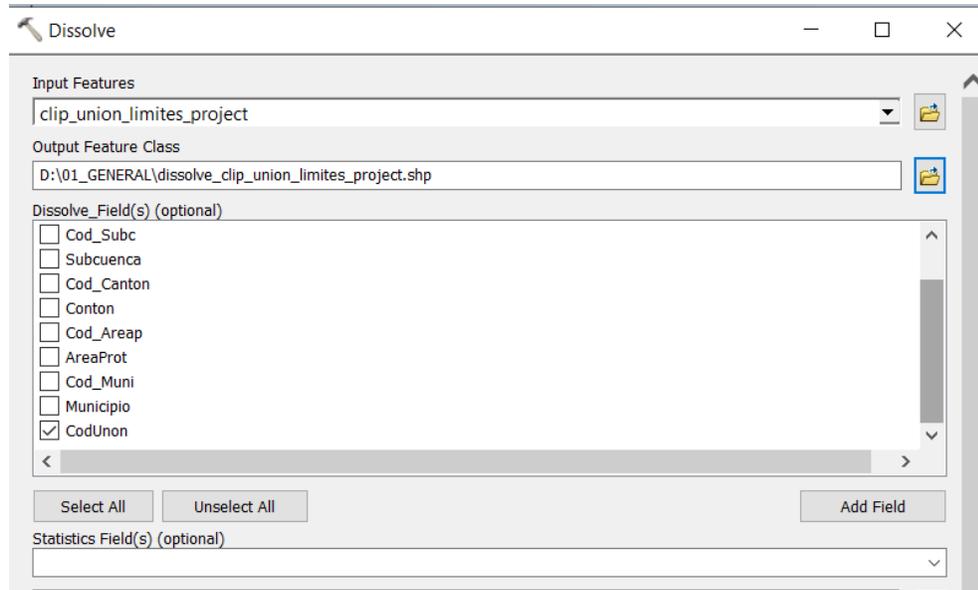
En el Field Calculator encadene los diferentes campos de códigos como se ejemplifica a continuación: **[Cod_Mic] & [Cod_Subc] & [Cod_Canton] & [Cod_Areap] & [Cod_Muni]**.



- i) Agregue el shapefile **lim_zona_estudio_project.shp**.
- j) En el caso que **union_limites.shp** esté en coordenadas geográficas, reprojéctelo al sistema de proyección de **lim_zona_estudio_project.shp** utilizando las indicaciones expuestas en la **PARTE 1** de la presente guía metodológica. Como archivo de salida indique: **union_limites_project.shp** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.
- k) Utilice la herramienta Clip para cortar **union_limites_project.shp** contra **lim_zona_estudio_project.shp** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL** con el nombre **clip_union_limites_project.shp**.



- l) Haga un dissolve de **clip_union_limites_project.shp** usando el campo **CodUnion** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL** con el nombre **dissolve_clip_union_limites_project.shp**.



- m) Al shapefile **dissolve_clip_union_limites_project.shp** añádale el campo **ID_union** y asigne un número correlativo a partir del campo **FID+1**.

```
ID_Union =  
[FID] + 1
```

FID	Shape *	CodUnon	ID_union
0	Polygon	0 0107	1
1	Polygon	0 0108	2
2	Polygon	0 0301	3
3	Polygon	0 30108	4
4	Polygon	0 60107	5
5	Polygon	0 60108	6
6	Polygon	0 60301	7
7	Polygon	0 70108	8
8	Polygon	0 010701 0107	9
9	Polygon	0 010701 0301	10
10	Polygon	0 01070160107	11
11	Polygon	0 01070160301	12
12	Polygon	0 010804 0107	13
13	Polygon	0 010804 0108	14
14	Polygon	0 01080430108	15
15	Polygon	0 01080460108	16

n) Finalmente use la herramienta **Join Field** para transferir a **dissolve_clip_union_limites_project.shp** los atributos del ráster **union_limites_project.shp**, usando **CodUnon** como campo en común.

FID	Shape *	CodUnon	ID_union	Cod_Mic	Cod_Subc	Subcuenca	Cod_Canton	Conton	Cod
0	Polygon	0 0107	1	0					
1	Polygon	0 0108	2	0					
2	Polygon	0 0301	3	0					
3	Polygon	0 30108	4	0					3
4	Polygon	0 60107	5	0					6
5	Polygon	0 60108	6	0					6
6	Polygon	0 60301	7	0					6
7	Polygon	0 70108	8	0					7
8	Polygon	0 010701 0107	9	0			010701	BARRA DE SANTIAGO	
9	Polygon	0 010701 0301	10	0			010701	BARRA DE SANTIAGO	
10	Polygon	0 01070160107	11	0			010701	BARRA DE SANTIAGO	6
11	Polygon	0 01070160301	12	0			010701	BARRA DE SANTIAGO	6
12	Polygon	0 010804 0107	13	0			010804	EL ZAPOTE	6
13	Polygon	0 010804 0108	14	0			010804	EL ZAPOTE	14
14	Polygon	0 01080430108	15	0			010804	EL ZAPOTE	3
15	Polygon	0 01080460108	16	0			010804	EL ZAPOTE	6
16	Polygon	0 010805	17	0			010805	GARITA PALMERA	
17	Polygon	0 010805 0108	18	0			010805	GARITA PALMERA	
18	Polygon	0 0108057	19	0			010805	GARITA PALMERA	7
19	Polygon	0 01080570108	20	0			010805	GARITA PALMERA	7
20	Polygon	0 010808	21	0			010808	LA HACHADURA	
21	Polygon	0 010808 0108	22	0			010808	LA HACHADURA	

o) Como paso final, haga una copia del shapefile **dissolve_clip_union_limites_project.shp** y guárdelo como **limites_administrativos.shp** en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.

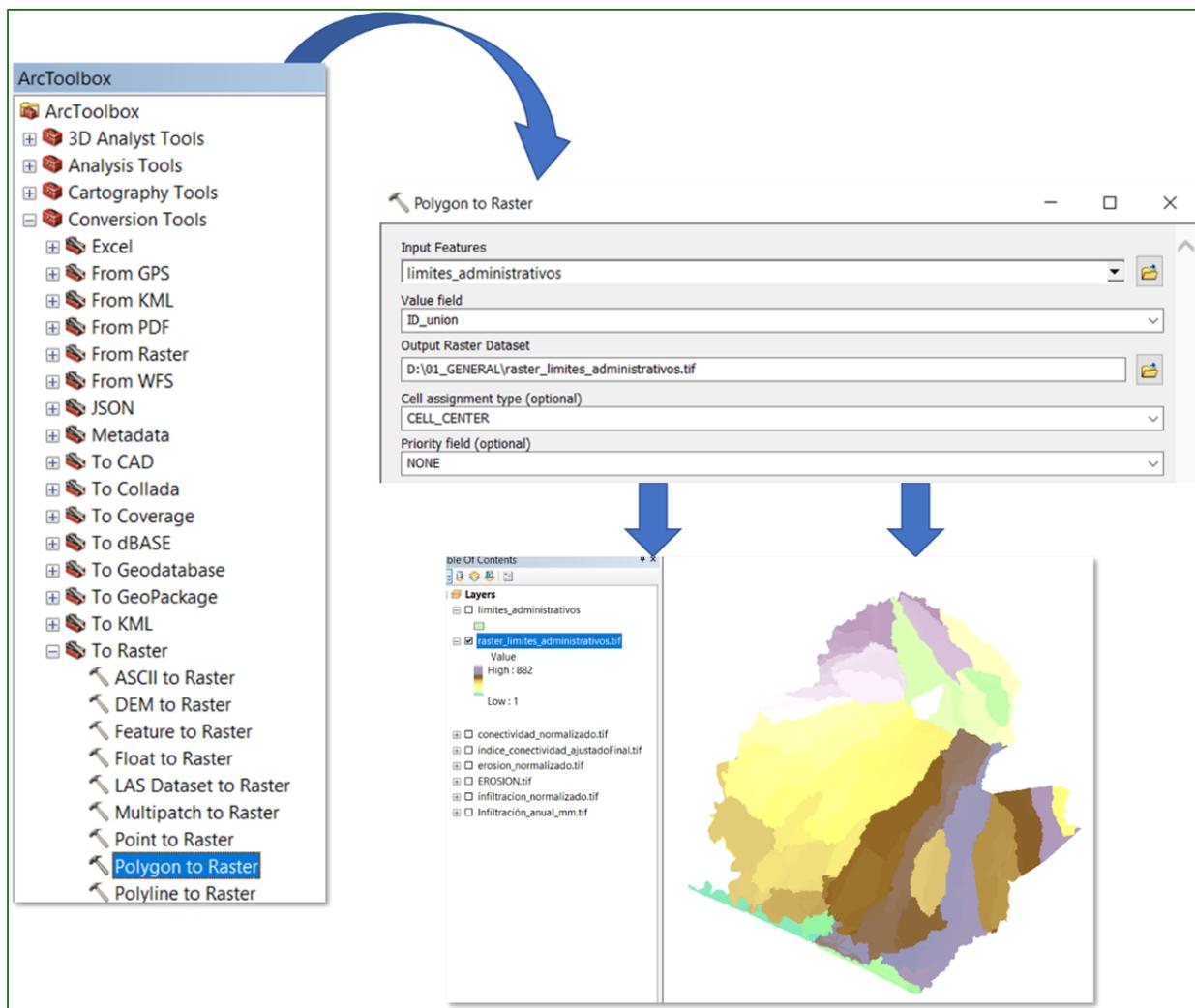
El resultado de este proceso deberá ser el siguiente:

Parte 19. Asignación del valor ráster de las variables analizadas a la tabla integrada de Unidades de Gestión Territorial

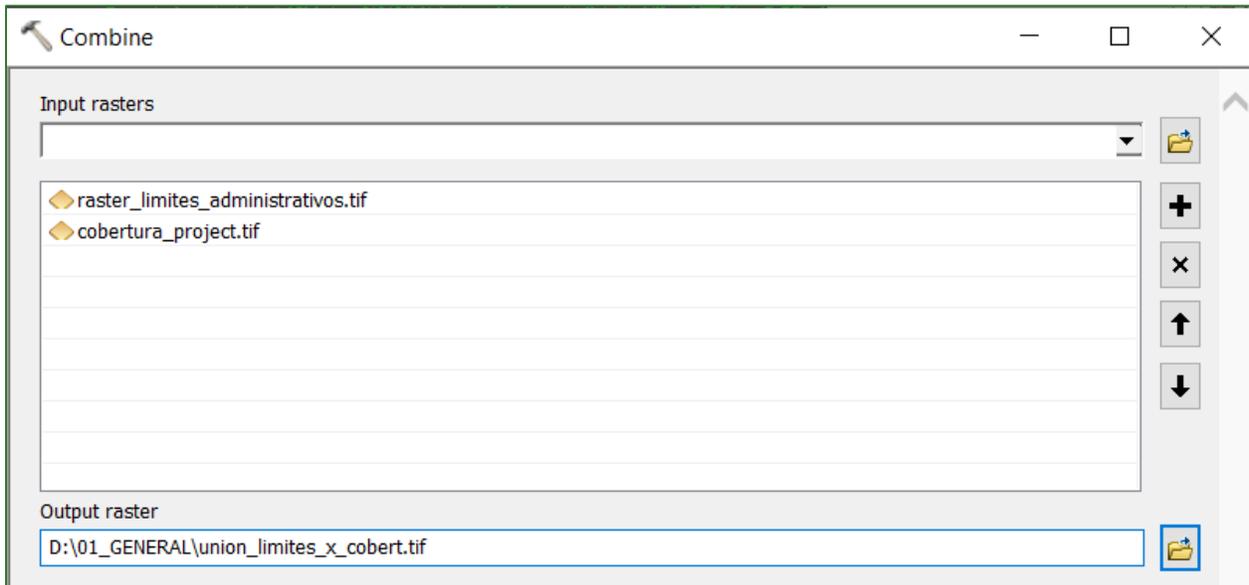
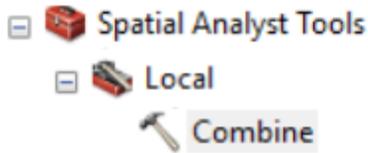
Ya se cuenta con el shapefile integrado límites político-administrativos y de gestión integrados en un solo archivo **limites_administrativos.shp** y también con los ráster ajustados de carbono, erosión, infiltración y conectividad. Pero antes de pasar a obtener las sumatorias de estos ráster para cada uno de los polígonos de **limites_administrativos.shp**, se requiere combinarlos con los tipos de cobertura.

Combinando union_limites con los tipos de cobertura (Combine)

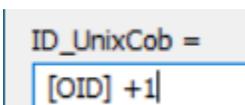
Paso 1. Convierta **limites_administrativos.shp** a ráster usando como valor el campo **ID_union**. Este paso lo realizará utilizando la herramienta “**Polygon to Raster**” que se encuentra localizado en **ArcToolBox/Conversion Tools/To Raster/Polygon to Raster** y guarde el archivo con el nombre **raster_limites_administrativos.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.

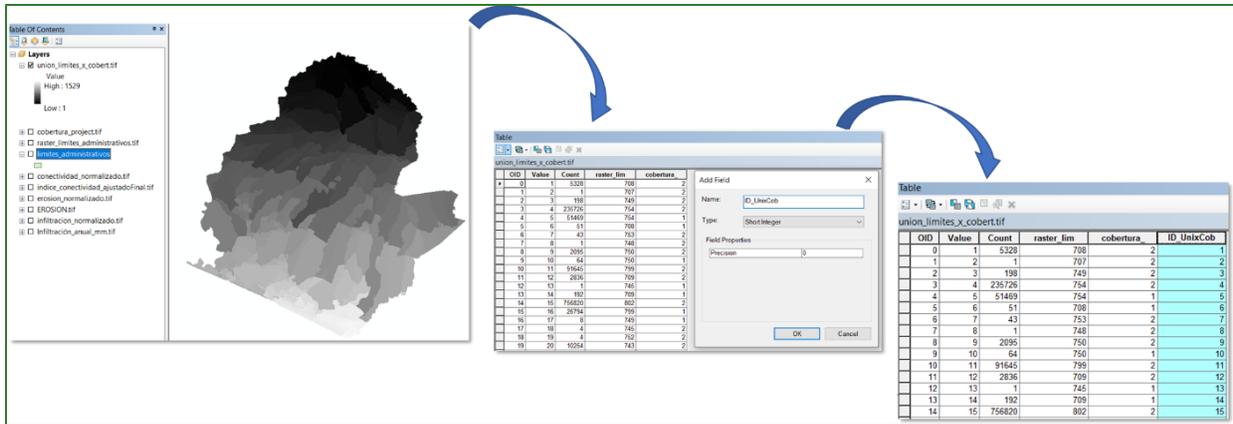


Paso 2. Use la herramienta “**Combine**” para asignar al **raster limites administrativos.tif** (generado en el paso anterior) con las clases de **cobertura_project.tif**, el archivo de salida guárdelo con el nombre **union_limites_x_cobert.tif** y guárdelo en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.



Al shapefile generado (**union_limites_x_cobert.tif**) añádale el campo **ID_UnixCob** y asígnale un numero correlativo a partir del campo **OID+1**.





Calculando los valores a nivel de píxel para cada una de las zonas identificadas por el ID_UnixCob

Paso 3. Exporte la tabla union_limites_x_cobert.tif y guárdela con el nombre:

TABLA_RESULTADOS.dbf en la carpeta **RESULTADO/01_GENERAL**.

Paso 4. Calcule la sumatoria o promedio (según sea el caso) de las variables (a nivel de píxel) para cada una de las unidades del ráster **union_limites_x_cobert.tif**, utilizando como campo de referencia **ID_UnixCob** con la herramienta “**Zonal Statistics as Table**” que se encuentra ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Estatistic as Table**. Con esta herramienta realice los cálculos para cada uno de los ráster finales.

Cálculos principales

Variable	Operación	Tabla de salida	Campo
Ton Carbono por píxel	SUMA	SUM_Carbono.dbf	SUM_C
Ton Carbono por ha	PROMEDIO	MEDIA_Carbono_xha.dbf	MED_C
Índice de stock de C	PROMEDIO	MEDIA_Ind_Carbono.dbf	MED_IndC
Ton Erosión por píxel	SUMA	SUM_Erosion.dbf	SUM_EROS
Ton Erosión por ha	PROMEDIO	MEDIA_Erosion_xha.dbf	MED_EROS
Índice de Erosión	PROMEDIO	MEDIA_Ind_Erosion.dbf	MED_IndEr
Infiltración m3 por píxel	SUMA	SUM_Infiltración_m3.dbf	SUM_INFIL
Infiltración mm	PROMEDIO	MEDIA_Infiltración_mm.dbf	MED_INFIL
Índice de Infiltración	PROMEDIO	MEDIA_Ind_Infiltracion.dbf	MED_IndINF
Conectividad por píxel	PROMEDIO	MEDIA_Infiltración.dbf	MED_CONECT
Índice de Conectividad	PROMEDIO	MEDIA_Ind_Conectividad.dbf	MED_IndCON
Índice Integrado de Stock de Servicios Ecosistémicos	PROMEDIO	MEDIA_Ind_ServiciosEcost.dbf	MED_IndSEc

Cálculos adicionales derivadas de carbono

Variable	Operación	Tabla de salida	Campo
Ton CO2 por píxel	SUMA	SUM_CO2.dbf	SUM_CO2
Ton CO2 por ha	PROMEDIO	MEDIA_CO2_xha.dbf	MED_CO2
Ton Biomasa por píxel	SUMA	SUM_Biomasa.dbf	SUM_BIOM
Ton Biomasa por ha	PROMEDIO	MEDIA_Biomasa.dbf	MED_BIOM

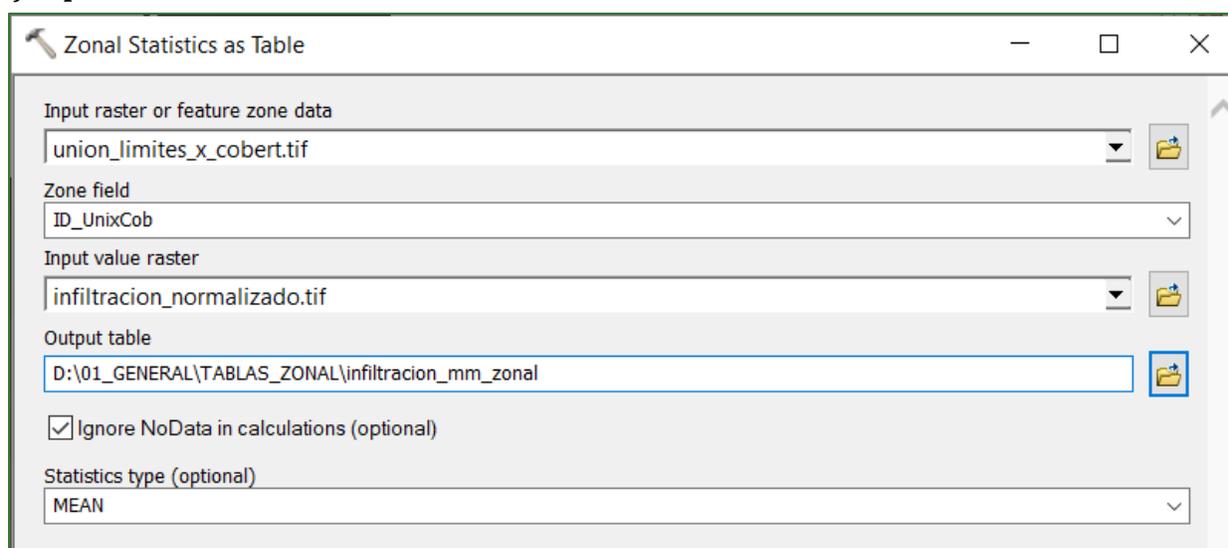
Cálculos adicionales de referencia

Variable	Operación	Tabla de salida	Campo
Elevación	MEDIA		
Pendiente en grados	MEDIA		
Pendiente en porcentaje	MEDIA		
Geoforma predominante	MAYORÍA		
Precipitación anual	MEDIA		
Temperatura media	MEDIA		
Radiación solar media	MEDIA		
ET potencial	MEDIA		
ET real	MEDIA		
Densidad de ríos Orden 7	SUM / COUNT		
Densidad de ríos Orden 9	SUM / COUNT		
% de arcilla del suelo	MEDIA		
% de arena del suelo	MEDIA		
% de limo del suelo	MEDIA		
% de C orgánico del suelo	MEDIA		
Textura del suelo predominante	MAYORÍA		

Cálculos adicionales de variables mensuales

Variable	Operación	Tabla de salida	Campo

Ejemplo de cálculo de la variable Infiltración:

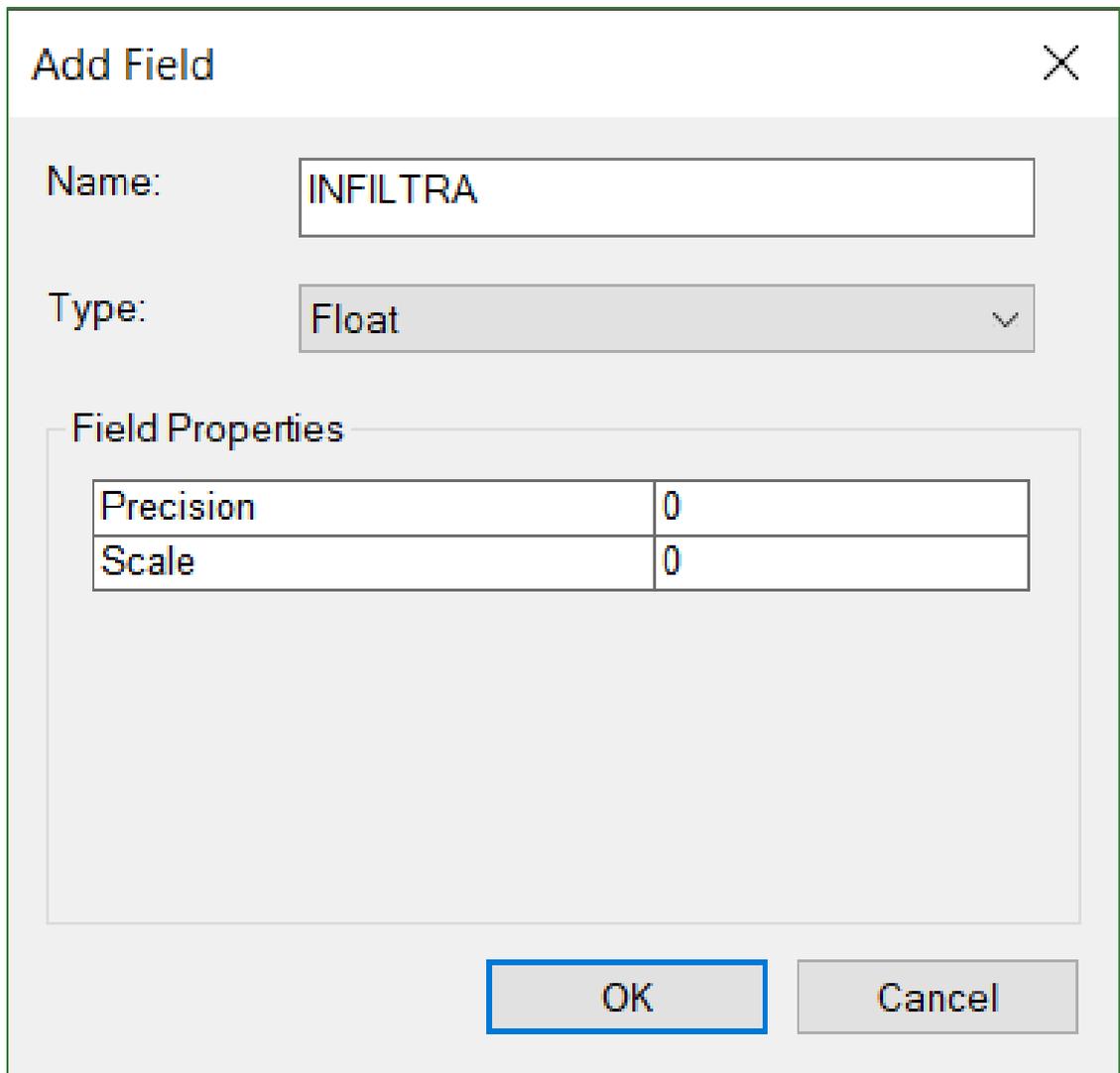


Como resultado se generará una tabla similar a la que se muestra a continuación.

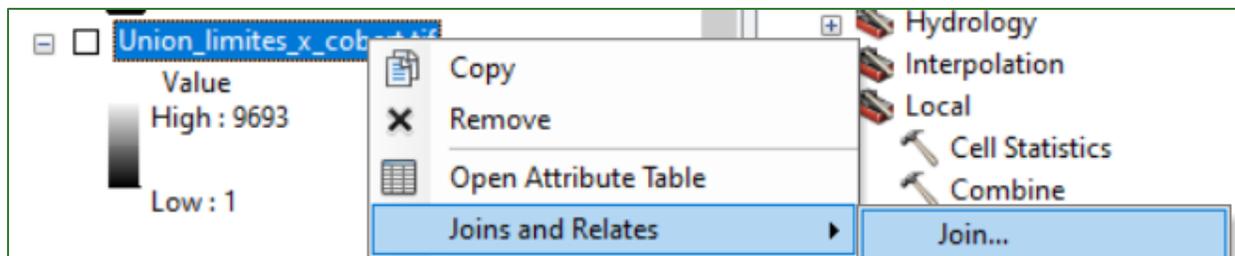
Table					
infiltracion_mm_zonal					
	Rowid	ID_UNIXCOB	COUNT	AREA	MEAN
▶	1	1	3380	19285.208208	0.155604
	2	3	128	730.327411	0.140718
	3	4	149420	852543.139187	0.200876
	4	5	32665	186376.131987	0.300663
	5	6	30	171.170487	0.225702
	6	7	28	159.759121	0.22311
	7	8	1	5.705683	0.172032
	8	9	1325	7560.029845	0.234933
	9	10	38	216.81595	0.239297
	10	11	58113	331574.350472	0.23026
	11	12	1798	10258.817857	0.148813
	12	14	120	684.681948	0.212985
	13	15	479785	2737501.071042	0.224594
	14	16	16942	96665.679722	0.390573
	15	17	5	28.528415	0.243194
	16	18	3	17.117049	0.215001

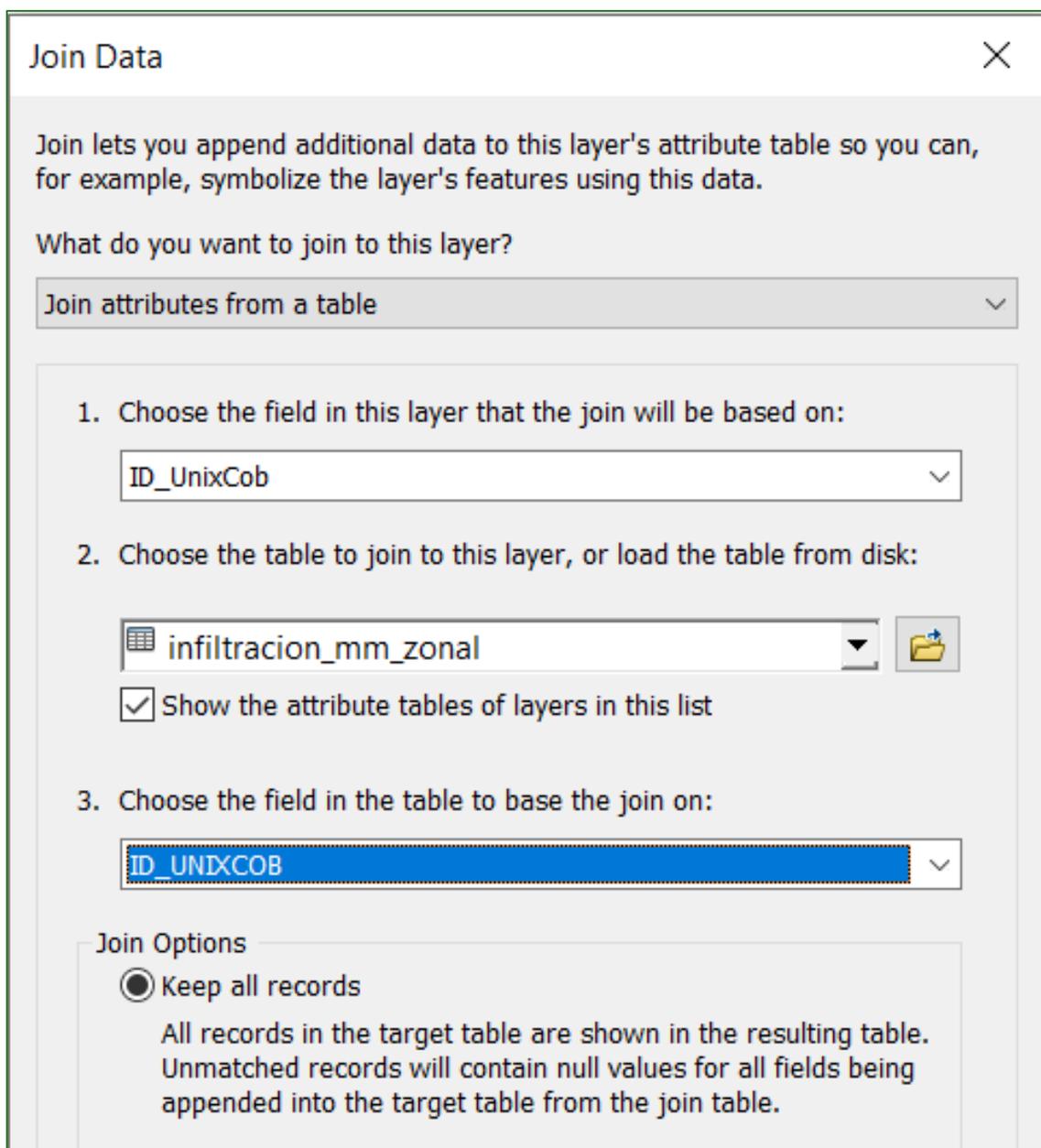
Para poder transferir los datos de la variable calculada al ráster union_limites_x_cobert.tif siga los siguientes pasos:

- a) En el raster **Union_limites_x_cobert.tif** añada un campo con el nombre de la variable de tipo Float, por ejemplo, INFILTRA.

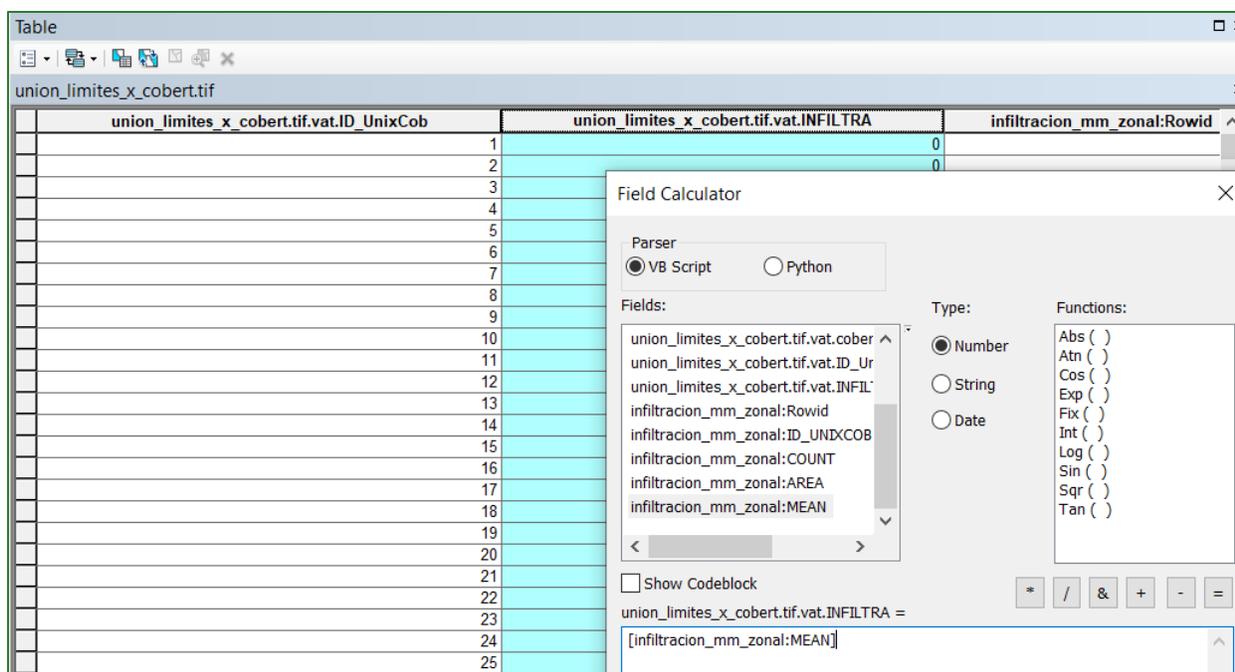


- b) Haga clic derecho en el layer **Union_limites_x_cobert.tif** y seleccione la opción **Join and Relates** y luego **Join**.

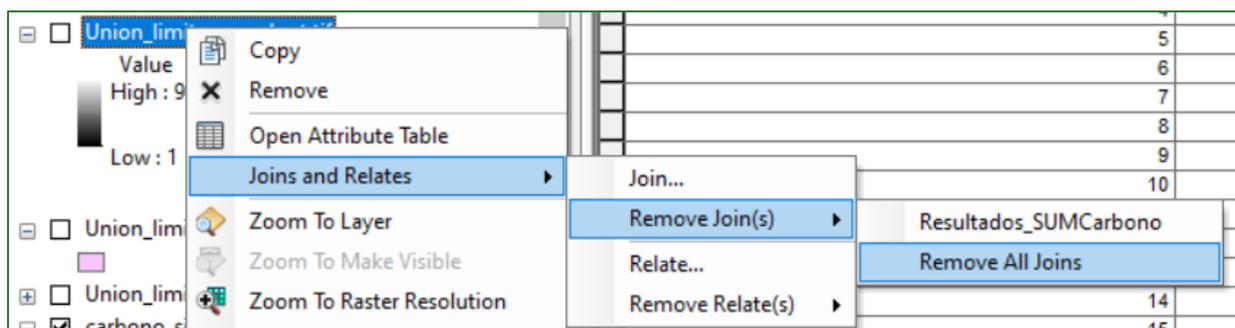




- c) Una vez realizado el Join, transfiera al campo de la variable (ej. INFILTRA) a los valores de la tabla que contiene los valores del promedio.



d) Remueva el Join



Repita lo pasos anteriores para las demás variables.

Generando estadísticas zonales para las unidades político-administrativas y de gestión territorial.

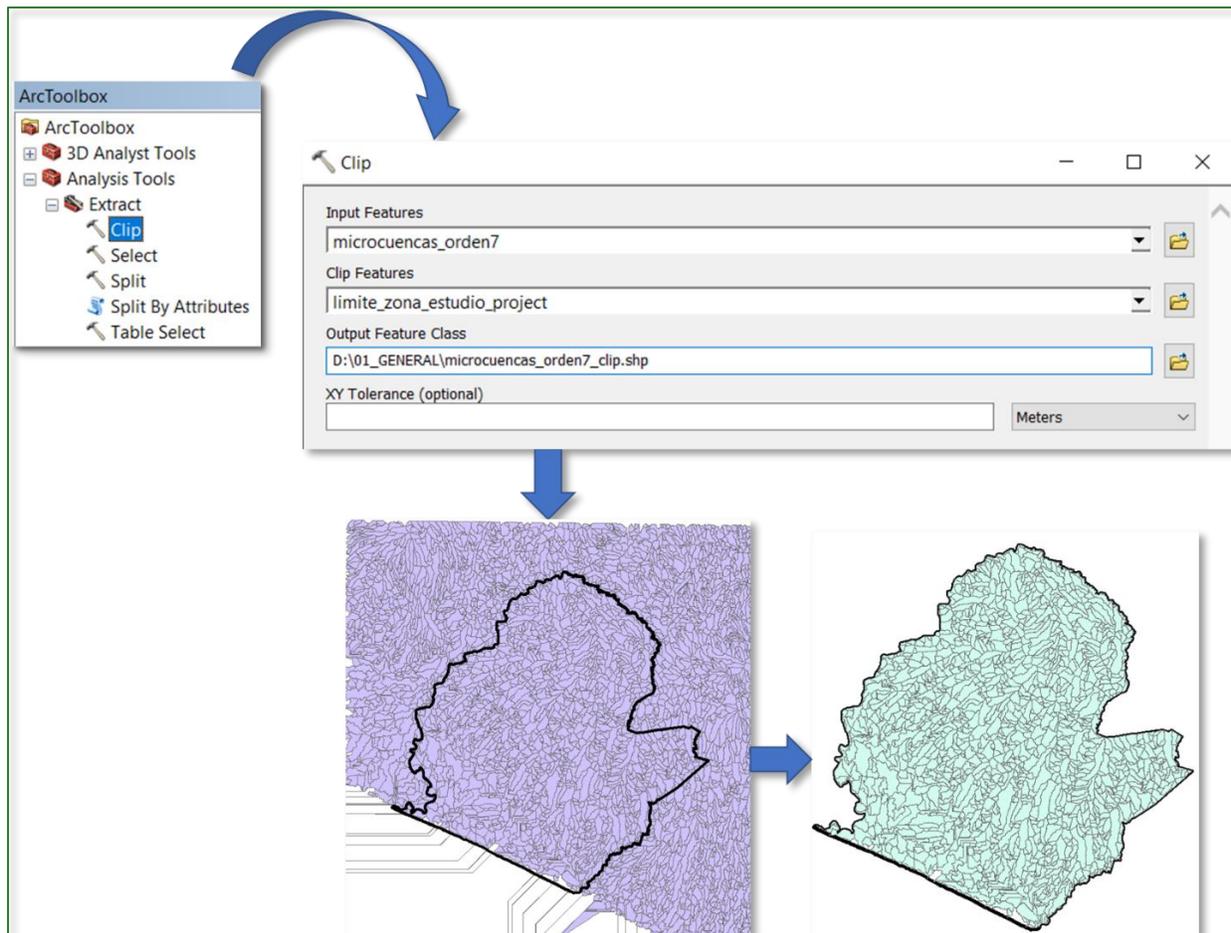
Paso 5. Aplique la herramienta “Zonal Statistical” que se encuentra ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Estadistic**. Con esta herramienta realice los cálculos para cada uno de los ráster finales. Para generar ráster resúmenes por unidades político-administrativas (municipios, aldeas) y para las unidades de gestión territorial (áreas protegidas y microcuencas).

Por ejemplo, para generar un ráster resumen de la infiltración hídrica por microcuenca de orden 7, siga los siguientes pasos:

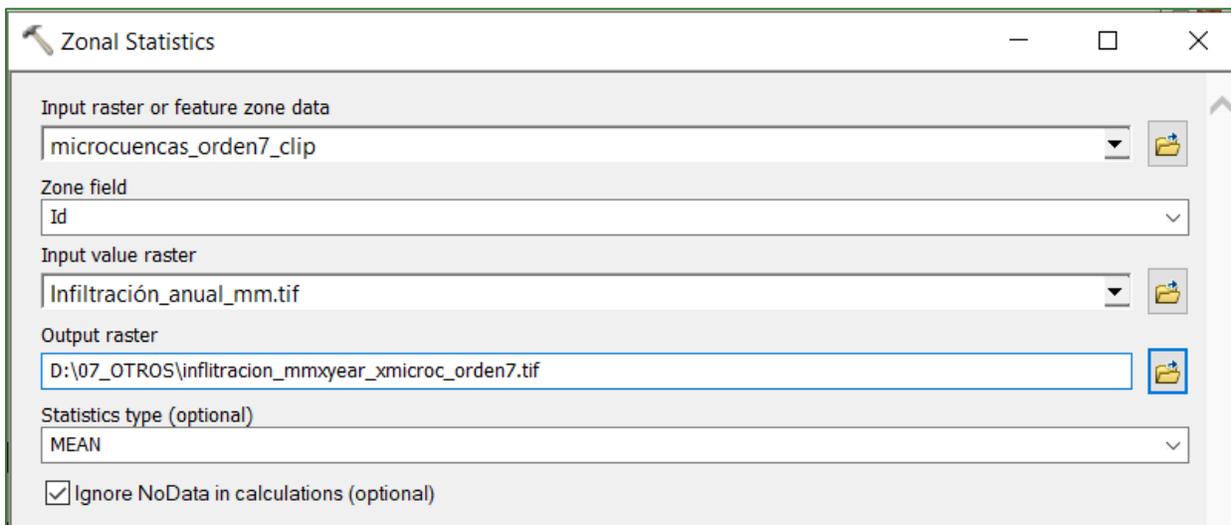
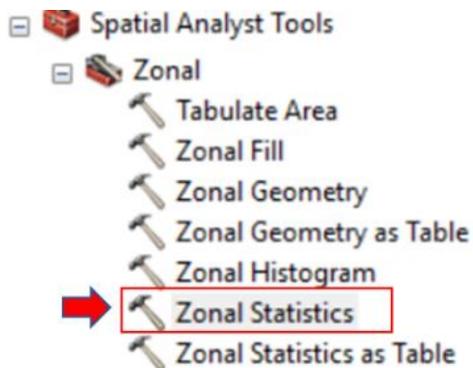
Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA
/ 228

a) Agregue a la vista el shapefile **microcuencas_orde7.shp** y también agregue el shapefile **limite_zona_estudio_project.shp**.

b) Utilice la herramienta “Clip” ubicada en **ArcToolBox/Anaysis Tools/Extract/Clip** para cortar las microcuencas orden 7 contra el límite de la zona de estudio y asígnele el nombre: **microcuencas_orden7_clip.shp** y guárdela en la carpeta de **RESULTADOS/01_GENERAL**.

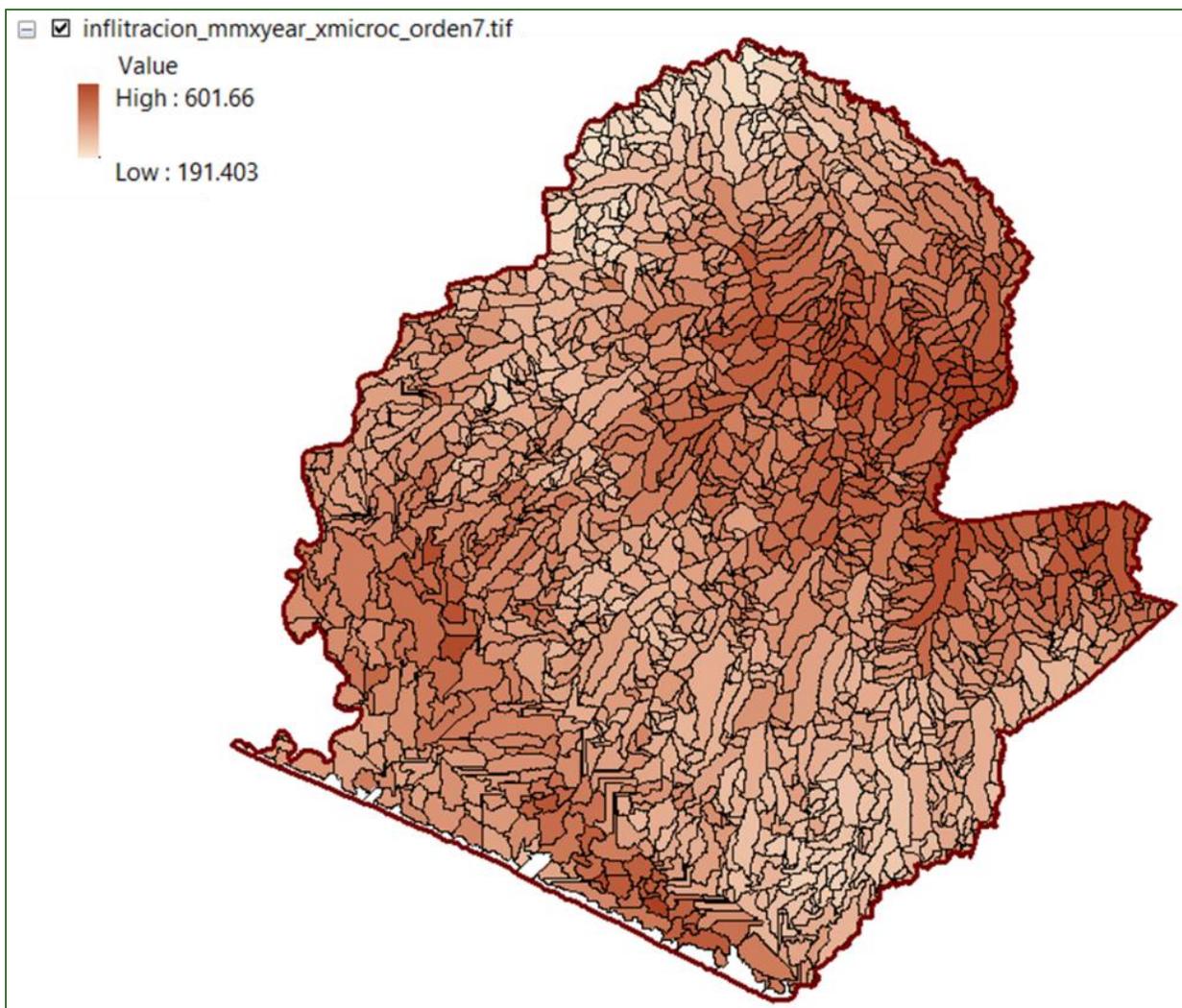


b) Realice un Zonal Statistical para obtener la media (MEAN) de los valores de **infiltración_anual_mm.tif** para cada una de las **microcuencas de orden 7 que se encuentra en el shapefile microcuencas_orden7_clip.shp**. **Utilice el campo de ID de las microcuencas para generar las sumatoria**. Guarde el resultado con el nombre **infiltracion_mmxyyear_xmicroc_orden7.tif** en la carpeta **07_OTROS**.



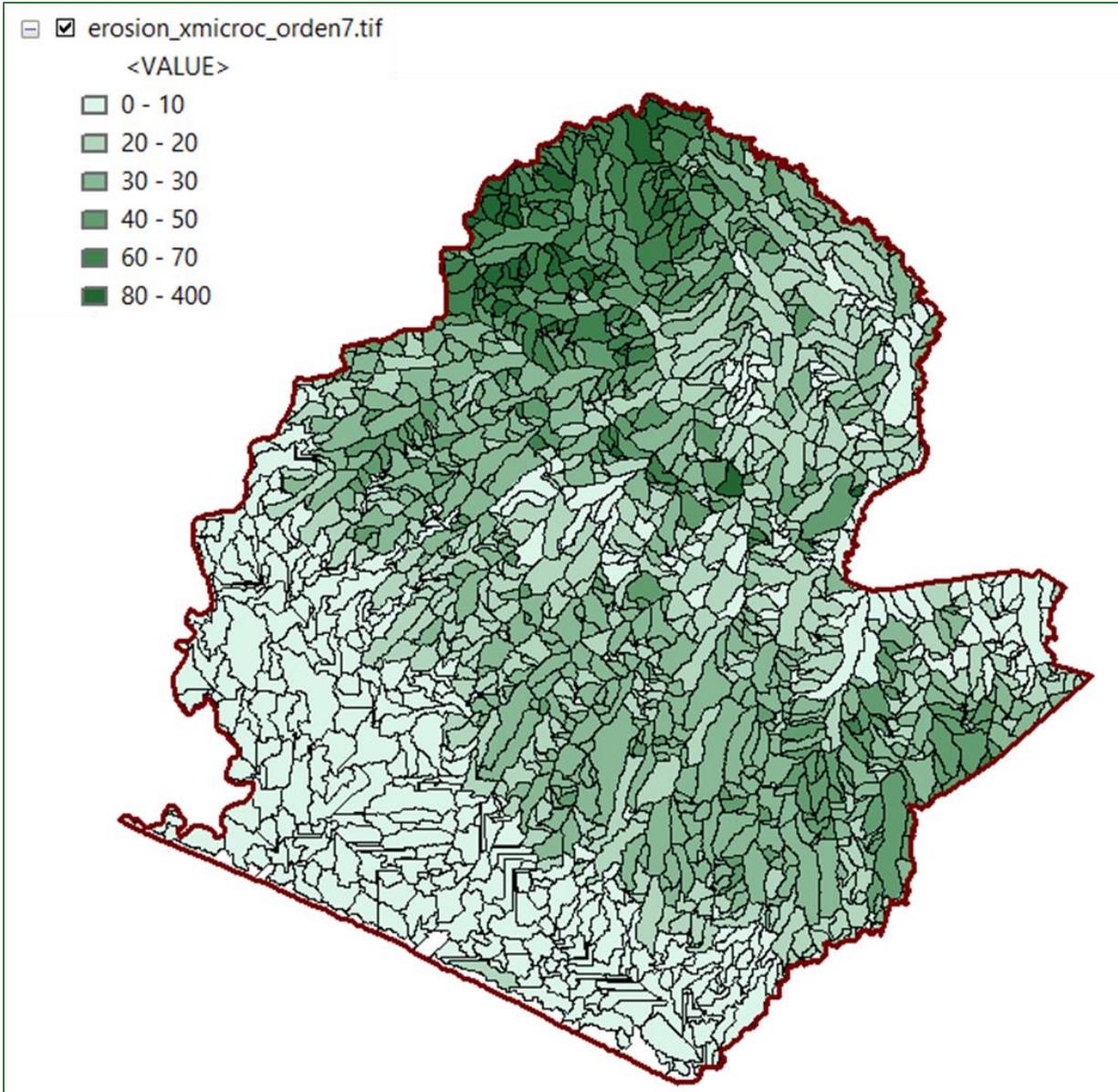
c) Finalmente, en el caso de las unidades territoriales que tenga asociado un nombre (por ejemplo, municipios, aldeas, áreas protegidas) aplique un **Join Field** para transferir los nombres al ráster creado. **Es paso no aplica en los casos de las microcuencas de orden 7 y 9 porque no tienen un nombre asociado.**

Como resultado se mostrará el promedio de infiltración en mm/año de cada una de las microcuencas de orden 7.

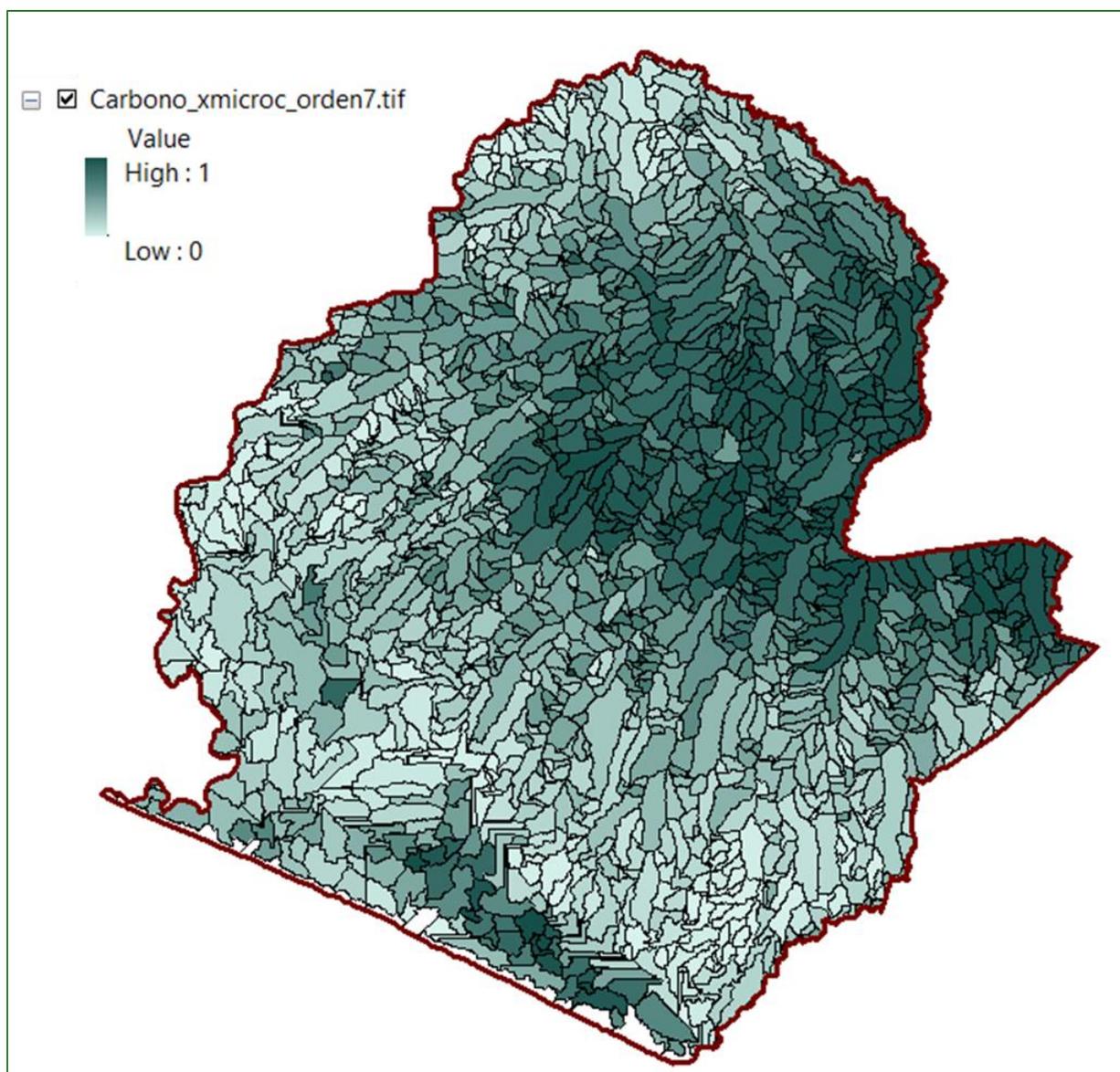


Repita el procedimiento para los siguientes ráster:

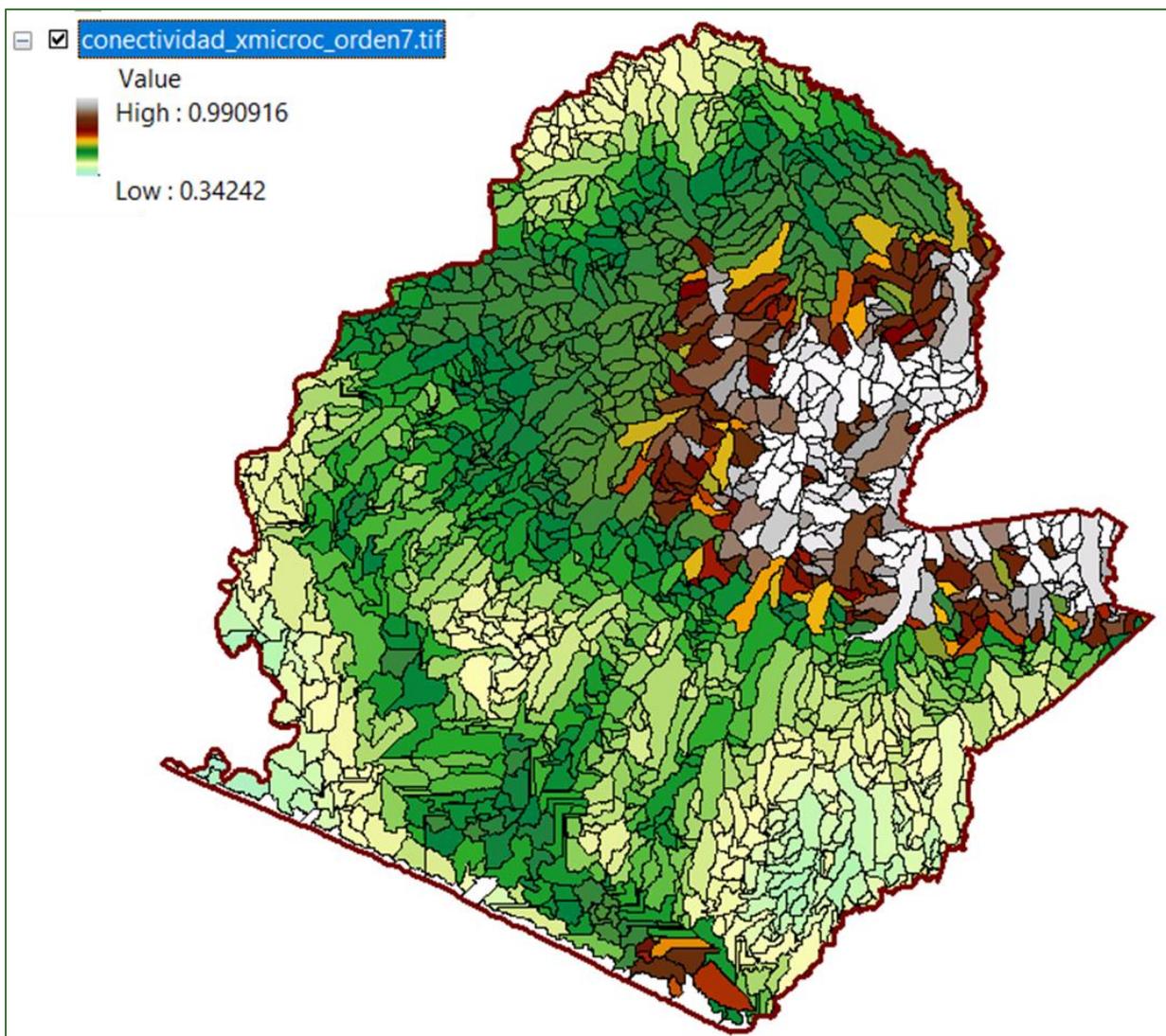
Feature zona data	Zone field	Input value raster	Output raster	Statistics
microcuencas_orde7_clip	Id	Erosion_ton_ha_year_ajustado.tif	Erosión_ton_hayear_mic7	MEAN



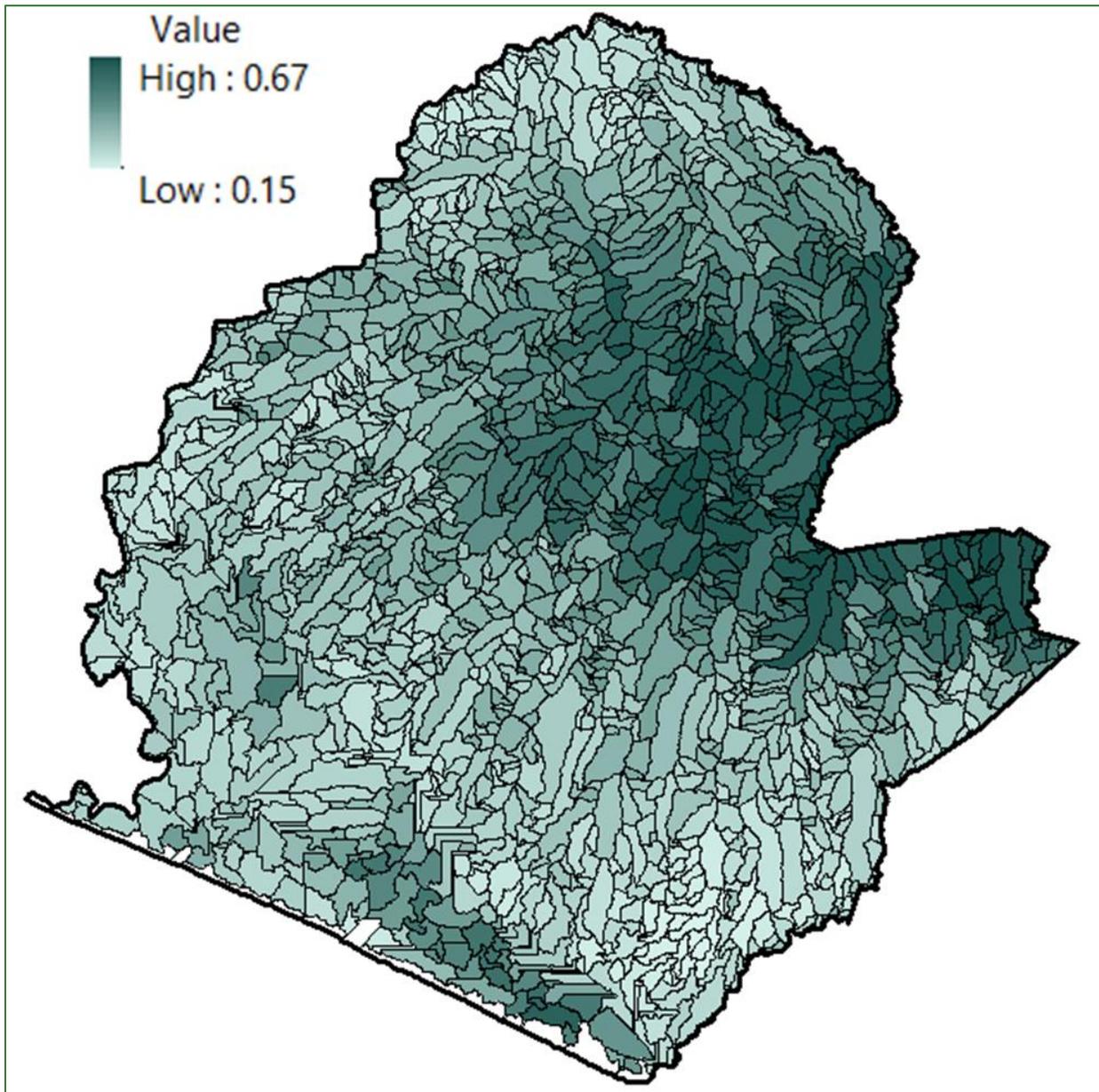
Feature zona data	Zone field	Input value raster	Output raster	Statistics
microcuencas_orde7_clip	Id	carbonoxha.tif	Carbono_tonha_mic7	MEAN



Feature zona data	Zone field	Input value raster	Output raster	Statistics
microcuencas_orde7_clip	Id	indice_conectividad.tif	Conect_mic7	MEAN

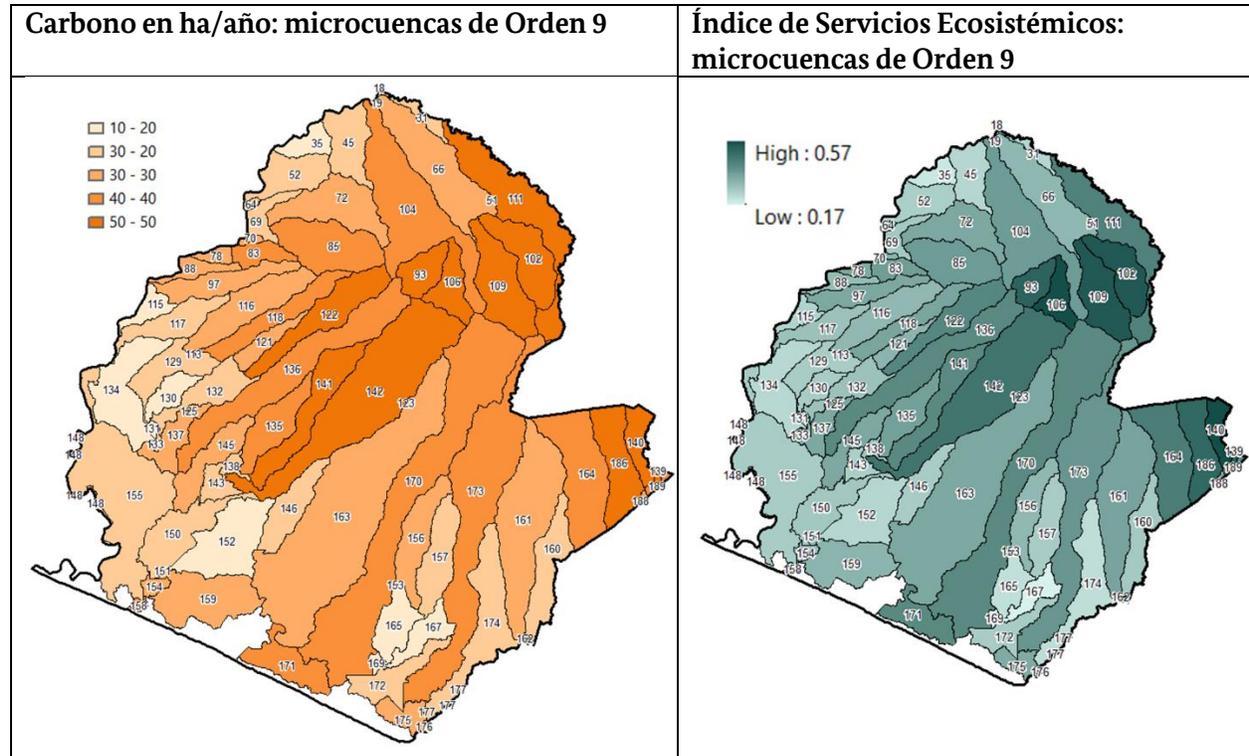
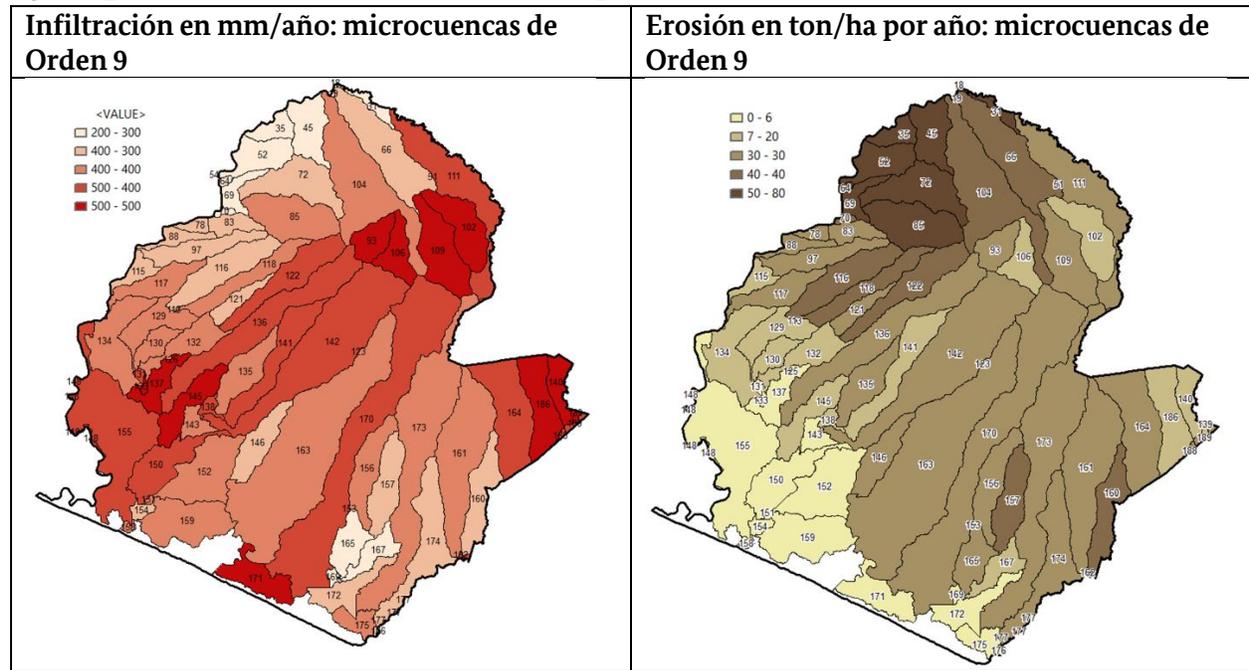


Feature zona data	Zone field	Input value raster	Output raster	Statistics
microcuencas_orde7_clip	Id	Ind_ServiciosEcost.tif	IndServEcos_mic7	MEAN

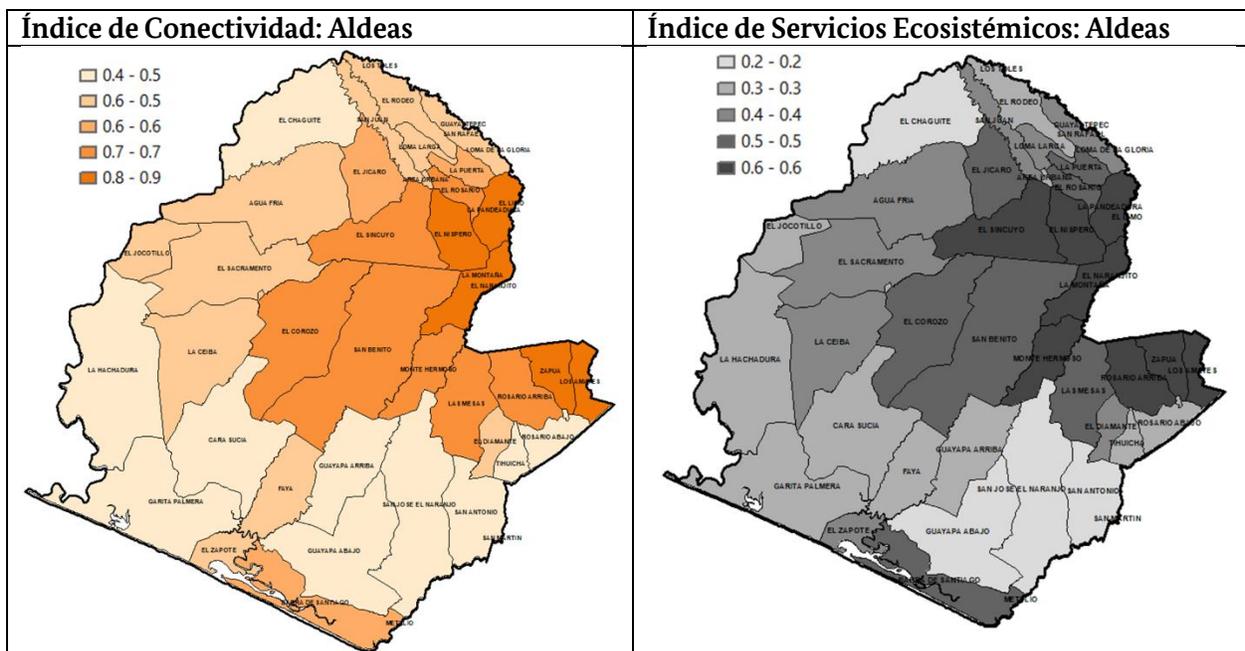
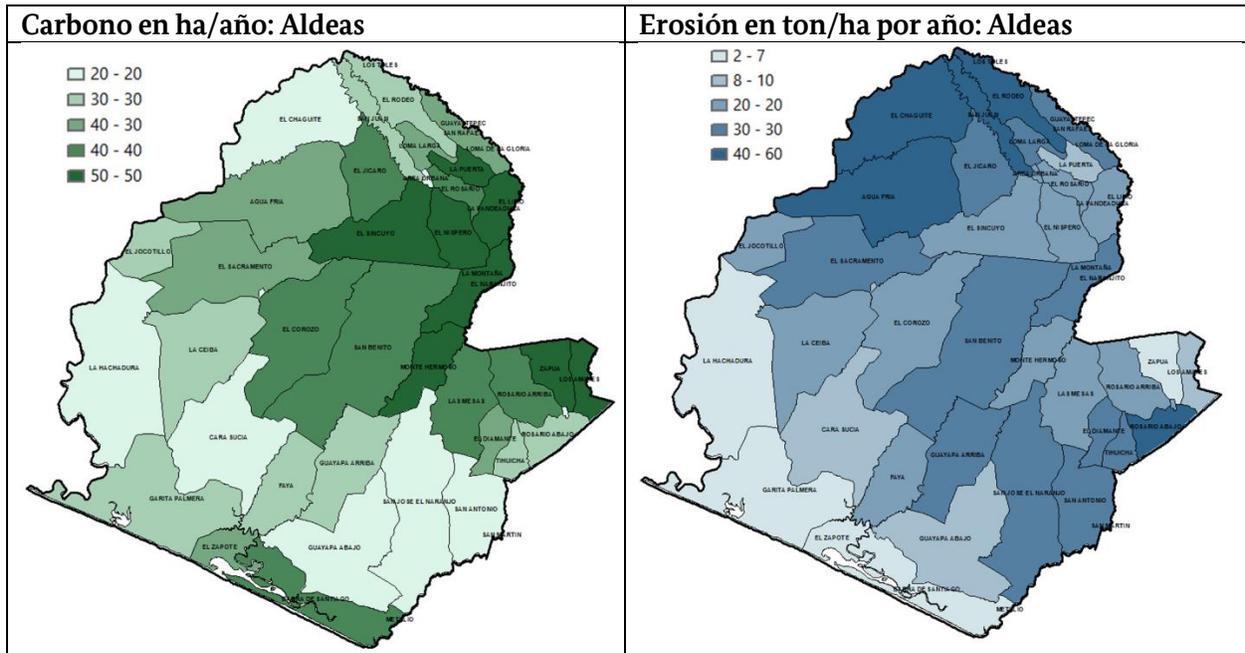


d) También puede aplicar el “Zonal Statistical” para las microcuencas de orden 9 y para generar ráster resúmenes por unidades territoriales como áreas protegidas, microcuencas, municipios, aldeas.

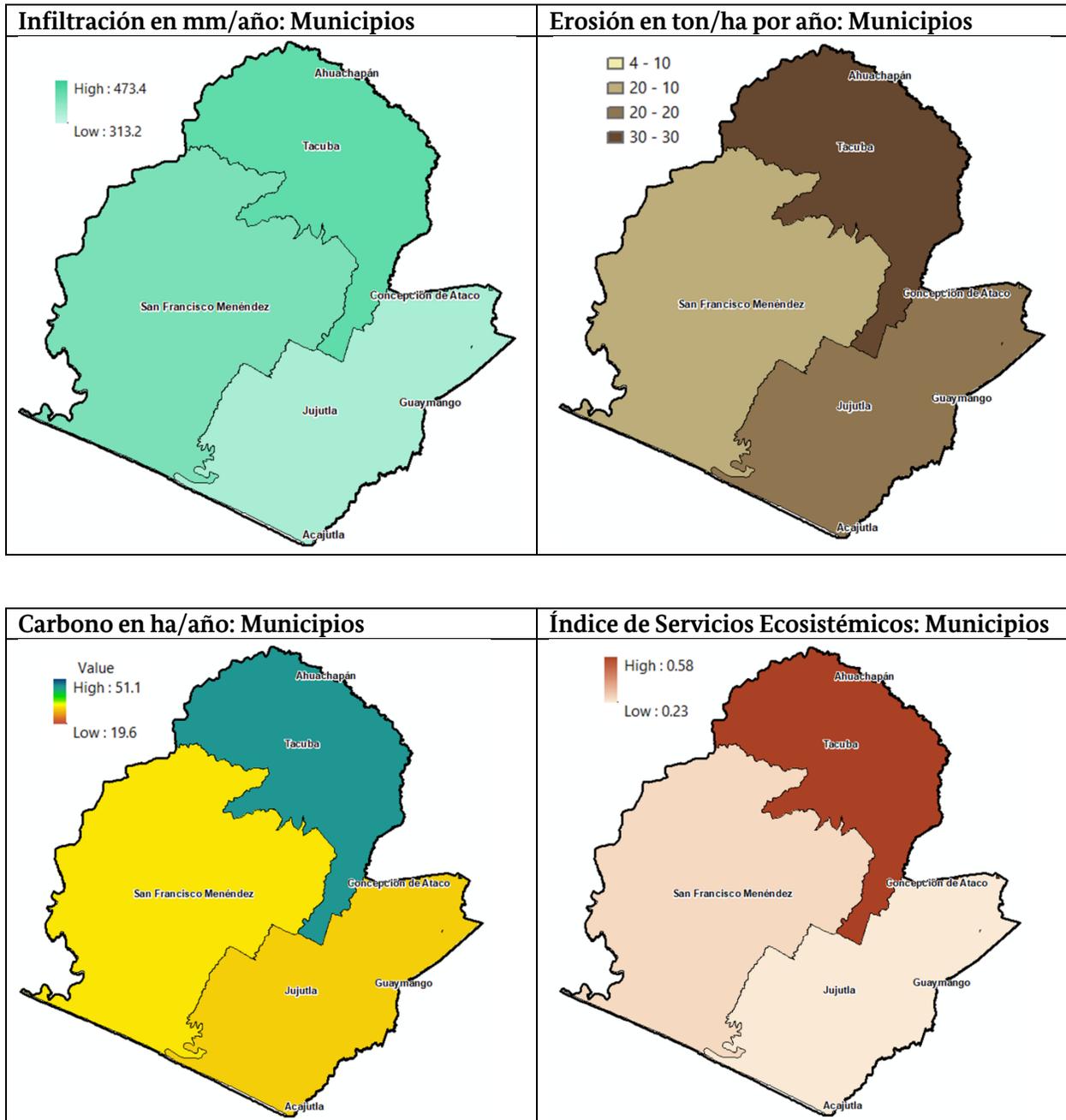
Ejemplo de resumen de valores por microcuenca de orden-9



Ejemplo de resumen de valores por aldea



Ejemplo de resumen de valores por municipio





Anexos

ANEXOS

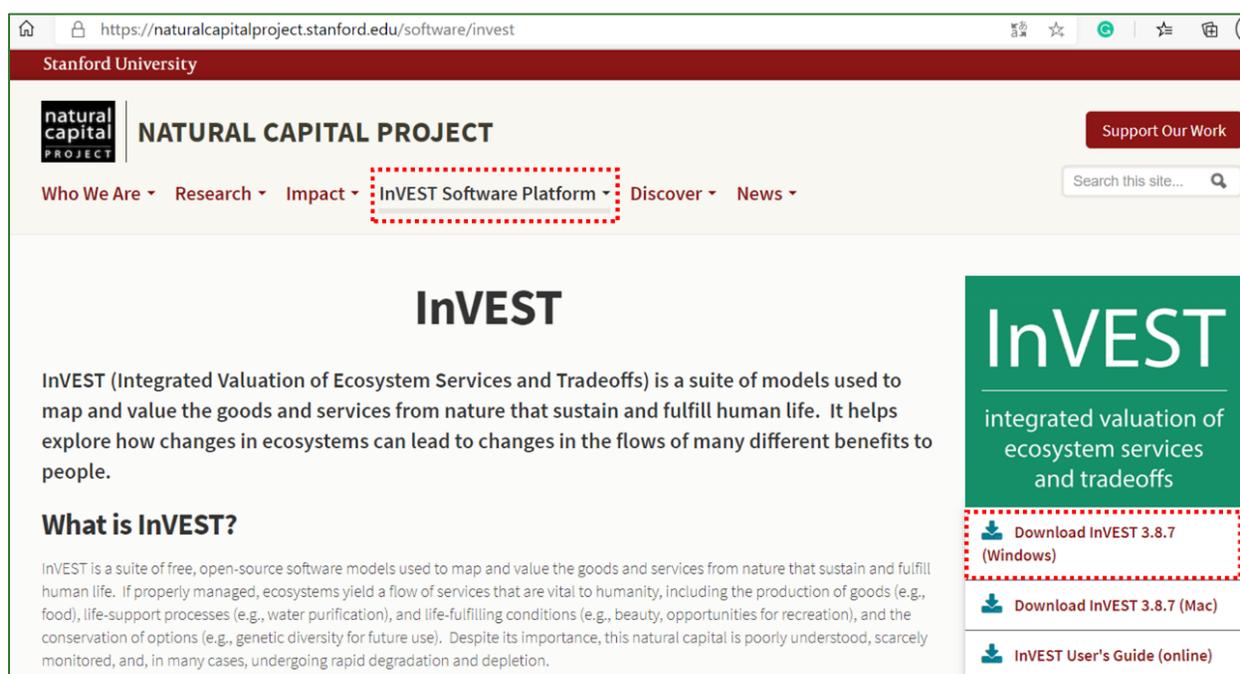
Anexo 1. Obtención del mapa de carbono con el método efecto de borde

Software a utilizar:

- ArcGis 10.x + Extensión Spatial Analyst
- InVEST v3.7

Descargar e instalar InVEST accediendo al siguiente link:

<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/>



The screenshot shows the website for the InVEST software. The header includes the Stanford University logo and the Natural Capital Project logo. A navigation menu contains 'Who We Are', 'Research', 'Impact', 'InVEST Software Platform' (highlighted with a red dashed box), 'Discover', and 'News'. A search bar is located on the right. The main content area features the title 'InVEST' and a description: 'InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) is a suite of models used to map and value the goods and services from nature that sustain and fulfill human life. It helps explore how changes in ecosystems can lead to changes in the flows of many different benefits to people.' Below this is a section titled 'What is InVEST?' with a detailed description of the software's purpose and its open-source nature. On the right side, there is a green box with the InVEST logo and a list of download links: 'Download InVEST 3.8.7 (Windows)' (highlighted with a red dashed box), 'Download InVEST 3.8.7 (Mac)', and 'InVEST User's Guide (online)'.

A continuación, se explica cómo generar el ráster de carbono considerando el efecto de borde.

1. Complete la tabla  "forest_edge_carbon_lu_table.csv" que se encuentre en la carpeta **INPUT** rellenando los campos como se indica a continuación:

⁶ Tabla Forest_edge_carbon_lu_table.csv disponible en:

https://www.dropbox.com/s/1zci3eitb41hbrf/forest_edge_carbon_lu_table.csv?dl=0

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

lucode: código del tipo de cobertura que coincida con el campo “Value” de ráster obtenido en la sección obtención del mapa de carbono llamado **mapa_carbono.tif** ubicado en la carpeta **01_CARBONO/Mapa_Carbono**.

is_tropical_forest: asigne el valor de “1” para la categoría que correspondan a bosque y “0” para no-bosque.

c_above: ingrese los valores de densidad de carbono por encima del suelo para cada tipo de cobertura.

c_below: si cuenta con valores carbono debajo del suelo (raíces) ingréselo aquí. Sino ingrese n/a.

c_soil: si cuenta con valores carbono del suelo ingréselo aquí. Sino ingrese n/a.

c_dead: si cuenta con valores carbono de materia organiza muerta (madera muerta + hojarasca) ingréselo aquí. Sino ingrese n/a.

Description: ingrese el nombre de cada una de las clases del mapa de cobertura.

Ejemplo:

	A	B	C	D	E	F	G
1	lucode	is_tropical_forest	c_above	c_below	c_soil	c_dead	Description
2	1	1	76.69	n/a	n/a	n/a	Arboreo
3	2	0	58.48	n/a	n/a	n/a	Arbustivo
4	3	0	10	n/a	n/a	n/a	Agrícola
5	4	0	0	0	0	0	Urbano
6	5	0	0	0	0	0	Humedal
7	6	0	0	0	0	0	Agua



- Ingrese al módulo de InVEST y especifique los archivos y valores solicitados como se indica a continuación:

Workspace: indique la carpeta donde se almacenarán los resultados, que en este caso ejercicio a **01_CARBONO/Mapa_Carbono**.

Result suffix: corresponde a un sufijo que identificará el ráster de salida. Por ejemplo, puede ingresar el sufijo que identifique el país o la zona de estudio.

Land-Use/Land-Cover Map: ingrese el ráster de tipos de cobertura 01_CARBONO/Mapa_Cobertura/cobertura_project.tif.

Biophysical table: ingrese la tabla de la carpeta INPUT  forest_edge_carbon_lu_table.csv

Carbon Pools to Calculate: indique si quiere calcular todos los depósitos de carbono o solo el almacenado sobre el suelo. Si solo tiene datos de carbono sobre el suelo seleccione la opción “above ground only”.

Compute forest edge effects: al activar esta opción el mapa de carbono será generado considerando el efecto de borde. El cálculo utilizará los modelos desarrollados por Chaplin-Kramer et al. (2015) en donde se considere que al aplicar un factor de carbono de forma homogénea a una zona de boscosa se está sobre-estimando el carbono ya que se ha demostrado que existe una degradación en los bordes del bosque donde el stock de carbono es menor respecto al centro de la masa arbórea.

Global forest carbon edge regression models: agregue el shapefile que contienen los parámetros de los modelos de regresión que se utilizaran el modelado del efecto de borde. Este archivo⁷ se encuentra en la carpeta INPUT con el nombre:

forest_carbon_edge_regression_model_parameters.shp.

Number of nearest model point to average: indique el número modelos de regresión más cercanos a la zona de estudio que se utilizarán para realizar el cálculo considerando el efecto de borde. Si usa el valor de 1 se utilizará el modelo más cercano, si usa más de 1 modelo el resultado suavizará en mayor grado la variación entre píxeles.

Forest Edge Biomass to Carbon Conversion Factor: aunque los datos de la tabla para realizar los cálculos están en términos de carbono, los modelos de regresión para el cálculo del efecto de borden están basados en biomasa, por esa razón se requiere que se indique el factor de conversión de biomasa a carbono. El valor predeterminado es 0,47 (según IPCC 2006).

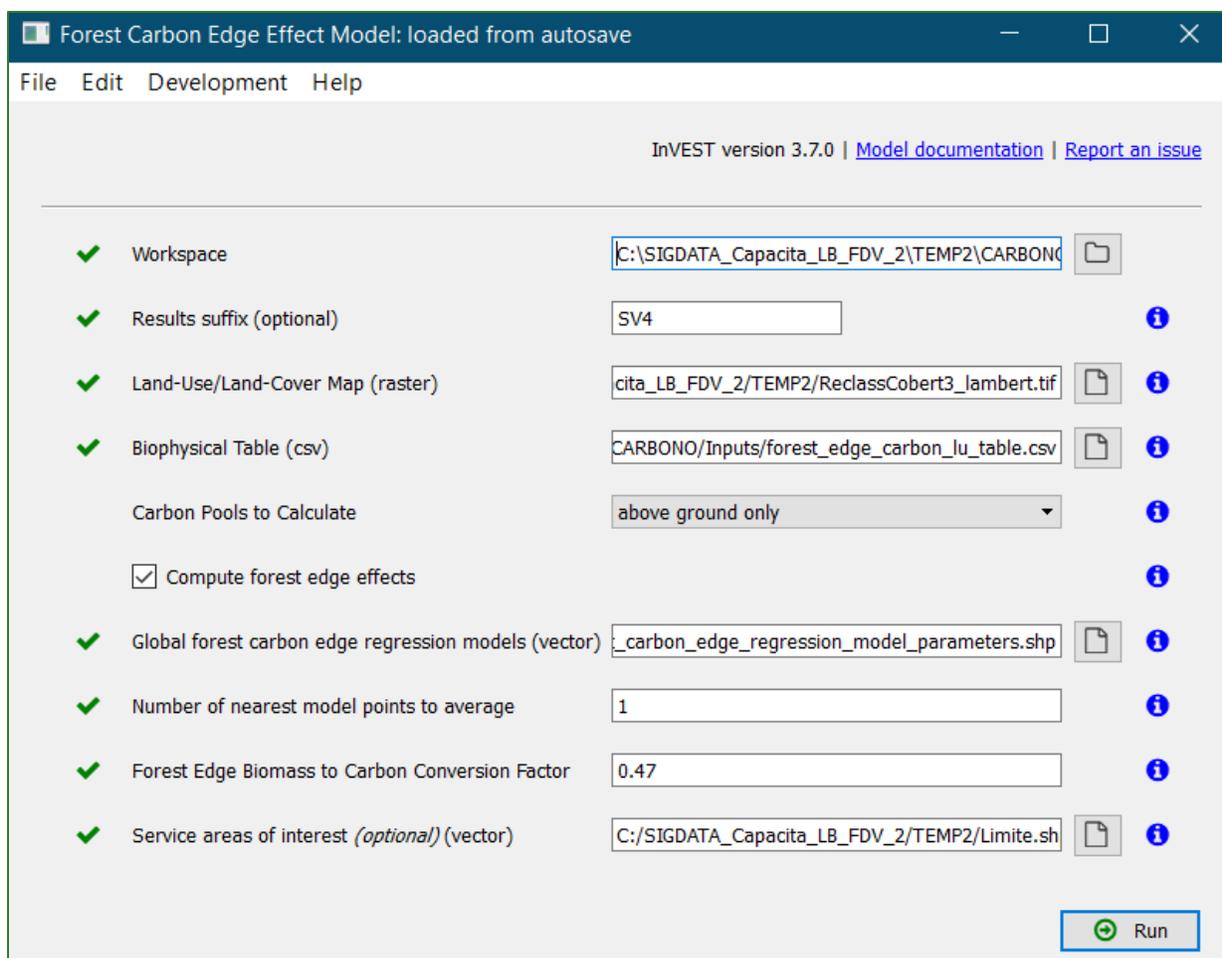
Service areas of interest: ingrese el shapefile de la zona de estudio para el cual se sumará el stock de carbono total. En este ejercicio corresponde a:

01_CARBONO/Zona_Estudio/lim_zona_estudio_project.shp.

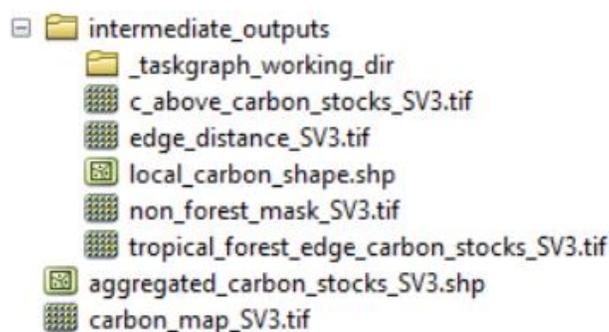
3. Corra el modelo haciendo clic en 

⁷ Archivo disponible en:

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la []generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA



4. Desde ArcGis revise los resultados que se han almacenado en la carpeta:
5. 01_CARBONO/Mapa_Carbono



Los ráster resultante contienen el valor de carbono por píxel (no por hectárea).

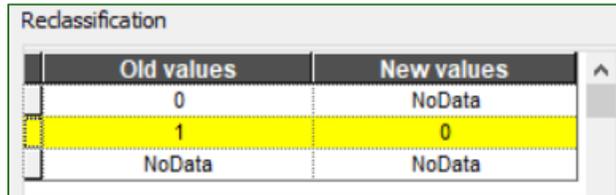
6. De los resultados interesa en este caso el ráster de **tropical_forest_edge_carbon_stocks** que contiene la estimación del carbono aplicando el modelo desarrollado por Chaplin-Kramer et al. (2015). Sin embargo, en este caso nos interesa que los valores estén ajustados a los valores locales, por esta razón el resultado de InVEST se utilizará para obtener un factor de ajuste por efecto de borde. Siga los siguientes pasos:

- a) Utilice el ráster **non_forest_mask** y reclasifíquela para generar una máscara de bosque.



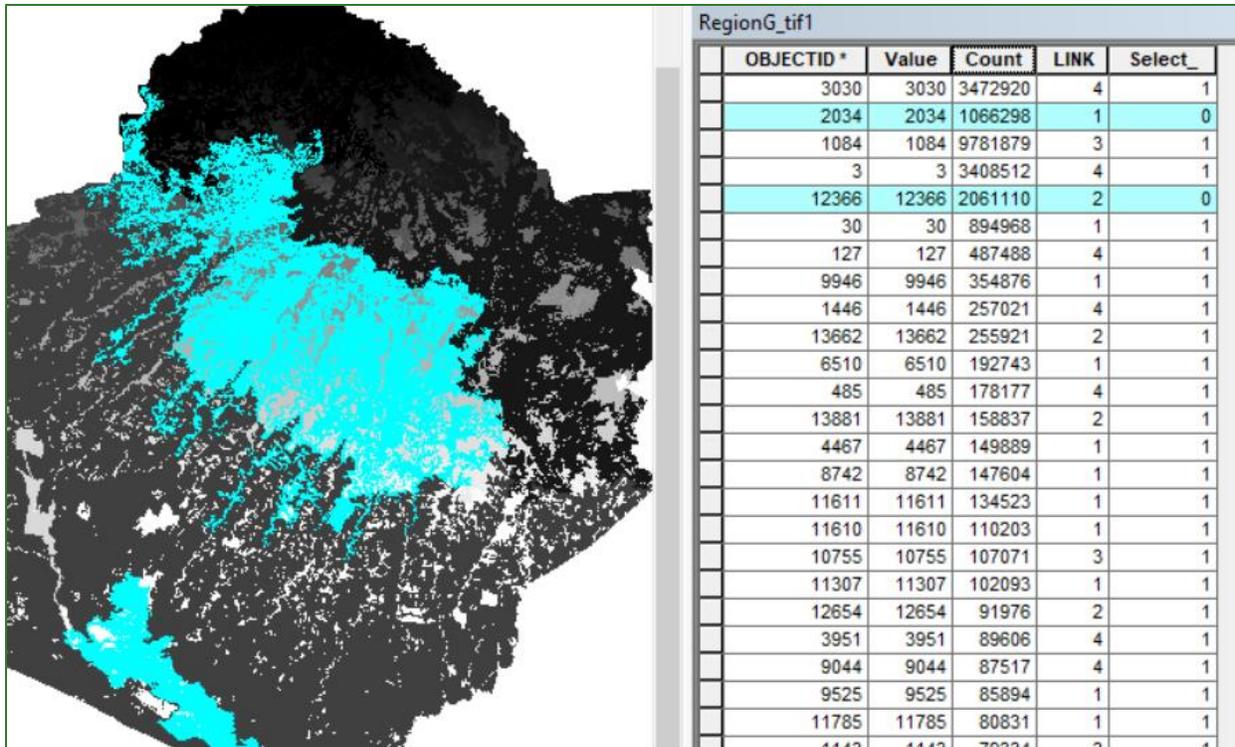
Old values	New values
0	1
1	NoData
NoData	NoData

- b) Use la herramienta **Extract by Mask** para cortar el ráster **tropical_forest_edge_carbon_stocks** contra la **máscara de bosque**.
- c) Luego genere una máscara de no-bosque (como hizo para bosque en el ítem “a”).

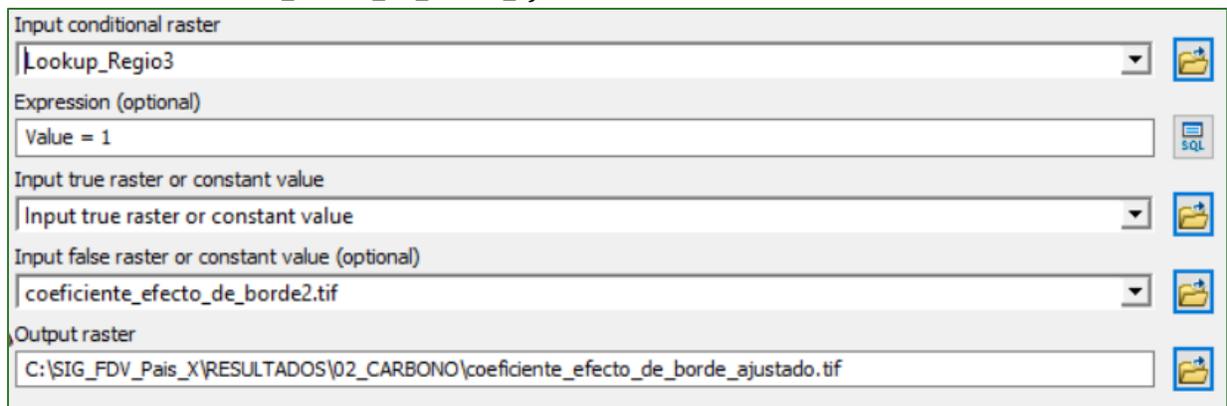


Old values	New values
0	NoData
1	0
NoData	NoData

- d) Usando la herramienta **Mosaic to New Raster** integre las máscara de no bosque (ítem “c”) con el ráster que resultado del ítem “b”. Asegúrese de seleccionar **32_BIT_FLOAT** como **Pixel Type**. Asígnele el nombre **carbono_conborde_xpixel_original**.
- e) Usando la herramienta **Zonal Statistics** obtenga el valor máximo de **carbono_conborde_xpixel_original** respecto a cada tipo de cobertura (**raster cobertura_project.tif**).
- f) Para obtener el factor de ajuste con la calculadora de mapas, dividir el ráster obtenido en “d” entre el ráster de valor máximo obtenido en “e”. Asígnele el nombre **coeficiente_efecto_de_borde.tif**.
- g) Genere una máscara para indicar a que tipos de cobertura no le será aplicado el coeficiente de efecto de borde. Para ello:
- Utilice la herramienta **Region Group** (En Generalization).
 - En el archivo creado ordene los registros de mayor usando el campo **Count**.
 - Agregue un nuevo campo con el nombre **Select**.
 - Selecciones los polígonos a los que le requiere realizar el ajuste.
 - Luego haga una selección inversa y a esos registros asígnele el valor 1 en el campo **Select**.
 - Use la herramienta **Reclass/Lookup** para generar un nuevo ráster a partir del campo **Select**.



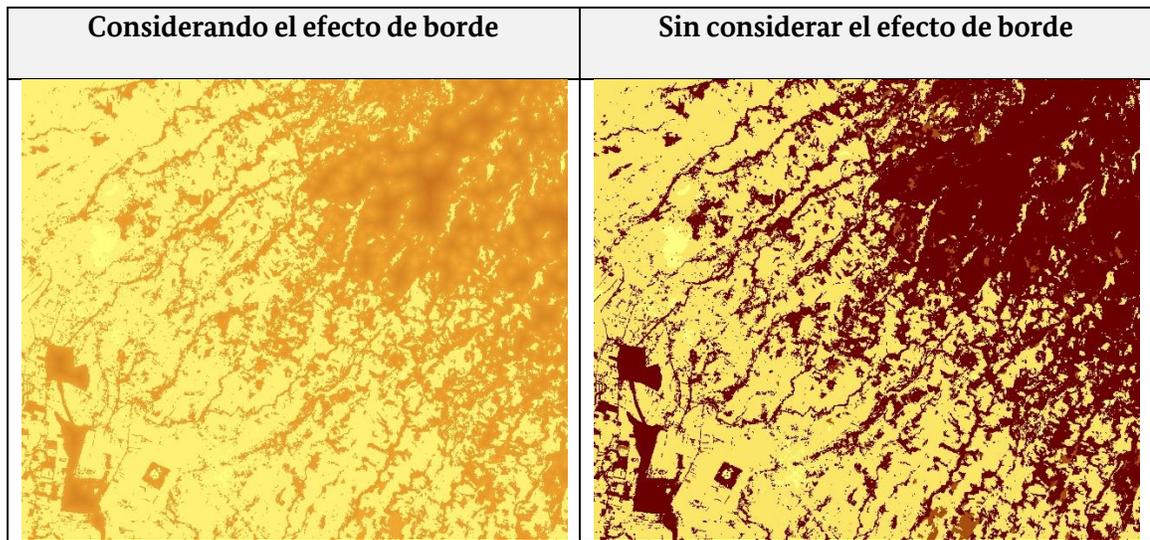
h) Utilice la herramienta condicional (Con) para generar una ráster que contenga los valores de ajuste. Al ráster de salida asigne el nombre de **coeficiente_efecto_de_borde_ajustado.tif**.



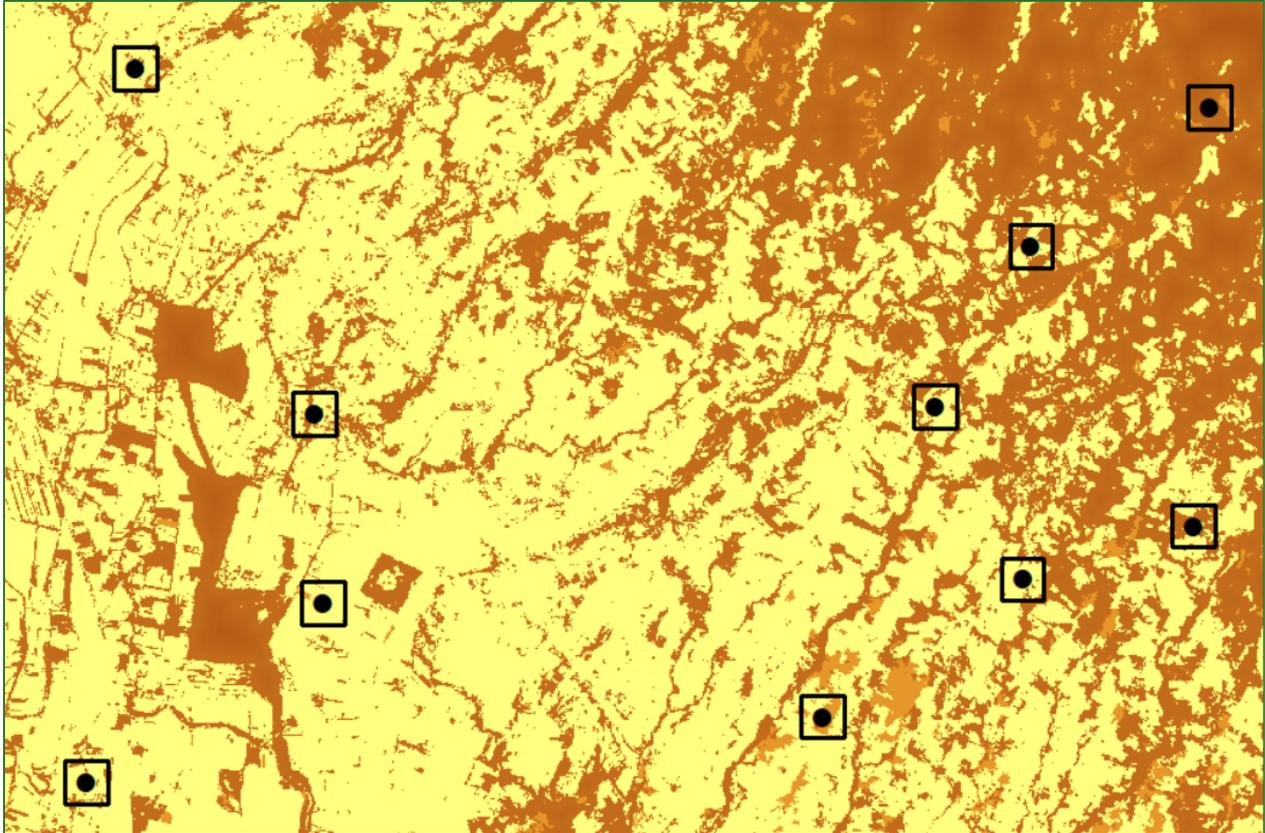
i) Finalmente multiplique el **coeficiente_efecto_de_borde_ajustado.tif** por el ráster de **carbono_sinborde_xpixel.tif**.

El resultado es un ráster donde cada píxel contendrá el valor de carbono por píxel. Para poder convertir a CxHa debe aplicar la siguiente formula = **“RásterCxPixel” * 10000 / “TamañoPixel”^2**.

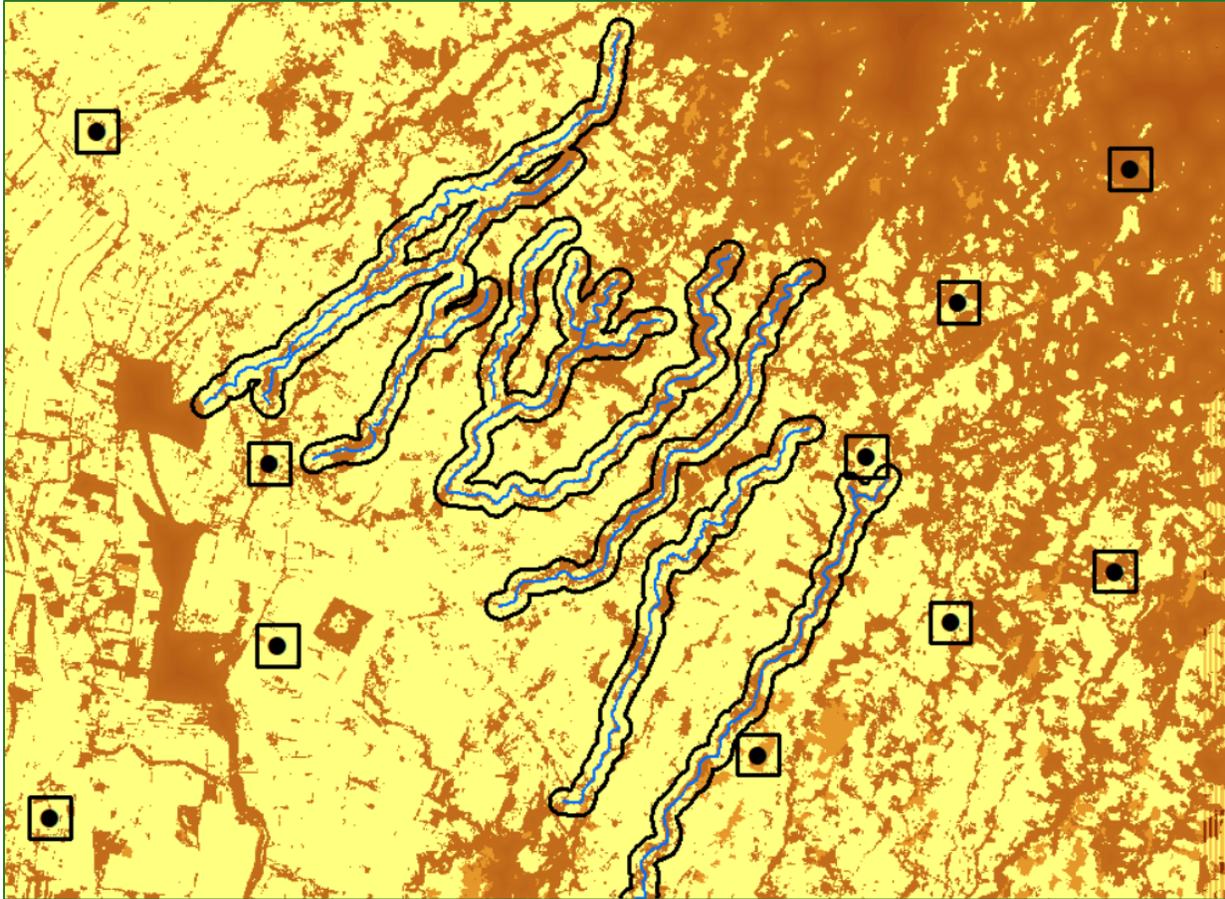
Un ejemplo del resultado, con y sin el cálculo del efecto borde se muestra a continuación:



7. Si considera que el efecto de borde no es tan marcado en su zona de estudio, puede realizar el cálculo considerando y sin considerar el efecto de borde y posteriormente obtener la media de ambos resultados con la herramienta de **ArcGis Spatial Analyst Tools/Local/Cell Statistics**.
8. El mapa de carbono resultante puede utilizarse para calcular el carbono almacenado en una parcela, sitio o finca. Para simular este proceso de cálculo realice el siguiente procedimiento:
 - Genere un shapefile de puntos aleatorios con la herramienta de **ArcGis Data Management Tools/Sampling/Create Random Points**.
 - En cada punto genere parcelas cuadradas de 250 x 250 m con la herramienta de **ArcGis Analysis Tools/Proximity/Graphic Buffer**.



- Si el proyecto prevé otro tipo intervenciones, por ejemplo la recuperación de márgenes fluviales puede generar buffer alrededor de los elementos que serán objeto de conservación, protección y/o restauración.



- Para obtener **una tabla** del total de carbono dentro de cada uno de los polígonos que serán sujetos de intervención obtenga **la sumaria** de los valores de todos los pixeles localizados dentro de cada polígono, utilizando la herramienta: **Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Statistics as Table**, seleccionando en el campo “Statistics type” la opción **SUM** y teniendo cuidado que en el campo **ZoneField** se indique el ID que identifica a cada parcela. A la tabla de salida asígnele el nombre **CarbonoxParcela.dbf**.
- Puede abrir la tabla **CarbonoxParcela.dbf** en Excel y guardarla como XLS para utilizarla en reportes y elaboración de gráficos u realizar cálculos adicionales. Por ejemplo, para convertir el **Carbono a CO2 equivalente** deberá multiplicar el valor de carbono por $44/12 = 3.67$.
- La herramienta de **Zonal Statistics as Table** puede utilizarla para obtener a nivel de parcela o polígonos de intervención otras variables que ya ha calculado y que se encuentran en la carpeta RASTER, por ejemplo:

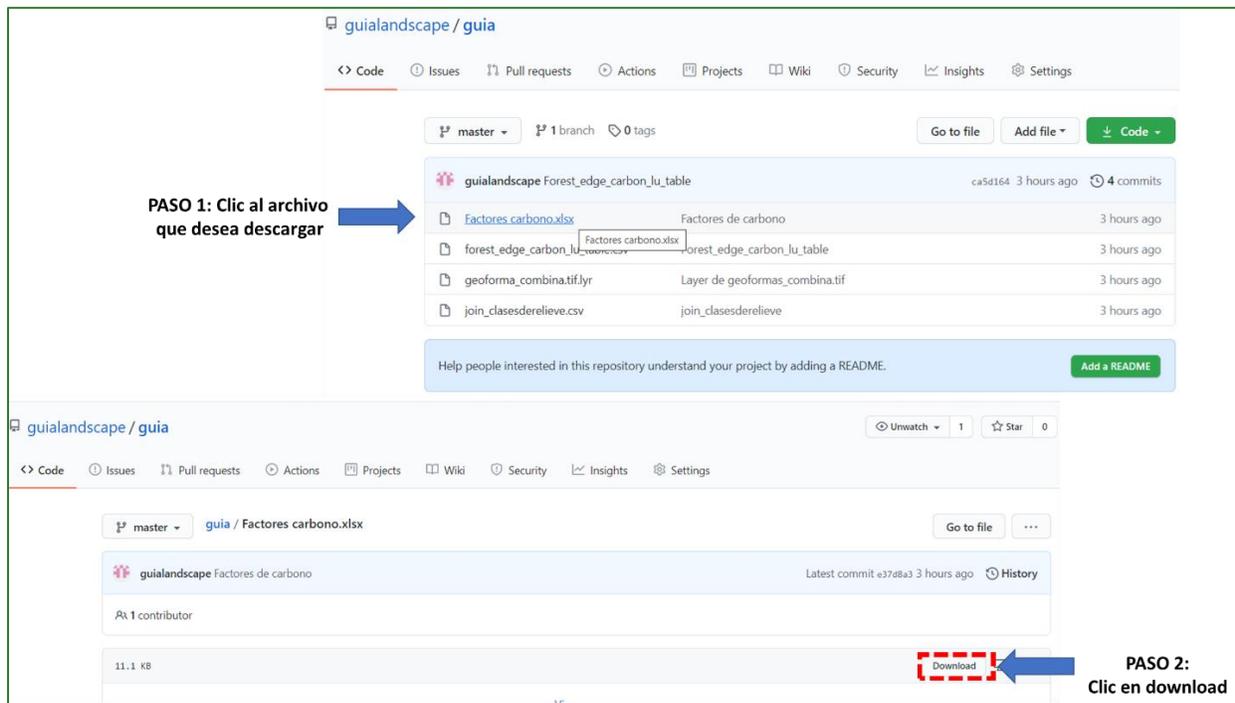
Variable	Ráster	Operación
Altitud promedio	MDT_Corregido.tif	MEAN
Pendiente promedio en grados	Pendiente_grados.tif	MEAN
Pendiente promedio en porcentaje	Pendiente_porcentaje.tif	MEAN
Tipo de relieve predominante	geoforma_combina.tif	MAJORITY
Tipo de cobertura o uso predominante	Mapa de cobertura	MAJORITY

- Finalmente, puede realizar la proyección del carbono que será aumentado en cada polígono asignando el valor de incremento anual de carbono de cada practica y multiplicándolo por el número de años. Por facilidad, se recomienda realizar este cálculo en Excel. Como referencia de incremento anual de carbono por tipo de práctica puede utilizar los valores de la herramienta **FLR Carbon Storage Calculator**: <https://www.winrock.org/flr-calculator/>

Anexo 2: Estructura del documento de línea base

Para optimizar la implementación de la presente guía metodológica, se ha creado un repositorio web en la plataforma GitHub desde la cual podrá tener acceso a las tablas, layers y modelos construidos con la herramienta “Model Builder” de ArcMap para módulos como hidrología y erosión. Además, se encuentran disponibles diferentes hojas electrónicas de cálculo en formato MS Excel que se utilizan en el módulo de infiltración hídrica.

El repositorio web se encuentra en la siguiente dirección: <https://github.com/guialandscape/guia>



The image shows two screenshots of a GitHub repository. The top screenshot displays the repository's file list for the 'Forest_edge_carbon_lu_table' commit. A blue arrow points from the text 'PASO 1: Clic al archivo que desea descargar' to the 'Factores carbono.xlsx' file. The bottom screenshot shows the file's details page, with a red dashed box around the 'Download' button and a blue arrow pointing to it from the text 'PASO 2: Clic en download'.

PASO 1: Clic al archivo que desea descargar

PASO 2: Clic en download

Anexo 3: Estructura del documento de línea base

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA PILOTO

1.1 Ubicación de la zona piloto

- Mapa indicando unidades político-administrativas.
- Lista (o mención) de aldeas o su equivalente (caseríos, cantones, etc.)

1.2 Áreas protegidas y Cobertura Arbórea

- Mapa de cobertura + áreas protegidas.
- Mapa de NDVI.
- Cuadro de superficie de cobertura arbórea por unidad político-administrativa.
- Listar (o mención) áreas protegidas dentro de la zona piloto.

1.3 Topografía

- Mapa de Geoformas (geomorfología).
- Mapa de elevaciones.
- Mapa de pendientes.
- Mapa de textura de suelo.
- Mapa de red hídrica y microcuencas de orden 9.

1.4 Clima

- Mapa de precipitación promedio anual.
- Mapa de temperatura media anual.
- Mapa de evapotranspiración promedio anual.
- Mapa de Balance Hídrico Climático anual.

2. CARBONO FORESTAL

2.1 Introducción

- En que consiste y como se realizó el cálculo (resumen de la metodología).

2.2 Mapas de Stock de Carbono

- Mapa de carbono promedio por ha.
- Mapa de índice de carbono por microcuenca de orden 9.
- Mapa de índice de carbono por unidad político-administrativa.

2.3 Tablas/gráficos resúmenes de Stock de Carbono

- Cuadro de Toneladas de carbono/ha promedio por tipo de cobertura (mostrar también CO₂ y biomasa).

- Cuadro de Toneladas Totales de carbono por unidad político-administrativa (mostrar también CO2 y biomasa).
- Gráfico resumen de índice de carbono por unidad político-administrativa.

3. INFILTRACIÓN

3.1 Introducción

- En que consiste y como se realizó el cálculo (resumen de la metodología).

3.2 Mapas de Infiltración hídrica

- Mapa de infiltración promedio en mm/año.
- Mapa de índice de infiltración por microcuenca de orden 9.
- Mapa de índice de infiltración por unidad político-administrativa.

3.3 Tablas/gráficos resúmenes de Infiltración hídrica

- Cuadro de mm de infiltración promedio por tipo de cobertura.
- Cuadro de m3 de infiltración total por unidad político-administrativa.
- Gráfico resumen de índice de infiltración por unidad político-administrativa.

4. EROSION

4.1 Introducción

- En que consiste y como se realizó el cálculo (resumen de la metodología).

4.2 Mapas de erosión potencial

- Mapa de erosión promedio en ton/ha/año.
- Mapa de índice de erosión por microcuenca de orden 9.
- Mapa de índice de erosión por unidad político-administrativa.

4.3 Tablas/gráficos resúmenes de erosión potencial

- Cuadro de erosión promedio por tipo de cobertura (ton/ha/año).
- Cuadro de erosión total por unidad político-administrativa (ton/ha/año).
- Gráfico resumen de índice de erosión por unidad político-administrativa.

5. CONECTIVIDAD

5.1 Introducción

- En que consiste y como se realizó el cálculo (resumen de la metodología).

5.2 Mapas de conectividad biológica del paisaje

- Mapa de parches objetivos y corredores óptimos.
- Mapa de índice de conectividad por microcuenca de orden 9.

- Mapa de índice de conectividad por unidad político-administrativa.

5.3 Tablas/gráficos resúmenes de conectividad biológica del paisaje

- Gráfico resumen de índice de conectividad por unidad político-administrativa.

5. INDICE INTEGRADO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

5.1 Introducción

- En que consiste y como se realizó el cálculo (resumen de la metodología).

5.2 Mapas del índice integrado de servicios ecosistémicos

- Mapa que muestra en una sola página los diferentes índices calculados.
- Mapa del índice integrado de servicios ecosistémicos.
- Mapa de índice integrado de servicios ecosistémicos por microcuenca de orden 9.
- Mapa de índice integrado de servicios ecosistémicos por unidad político-administrativa.

5.3 Tablas/gráficos resúmenes del índice integrado de servicios ecosistémicos

- Gráfico resumen del índice integrado de servicios ecosistémicos.



Guía metodológica sobre la definición de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes

Guía metodológica sobre la definición de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes

La restauración de paisajes es una forma de optimizar el uso del suelo, generalmente para devolver un paisaje a un estado en el que cuente con un conjunto mínimo de características biofísicas, por ejemplo, suministro de agua limpia, incorporación de la biodiversidad o simplemente devolver un sitio muy degradado a un nivel aceptable de funcionamiento. El ecosistema no necesariamente tiene que tratar de imitar su estado original.

La Restauración del Paisaje se puede definir como un proceso continuo de recuperación de las funciones ecológicas de los bosques y de mejoramiento del bienestar humano. El proceso es más que únicamente plantar árboles, se trata de la restauración de todo un paisaje para satisfacer las necesidades presentes y futuras, así como ofrecer beneficios y usos de suelo múltiples a lo largo del tiempo.

El objetivo principal de la presente guía consiste en poner a disposición de los usuarios una metodología que permite promover el enfoque de restauración integral a escala de paisaje, orientado a recuperar la funcionalidad de los ecosistemas y suelos degradados mediante la generación de los servicios ecosistémicos, la resiliencia de los territorios y comunidades ante los impactos del cambio climático”.

A través de la presente metodología se identificará desde el punto de vista biofísico un verdadero y más amplio enfoque de paisajes. Se busca aplicar herramientas de análisis geoespacial a una escala de proyecto con una perspectiva biofísica y desde el punto de vista de la prestación de servicios ecosistémicos. Se buscará identificar la aptitud de los suelos para restauración, tomando en cuenta elementos como la conectividad ecológica en el contexto del cambio climático. En este sentido, se realizarán una serie de análisis para definir diversos índices de aptitud como:

- Restauración de bosque de galería
- Restauración de pastizales arbolados
- Restauración de pastizales no arbolados
- Restauración de cafetales
- Restauración con agroforestería
- Reforestación
- Restauración de bosques secundarios o degradados

Nota: la guía sobre la definición de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes está desarrollada con un ejemplo asociado a un proyecto localizado en El Salvador, en ese sentido, si

Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la []generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

ejecuta la guía en otro país será necesario incorporar cartografía base específica como uso de suelo (en la cual se definan las clases de pastos y agricultura), un mapa en el cual se identifiquen las ganancias de bosque, y un mapa de cobertura de la tierra en la cual se definan las clases de bosque.

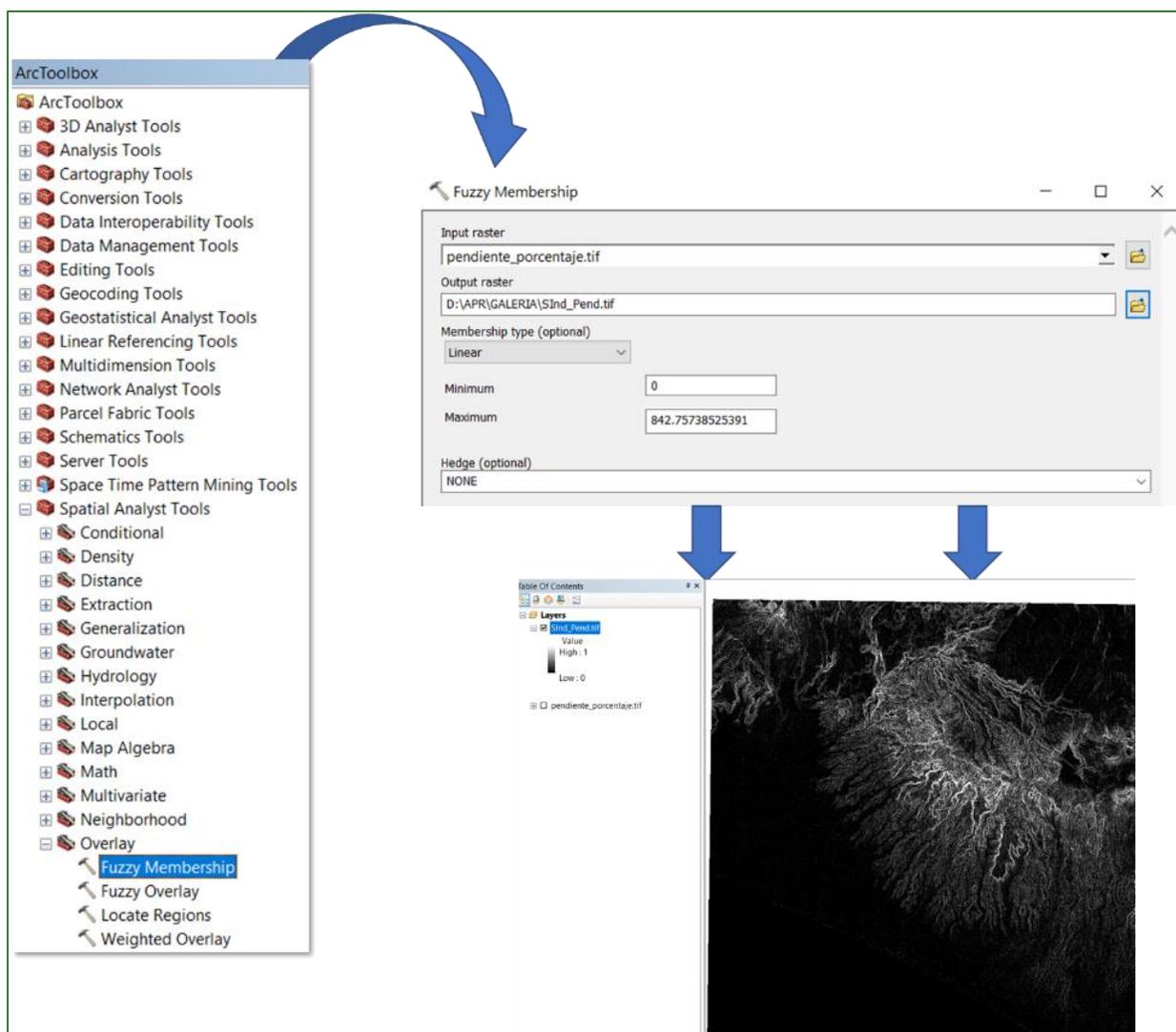
parte 1. Índice de aptitud para la restauración de bosque de galería (irbg)

Los bosques de galería son ecosistemas dependientes de cursos o cuerpos de agua con una matriz variable de vegetación, inmersos en cuencas hidrográficas. Estas zonas cumplen funciones esenciales para la preservación de ecosistemas y sus relaciones territoriales, influyendo en el paisaje en términos de riqueza y belleza natural, a la vez que suministran bienes y servicios para la biota y el bienestar humano. Por lo tanto, en cualquier unidad territorial, es necesario determinar la calidad e importancia de los ecosistemas ribereños, ya que constituyen una fuente de recursos económicos y servicios ecosistémicos.

Para la obtención del índice de aptitud para la restauración de bosque de galería, deberá crear una carpeta principal o carpeta raíz denominada **APR** que significa Aptitud Prácticas de Restauración (APR); dentro de esta carpeta, deberá crear una subcarpeta con el nombre **GALERIA**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 1, serán almacenados en la carpeta **APR/GALERIA**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde el directorio de la guía **LÍNEA BASE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**.

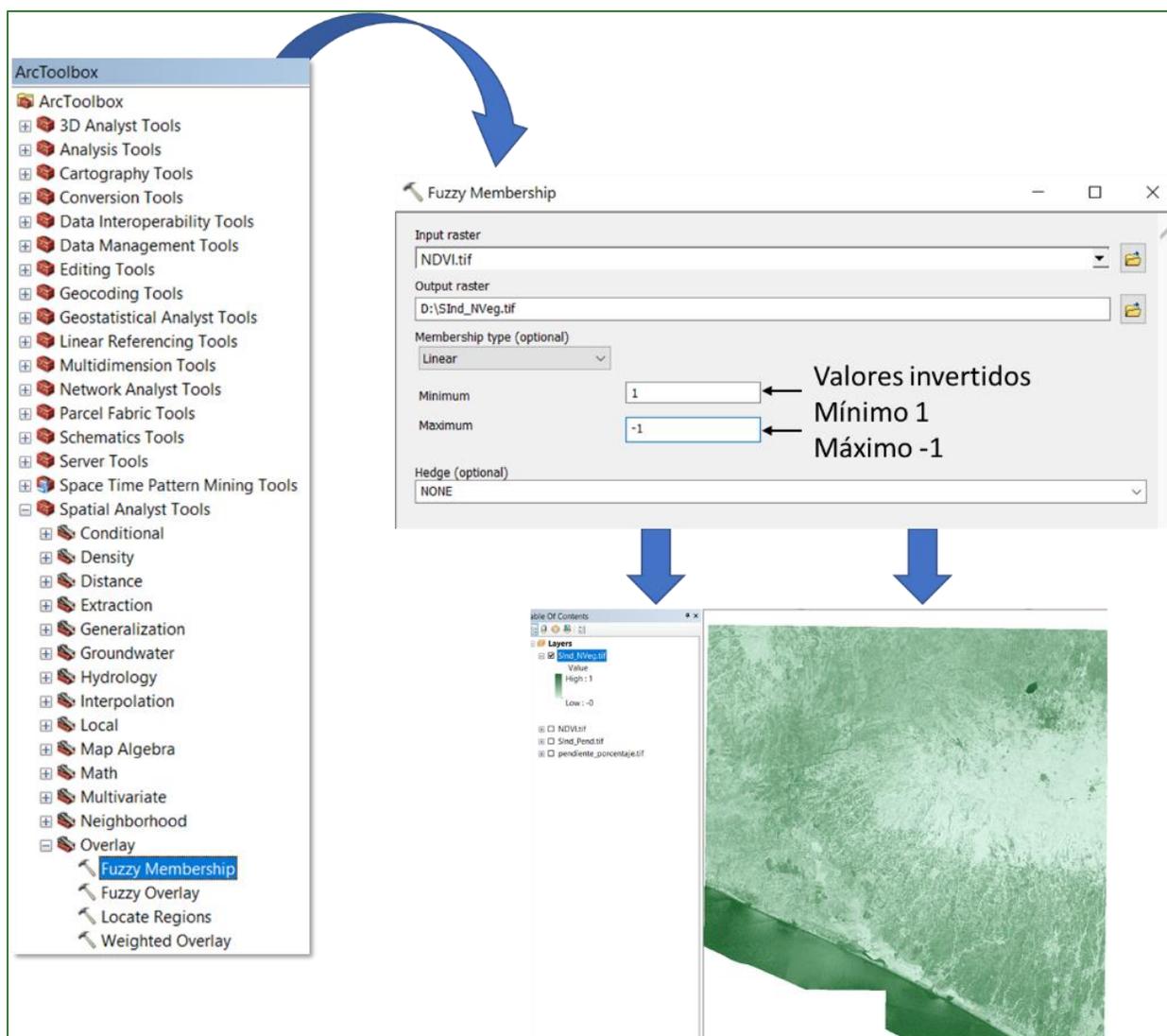
Paso 1: subíndice pendiente

Utilice la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos de la pendiente del terreno, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de la pendiente, en este sentido, se define que entre mayor es la pendiente, mayor aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **pendiente_porcentaje.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **SInd_Pend.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 2: subíndice No-Vegetación

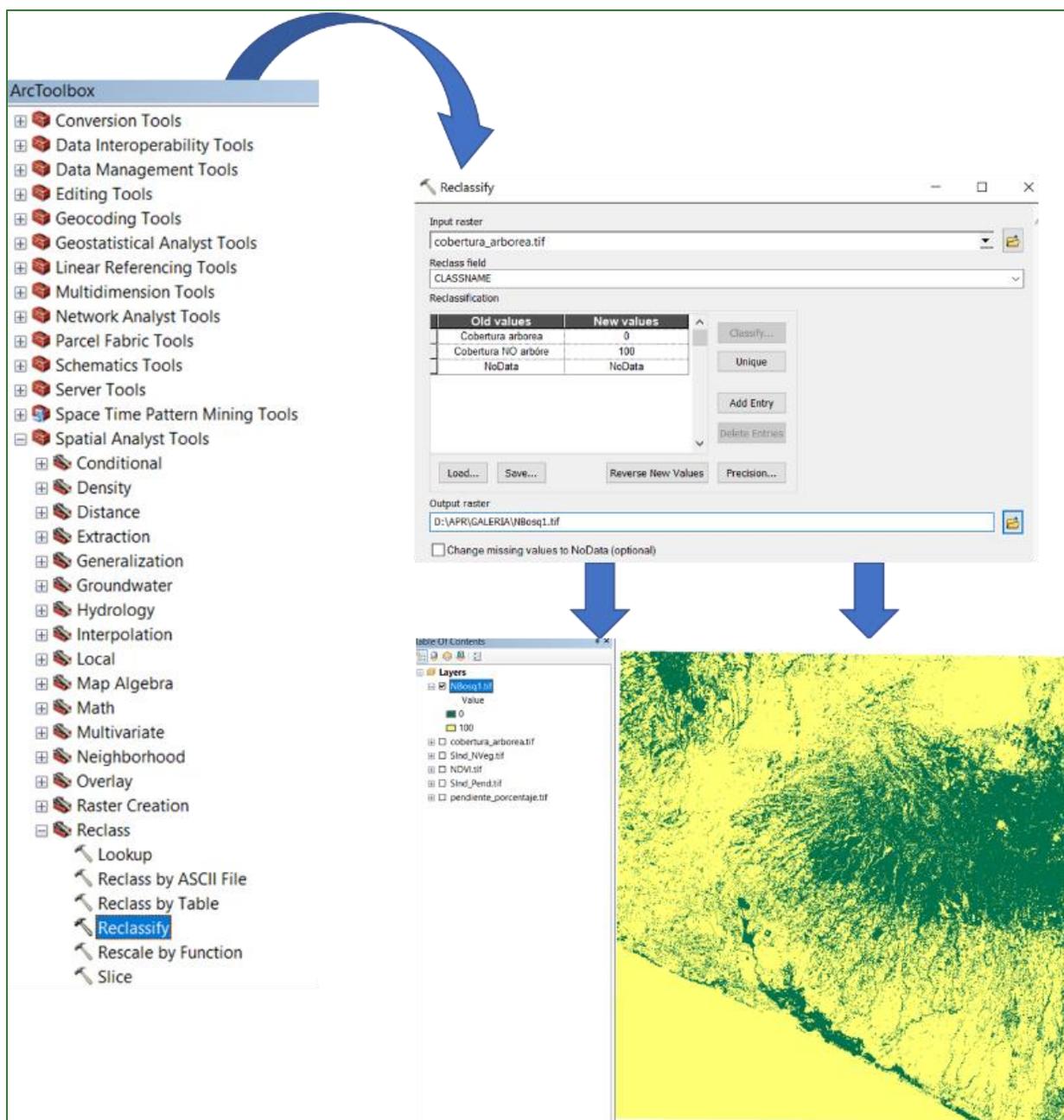
Utilice la herramienta **“Fuzzy Membership” (Lineal Invertido)** para normalizar los datos del NDVI, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos del NDVI, en este sentido, se define que entre menor es la cantidad de vegetación (NDVI), mayor aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **NDVI.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **SInd_NVeg.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 3: subíndice No-Bosque

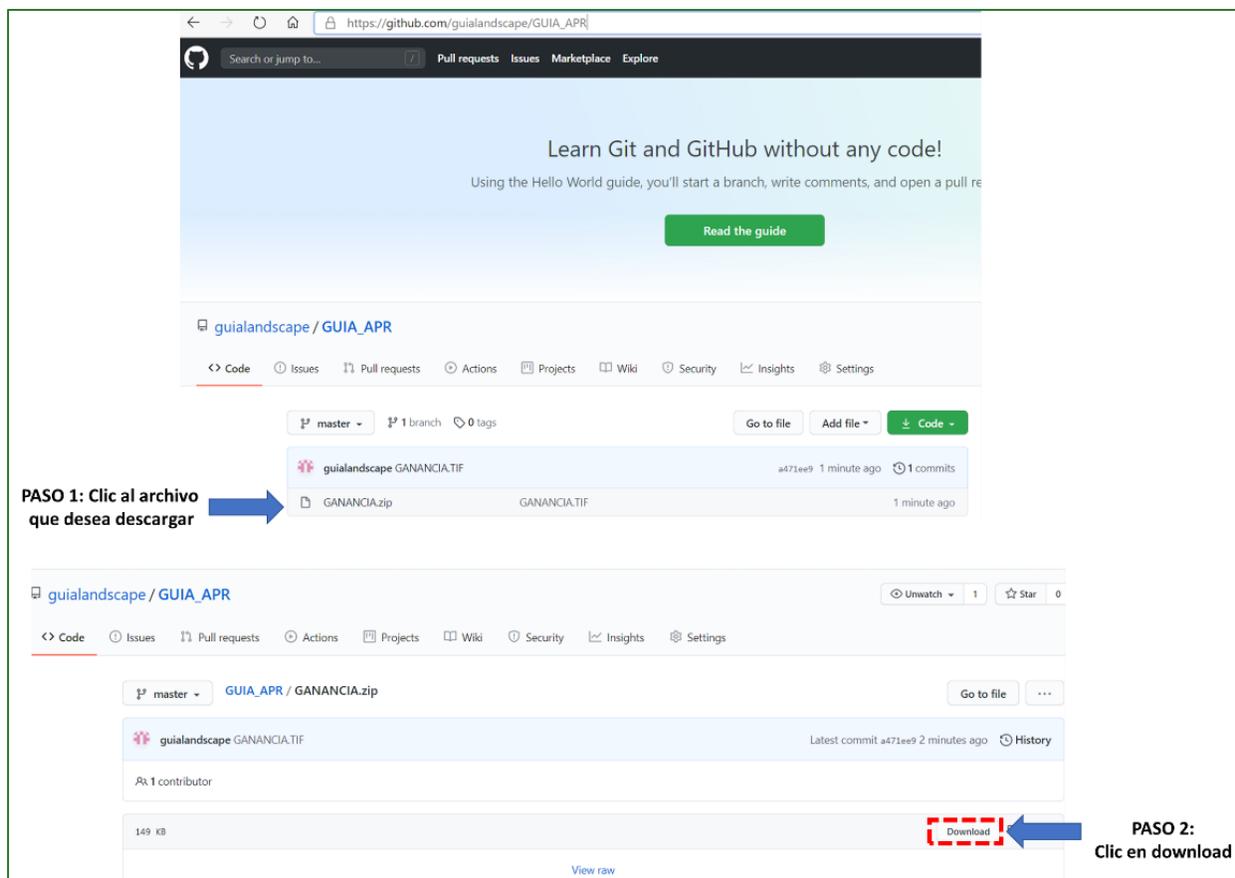
Aquí generaremos dos capas, una corresponde a no-bosque Establecido y otra a no-bosque en crecimiento, a continuación, se detallan los pasos.

Paso 3.1: no-bosque establecido: esta capa se genera mediante una reclasificación del mapa de cobertura arbórea, por lo tanto, utilice la herramienta **“Reclassify”** ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**, como archivo de entrada utilice el ráster **cobertura_arborea.tif**, asigne valor de 100 a la categoría de cobertura no arbórea y valor de 0 a la categoría de cobertura arbórea. Al archivo de salida nómbrela **NBosq1.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 3.2: no-bosque en crecimiento:

Esta capa se genera a partir del ráster llamado **ganancias.tif**, este archivo se encuentra localizado en un repositorio web en GitHub, puede bajarlo desde el siguiente link https://github.com/guialandscape/GUIA_APR y almacene el archivo en una subcarpeta dentro de galería llamada **GANANCIAS (APR/GALERIA/GANANCIA)**.



Realice una reclasificación de la capa descargada llamada **ganancias.tif**. Utilice la herramienta “Reclassify” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el ráster **ganancias.tif** y aplique los siguientes parámetros:

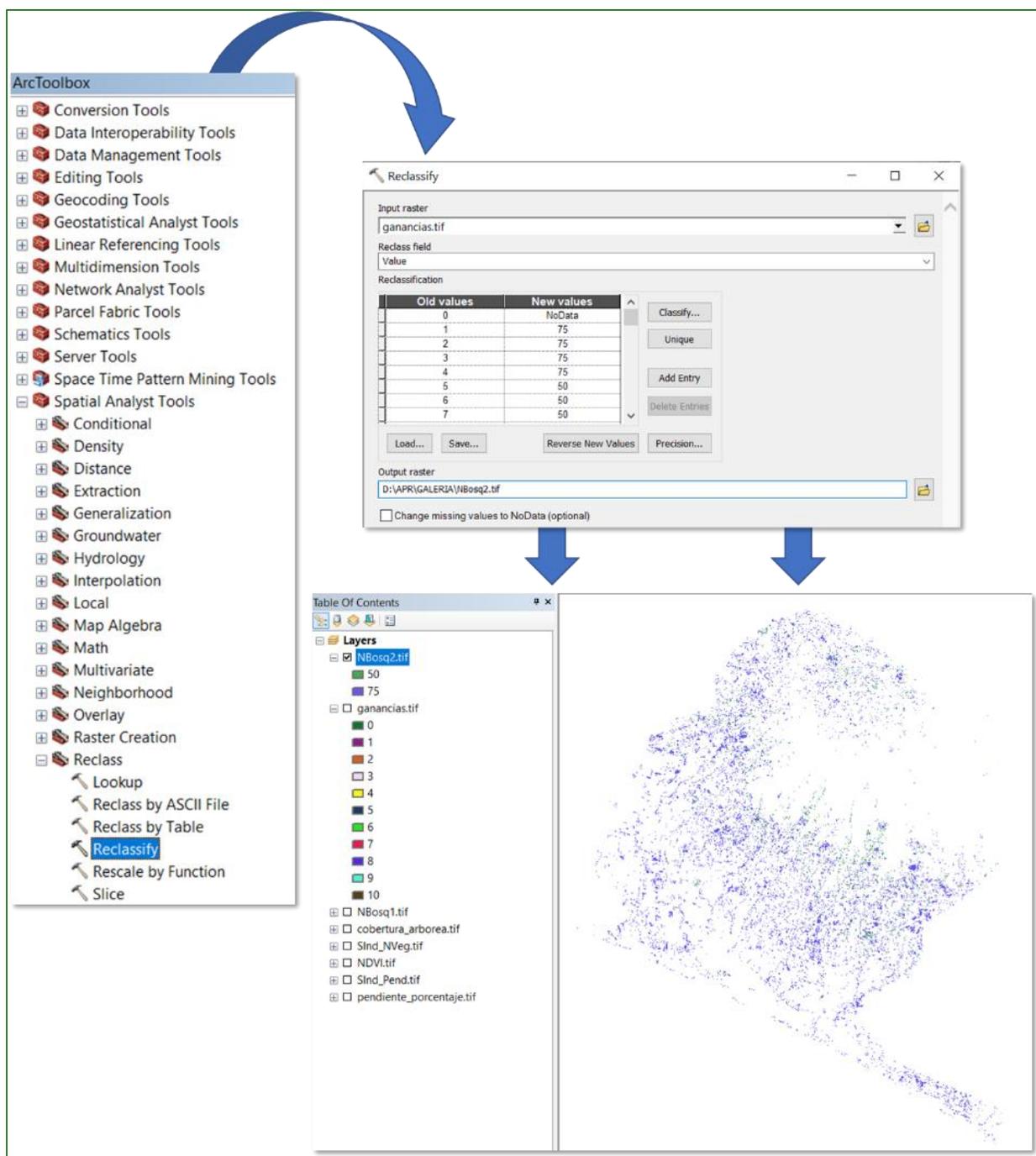
Reclassify:

0 = NoData

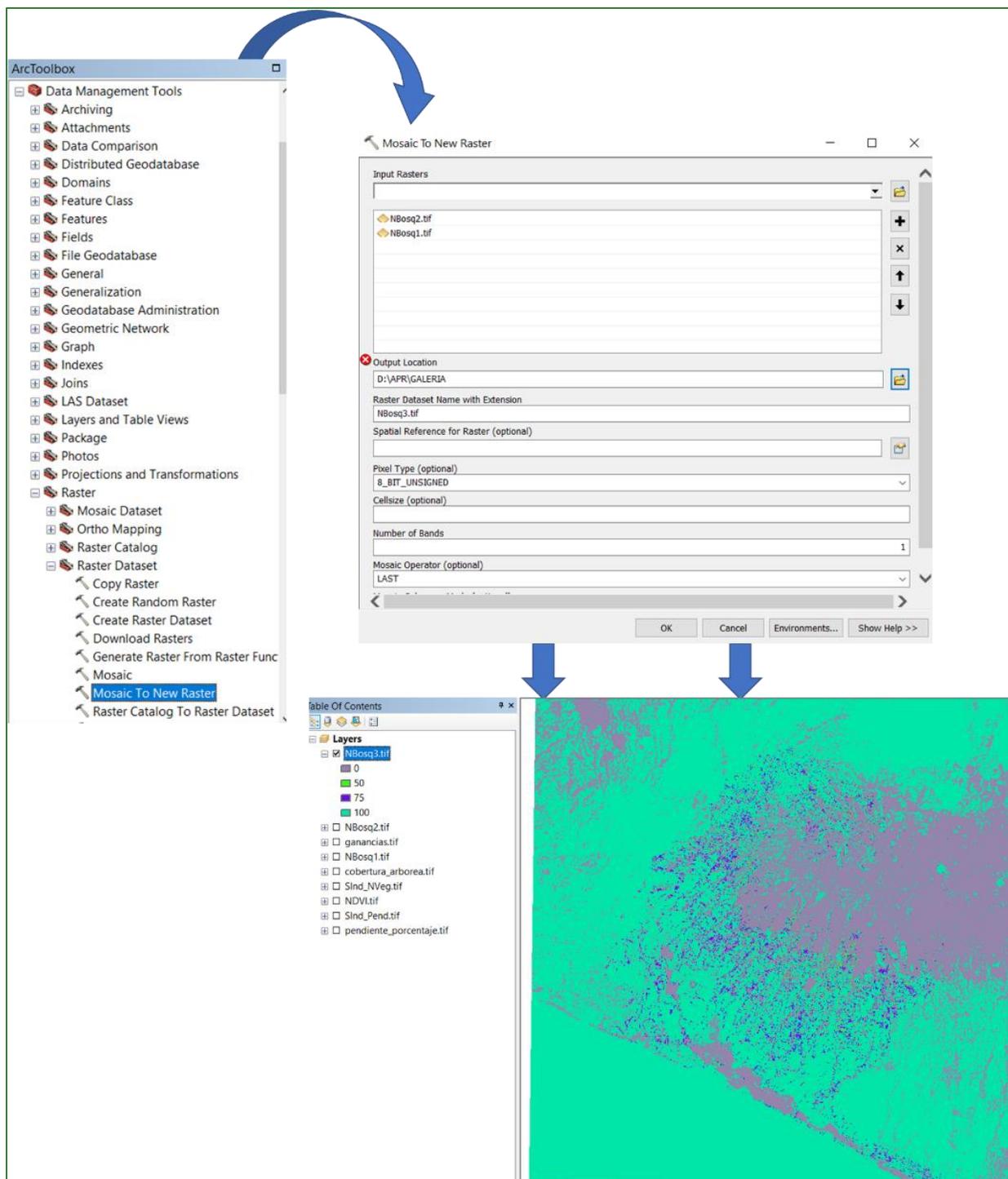
2-5m = 75

>= 5m =50

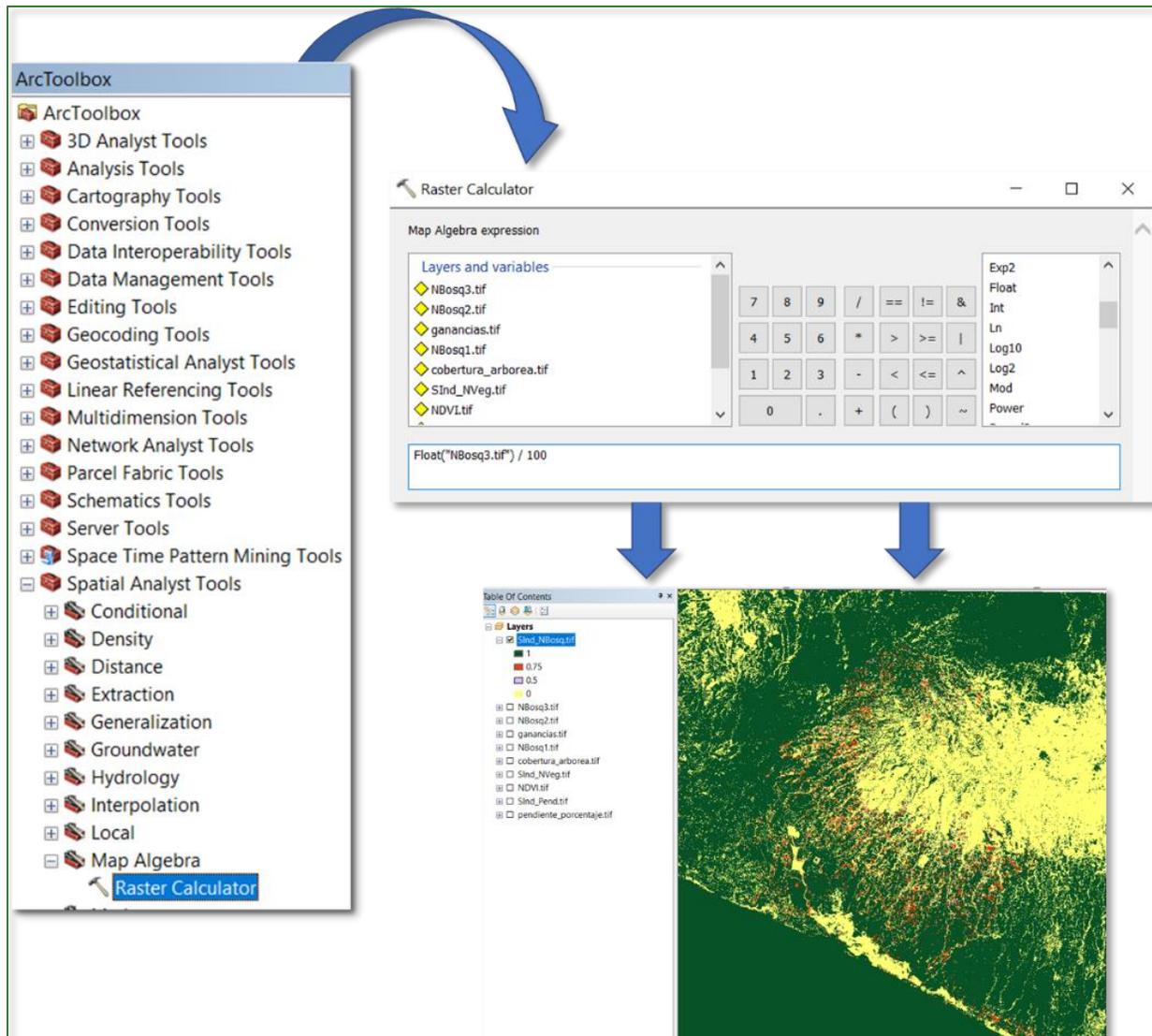
Al archivo de salida nómbrelo **NBosq2.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 3.3: mosaico: Con las dos capas generadas anteriormente, genere un nuevo mosaico aplicando la herramienta “**Mosaic To New Raster**” ubicada en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster**. Como archivo de entrada utilice los archivos **NBosq1.tif** y **NBosq2.tif** (**NBosq2.tif** queda encima de **NBosq1.tif**) y al archivo de salida nómbrelo como **NBosq3.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 3.4: subíndice no-nosque: Aplique una calculadora de ráster tipo FLOAT y convierta a números decimales los valores del ráster creado anteriormente (**NBosq3.tif**), la herramienta **“Raster Calculator”** la encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **SInd_NBosq.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 4: subíndice Distancia:

Paso 4.1: buffer de ríos:

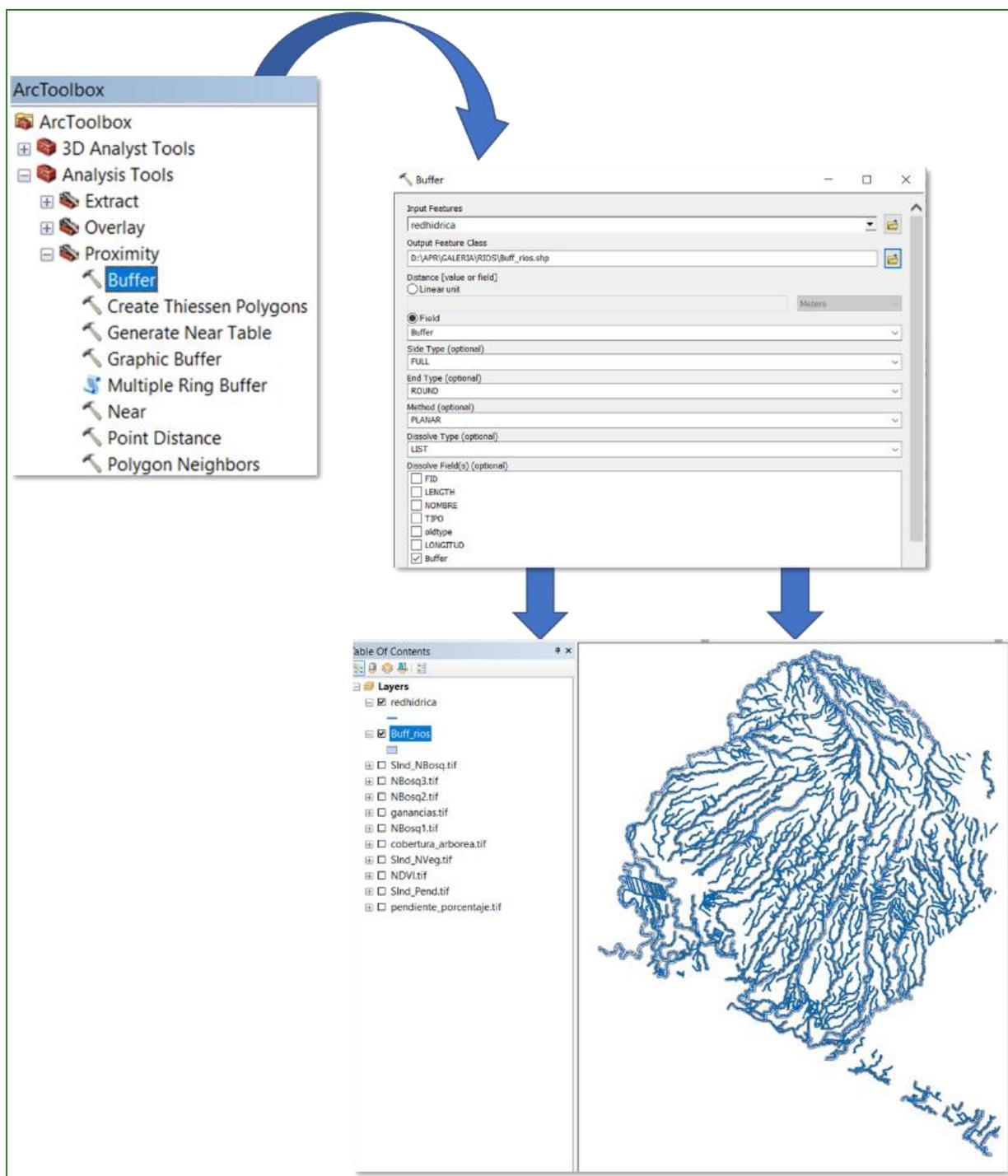
Aquí aplicará una serie de procesos mediante el cual generará una capa de aptitud para restauración en las zonas de galería, por lo tanto, utilice un archivo shapefile de **redhídrica.shp** que se encuentra localizado en un repositorio web en GitHub, puede bajarlo desde el siguiente link https://github.com/guialandscape/GUIA_APR y almacene el archivo en una subcarpeta dentro de galería llamada **RIOS (APR/GALERIA/RIOS)**.

Agregar campo numérico “Buffer” a la Tabla de Atributos del redhidrica.shp con los valores:

- Ríos Principales (P) = 150
- Ríos Secundarios (S) = 100
- Terciarios o Quebradas (Q) = 50

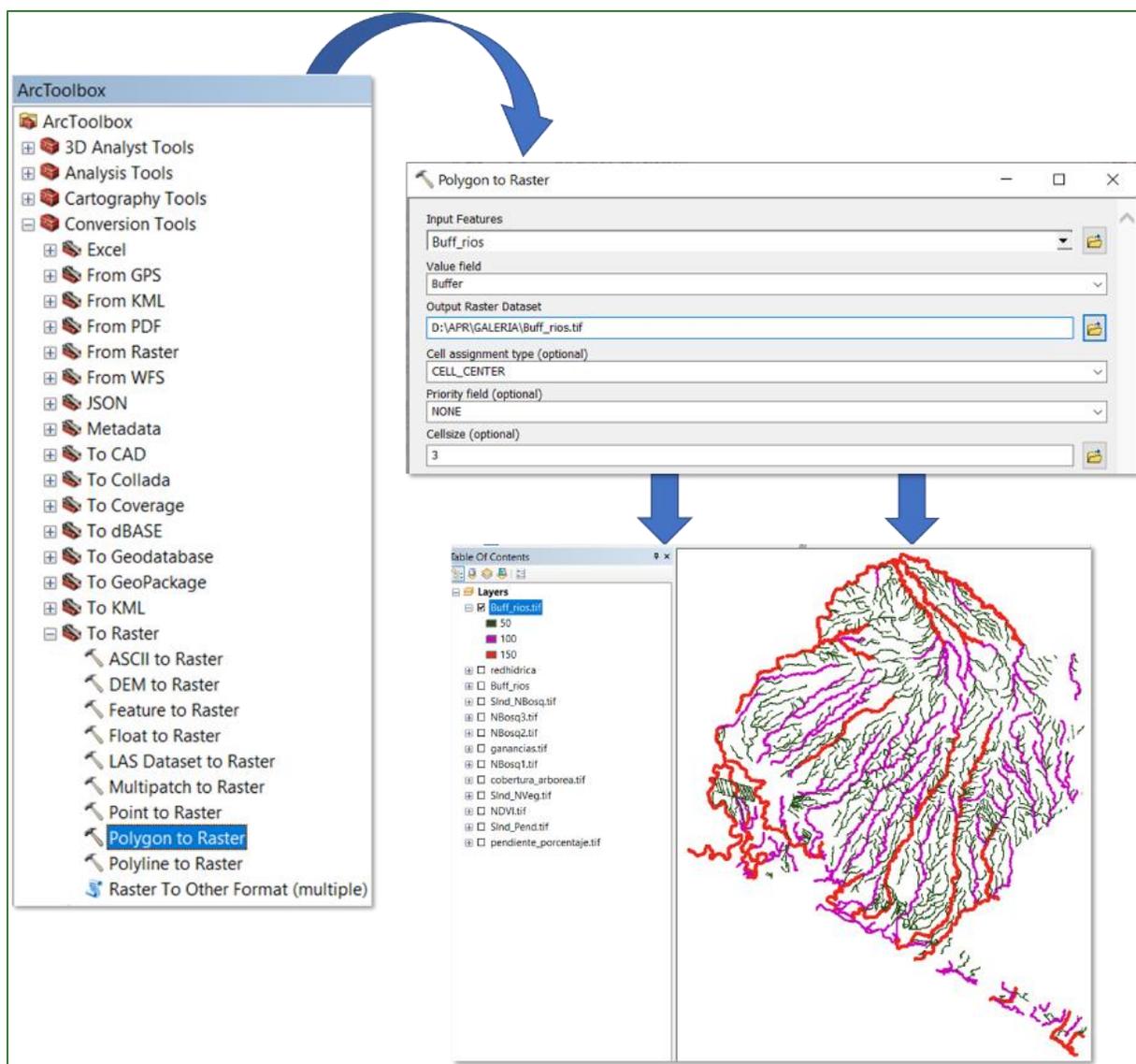
Realizar un Buffer aplicando la herramienta “Buffer” localizada en **ArcToolBox/Analysis Tools/Proximity/Buffer** usando el campo de la tabla de atributos Buffer y guarde el archivo con el nombre **Buff_rios.shp** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA/RIOS**.

Table							
redhidrica							
FID	Shape *	LENGTH	NOMBRE	TIPO	oldtype	LONGITUD	Buffer
0	Polyline M	564.26992		Q	Q	1	50
1	Polyline M	177.914539	ZANJON EL AGUA	S	P	0	150
2	Polyline M	2066.090562	RIO GUAYAPA o D	S	P	2	150
3	Polyline M	2538.192285		Q	Q	3	50
4	Polyline M	916.941506		Q	Q	1	50
5	Polyline M	415.369594		Q	Q	0	50
6	Polyline M	2603.535851	Río Asino	T	S	3	100
7	Polyline M	121.721297		Q	Q	0	50
8	Polyline M	913.426598		Q	Q	1	50
9	Polyline M	306.447236	Río Aguachapio	T	S	0	100
10	Polyline M	1347.474585		Q	Q	1	50
11	Polyline M	122.333895		T	S	0	100
12	Polyline M	858.297581	RIO EL SUNZA o E	S	P	1	150
13	Polyline M	79.380695	Río El Rosario	T	S	0	100
14	Polyline M	484.620699	RIO GUAYAPA o D	T	S	0	100
15	Polyline M	845.487811		Q	Q	1	50



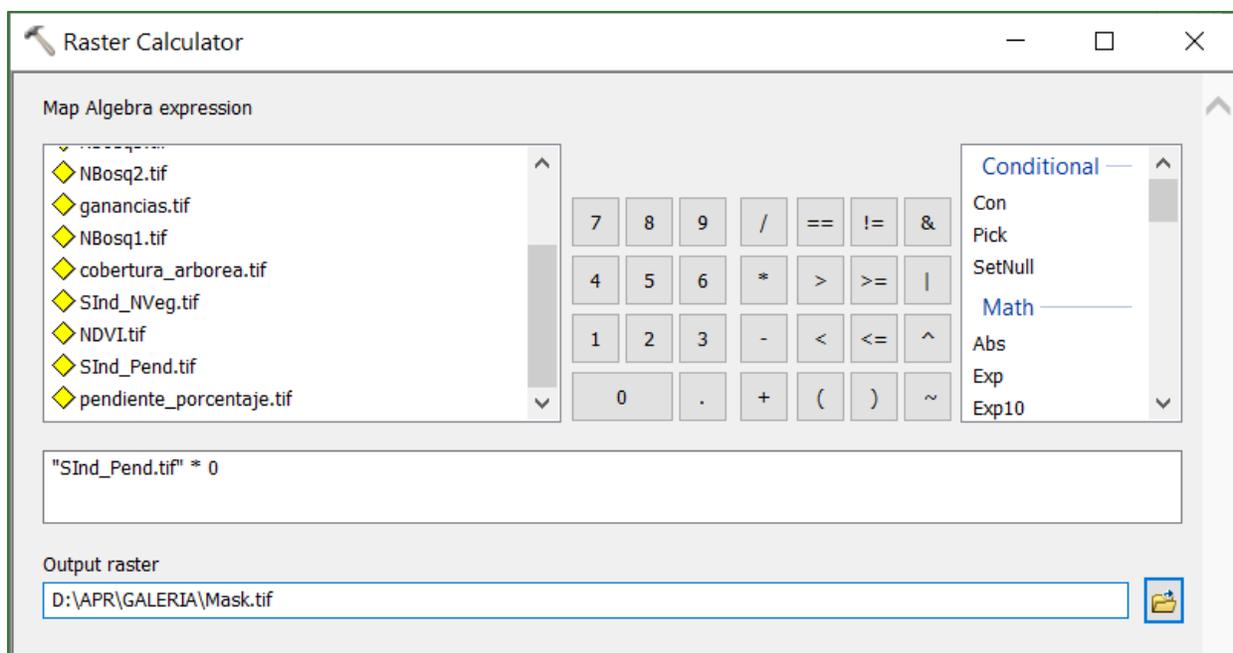
Paso 4.2: polygon-to-Raster:

Convierta el archivo **Buff_rios.shp** a un ráster. Para esto aplique la herramienta **“Polygon to Raster”** disponible en **ArcToolBox/Conversion Tools/To Raster/Polygon to Raster**. El archivo de salida nómbrelo como **Buff_rios.tif** con tamaño de pixel de 3 m y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



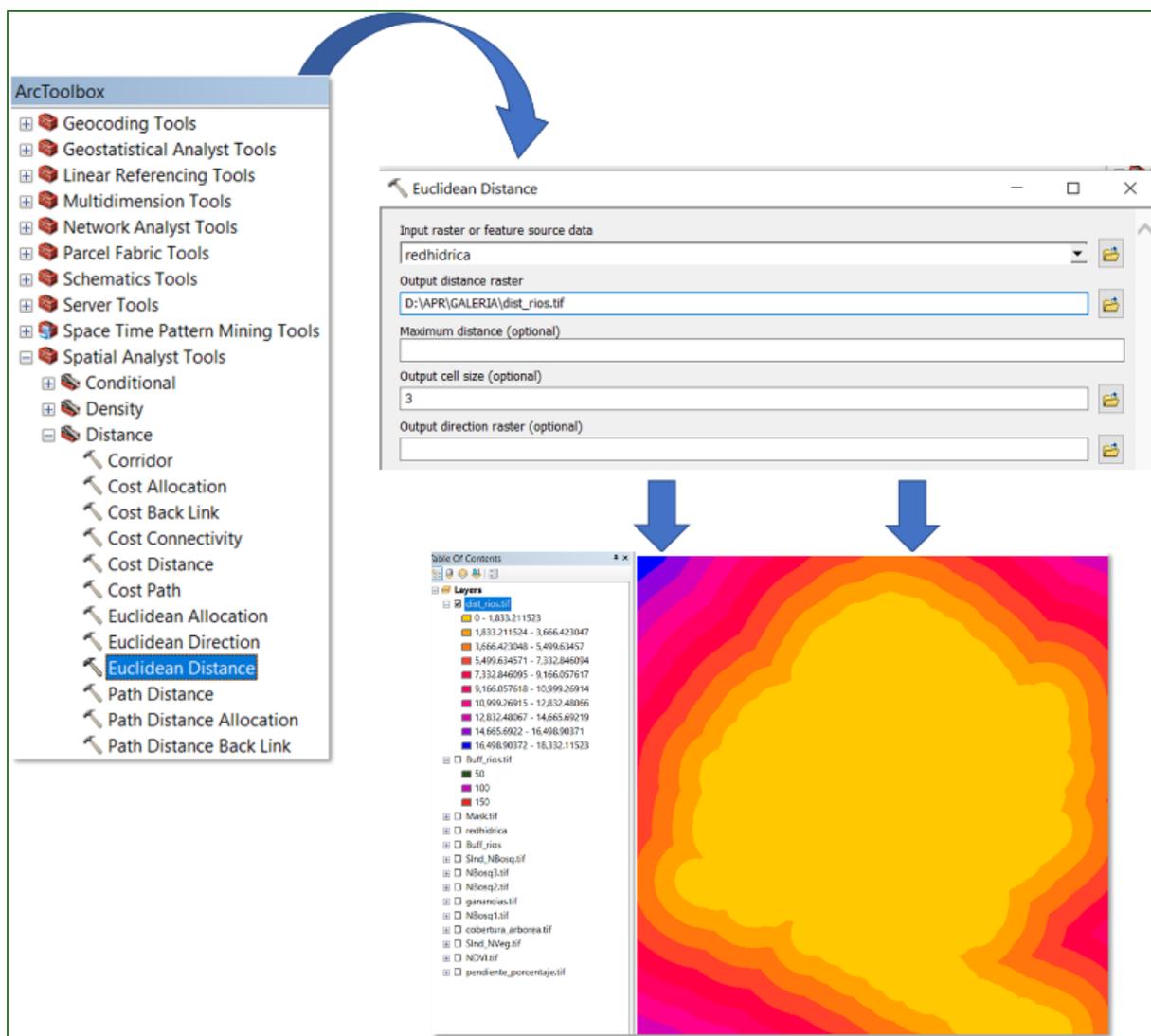
Paso 4.3: generar una máscara

En este paso debe generar una máscara que utilizará en el siguiente paso, para esto, seleccione la capa **Sind_Pend.tif** y multiplíquela por 0 utilizando la calculadora de ráster. Al archivo de salida nómbrelo como **Mask.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



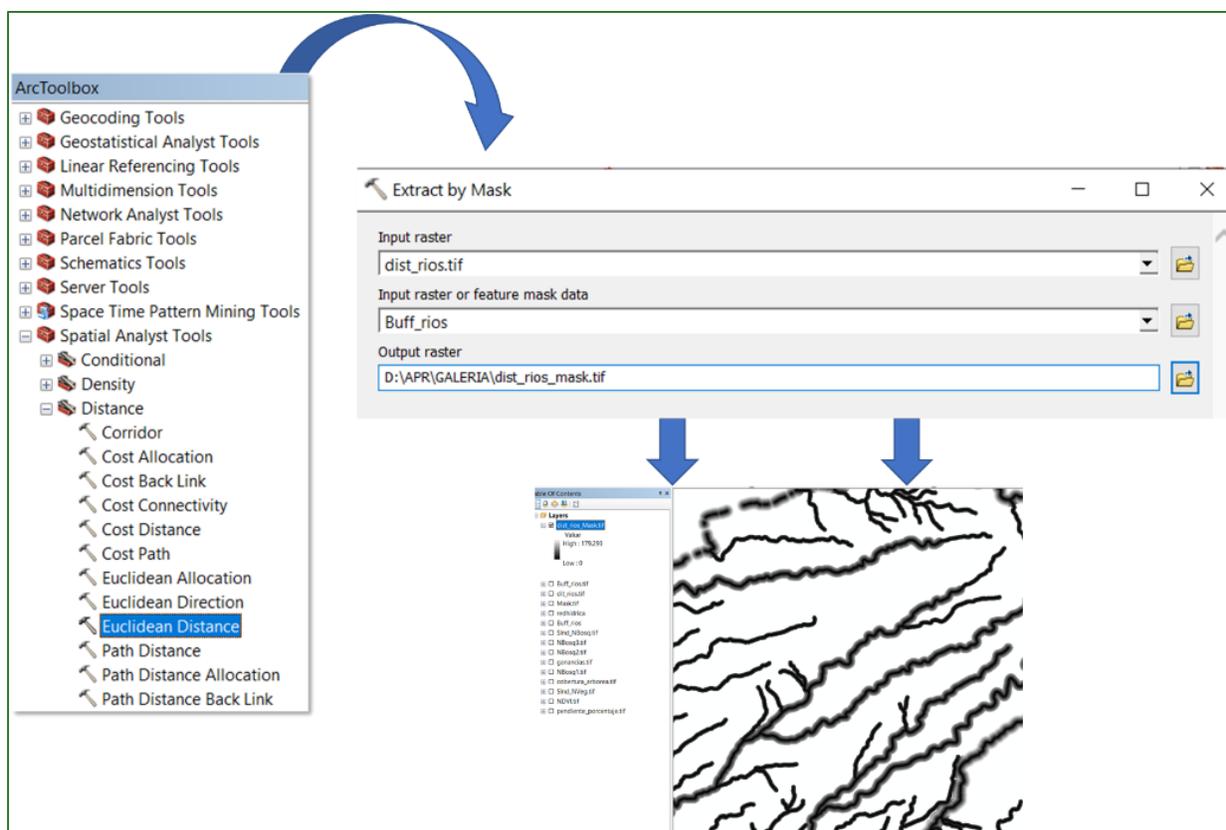
Paso 4.4: obtener la distancia a los ríos

Ahora obtendremos una capa ráster aplicando la herramienta **“Euclidean Distance”**, que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Distance/Euclidean Distance**. Nombre el archivo de salida como **dist_rios.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA** (recuerde colocar en las propiedades del ráster (Environments) colocar como expansión el área de estudio).



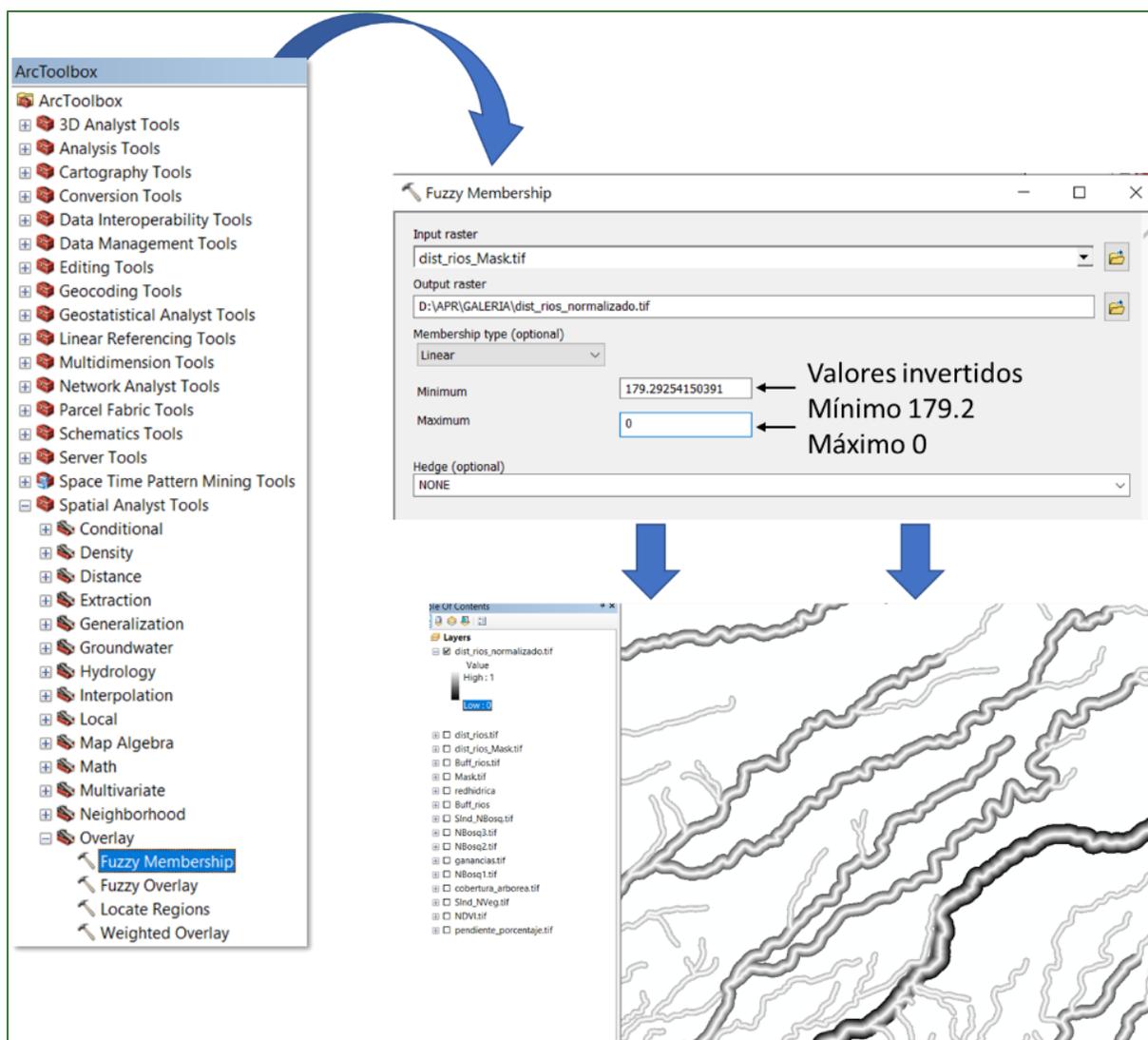
Paso 4.5: extraer los valores de la distancia a los ríos

En este paso extraeremos los valores de la distancia a los ríos obtenido en el archivo anterior denominado **dist_rios.tif**, para esto utilice la herramienta **“Extract by Mask”** localizada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Mask**. Como archivo de entrada utilice la capa **Buff_rios.shp** y nombre el archivo de salida como **dist_rios_Mask.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



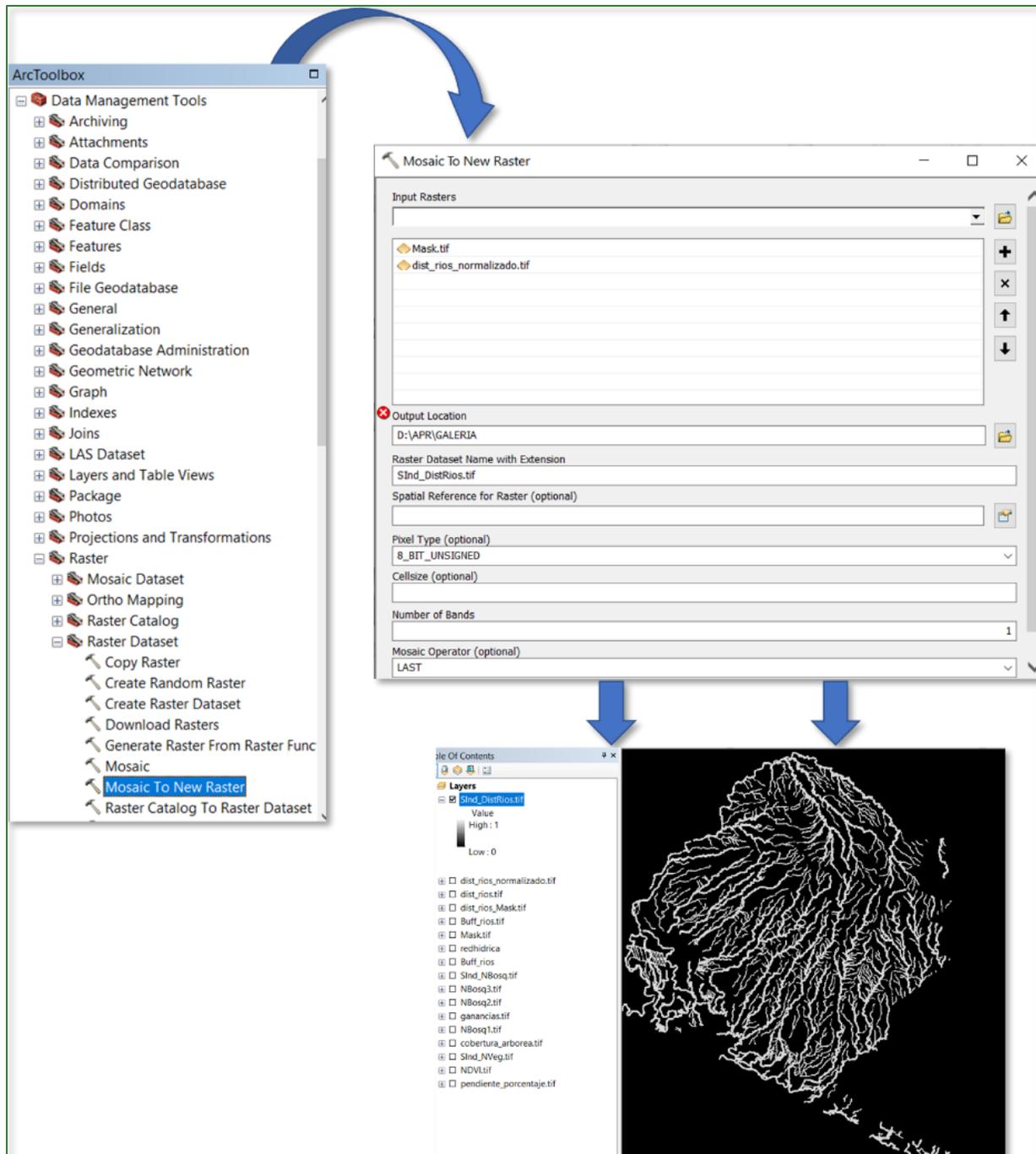
Paso 4.6: normalizar los valores de la distancia a los ríos

En este paso normalizará los valores del ráster creado anteriormente **dist_rios_Mask.tif**, para esto, aplique la herramienta **“Fuzzy Membership” (Linear invertido)** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de distancia, en este sentido, se define que entre menor es la distancia al río, mayor aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **dist_rios_Mask.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **dist_rios_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 4.7: crear el subíndice de distancia ríos

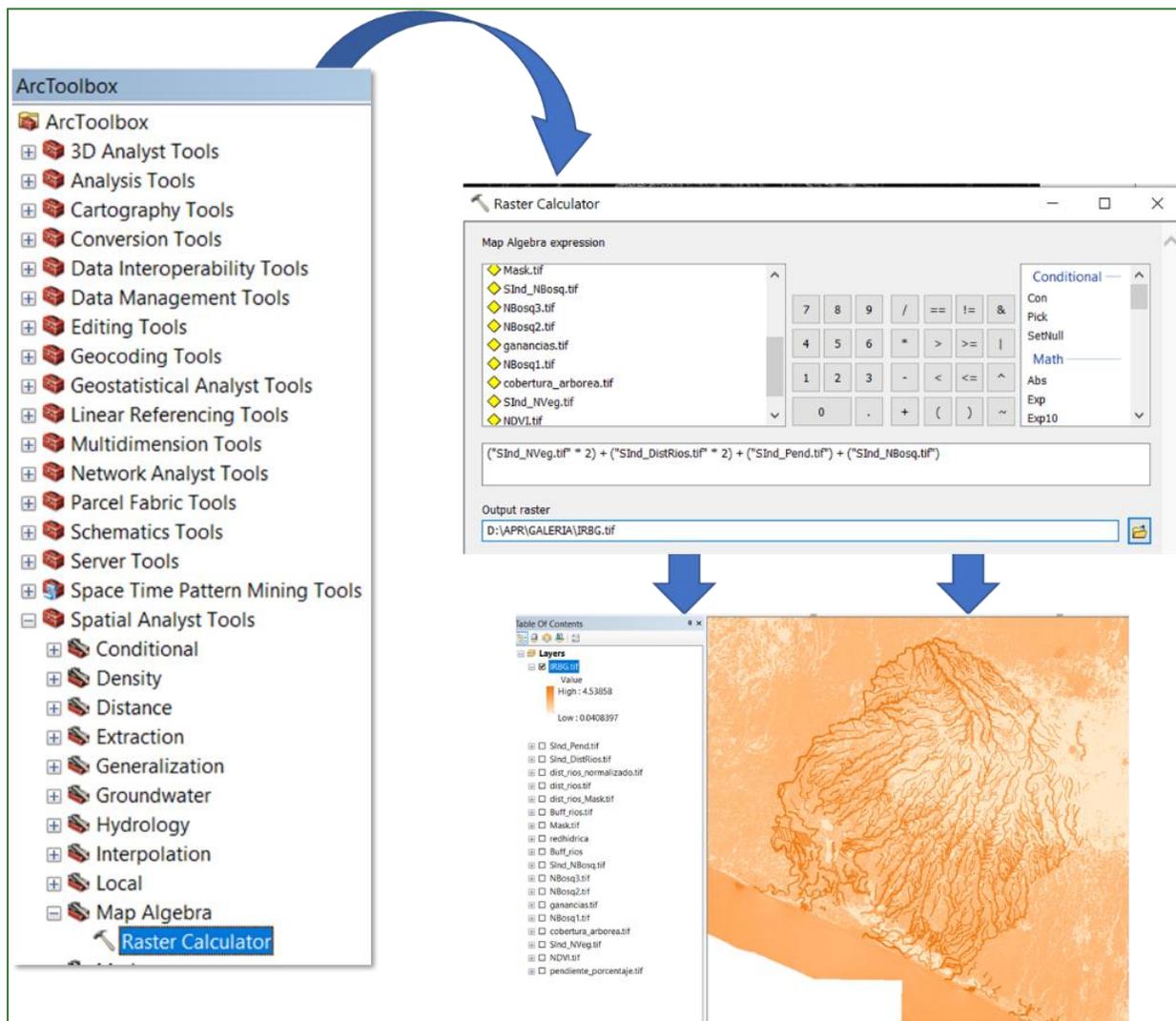
Como penúltimo paso, deberá generar un mosaico para la zona de estudio, el mosaico se genera utilizando la capa anterior denominada **dist_rios_normalizado.tif** y el ráster **Mask.tif** generado en los pasos previos. Aplique la herramienta “**Mosaic To New Raster**” ubicada en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster**. Como archivo de entrada utilice los archivos **dist_rios_normalizado.tif** y **Mask.tif** y al archivo de salida nómbrelo como **SInd_DistRios.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



Paso 5: crear el Índice de Aptitud para la Restauración de Bosques de Galería (IRBG)

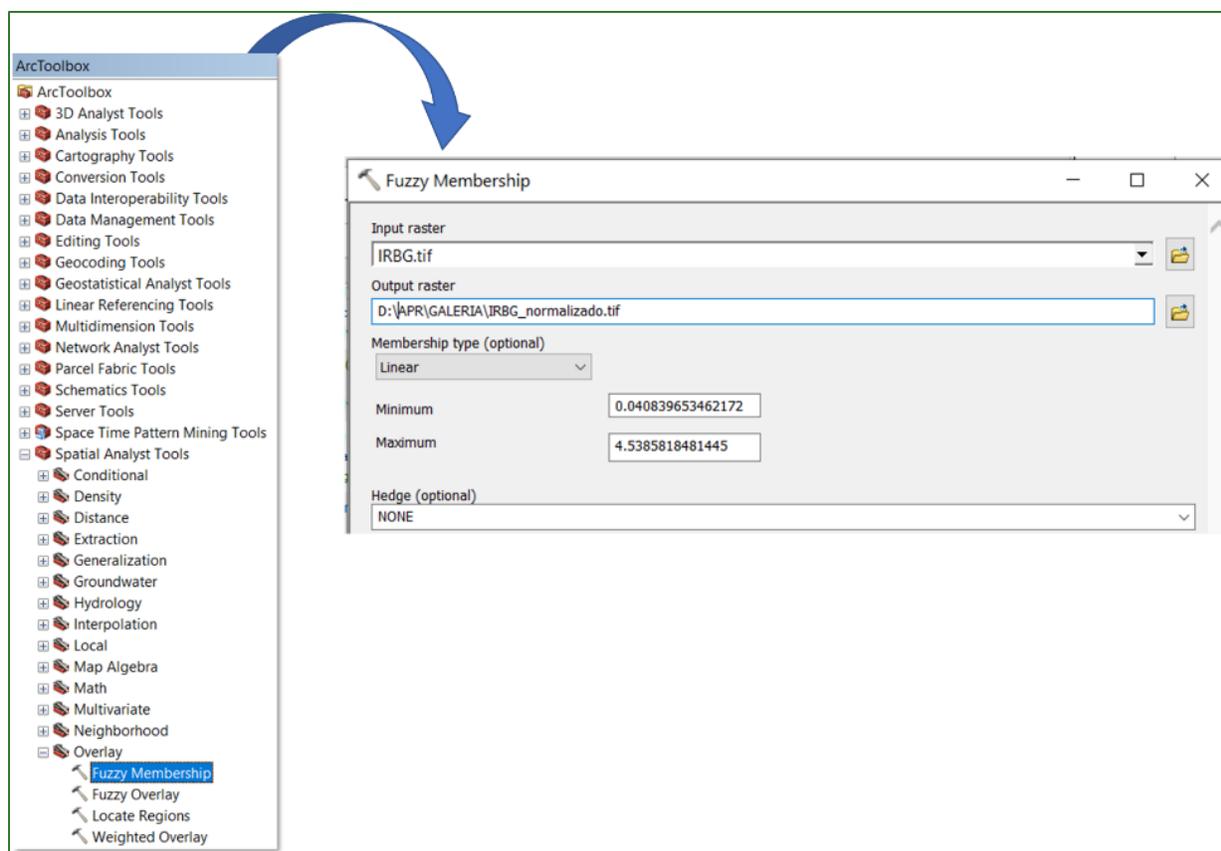
Este índice es el producto de la sumatoria de los cuatro subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la **herramienta “Raster Calculator”** que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRBG.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{SInd_NVeg.tif} * 2 + \text{SInd_DistRios.tif} * 2 + \text{SInd_Pend.tif} + \text{SInd_NBosq.tif}$$

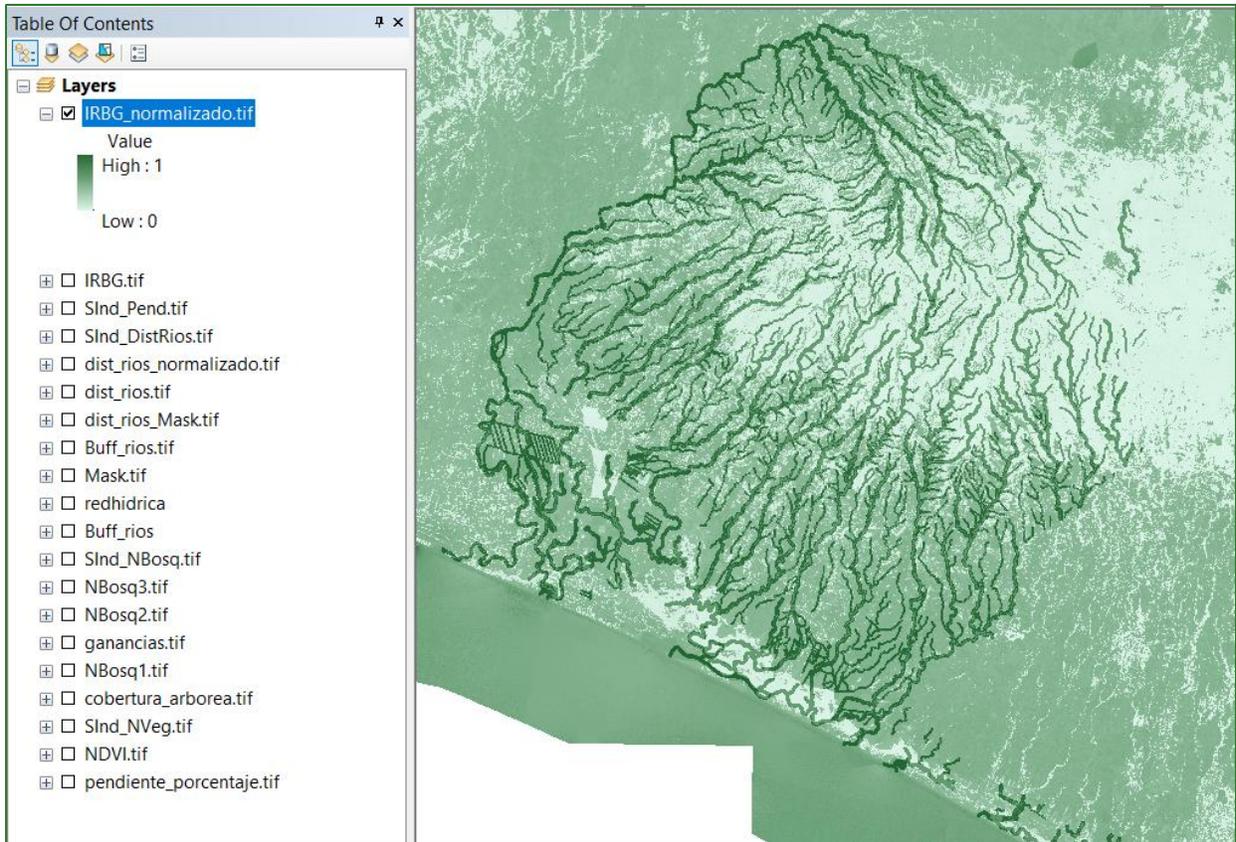


Paso 6: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración de Bosques de Galería (IRBG)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRBG.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración del bosque de galería, en este sentido, se define que entre mayor es el índice, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado **en ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo IRBG.tif y el archivo de salida nómbrelo como **IRBG_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/GALERIA**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración del bosque de galería.



Parte 2. Índice de aptitud para la restauración de pastos arbolados (IRParb)

Los pastos permanentes con cobertura arbórea son superficies cubiertas de árboles dispersos y con un estrato herbáceo bien desarrollado, en las que ha sido eliminada gran parte de la vegetación arbustiva.

Para la obtención del índice de aptitud para la restauración de pastos arbolados (IRParb), deberá crear una subcarpeta con el nombre **PASTOS_ARB**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 2 serán almacenados en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde la carpeta APR/GALERIA y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
Mapa_uso_suelo.tif	https://github.com/guialandscape/GUIA_APR

Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 2: subíndice no-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 3: máscara pastos:

Paso 3.1: Descargue desde el repositorio de GitHub (https://github.com/guialandscape/GUIA_APR) el archivo denominado **Mapa_uso_suelo.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.

The image shows two screenshots from a GitHub repository. The top screenshot shows the repository page for 'guialandscape / GUIA_APR'. A blue arrow points to the file 'Mapa_uso_suelo.zip' in the file list. A text label 'PASO 1: Clic al archivo que desea descargar' is next to the arrow. The bottom screenshot shows the file view for 'Mapa_uso_suelo.zip'. A red dashed box highlights the 'Download' button, with a blue arrow pointing to it and a text label 'PASO 2: Clic en download'.

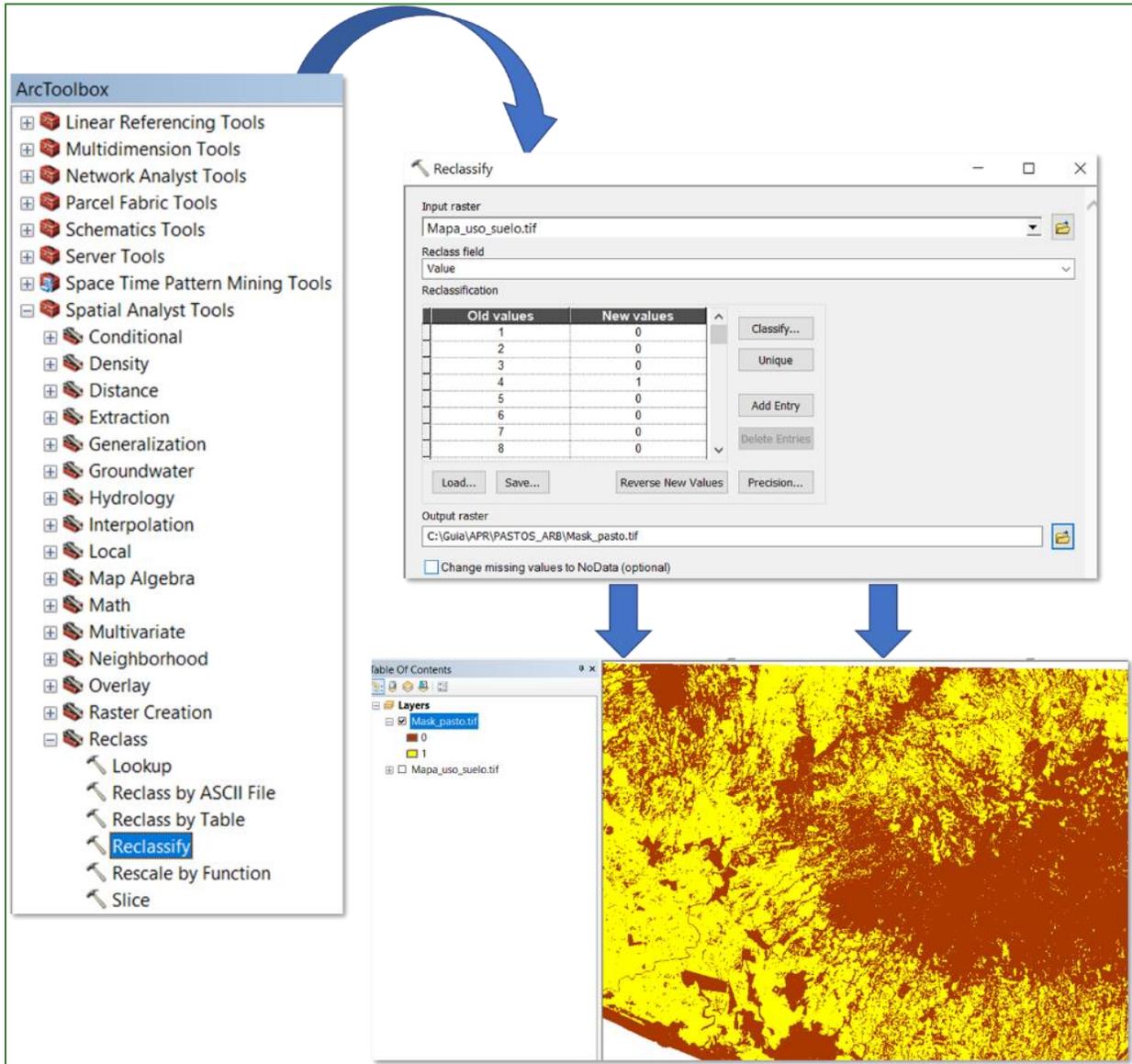
Paso 3.2: reclasifique el archivo **Mapa_uso_suelo.tif**, para esto utilice la herramienta “Reclassify” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el raster **Mapa_uso_suelo.tif** y aplique los siguientes parámetros:

Reclassify:

Pasto = 1

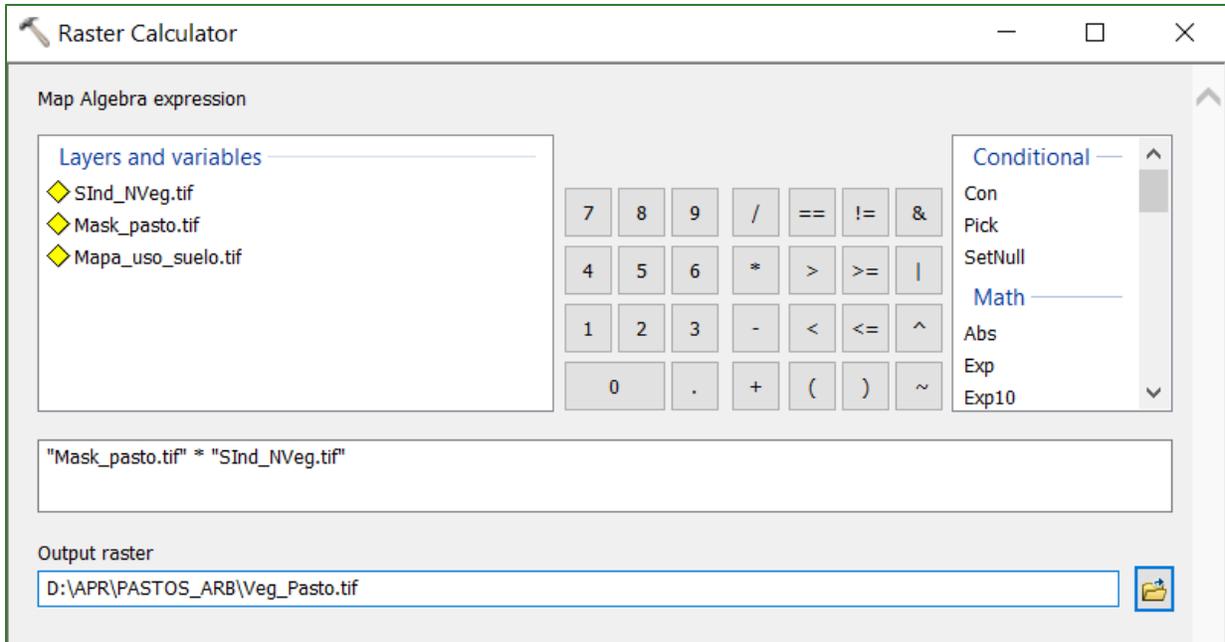
No Pasto = 0

Al archivo de salida nómbrelo **Mask_Pastos.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.

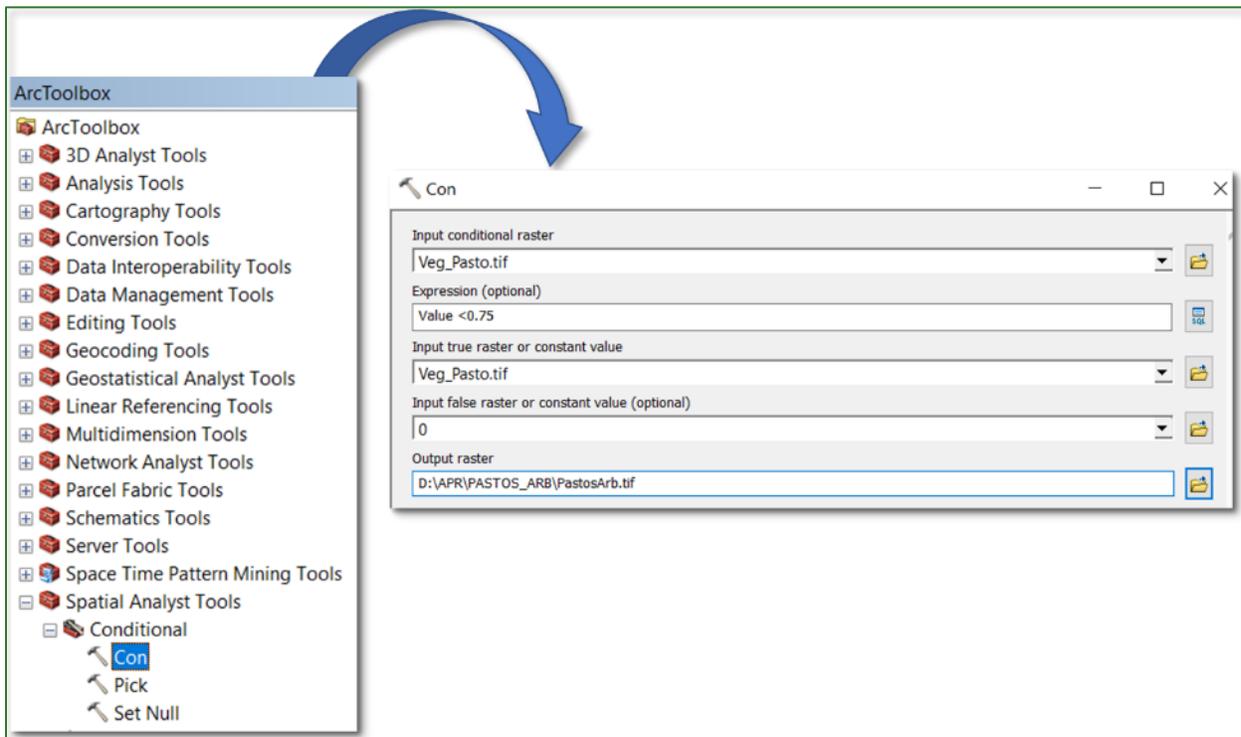


Paso 4: aplique una calculadora de ráster; la herramienta “**Raster Calculator**”, la encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**, multiplique el raster **Mask_Pastos.tif * SInd_NVeg.tif** y al archivo de salida nómbrelo como **Veg_Pasto.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.

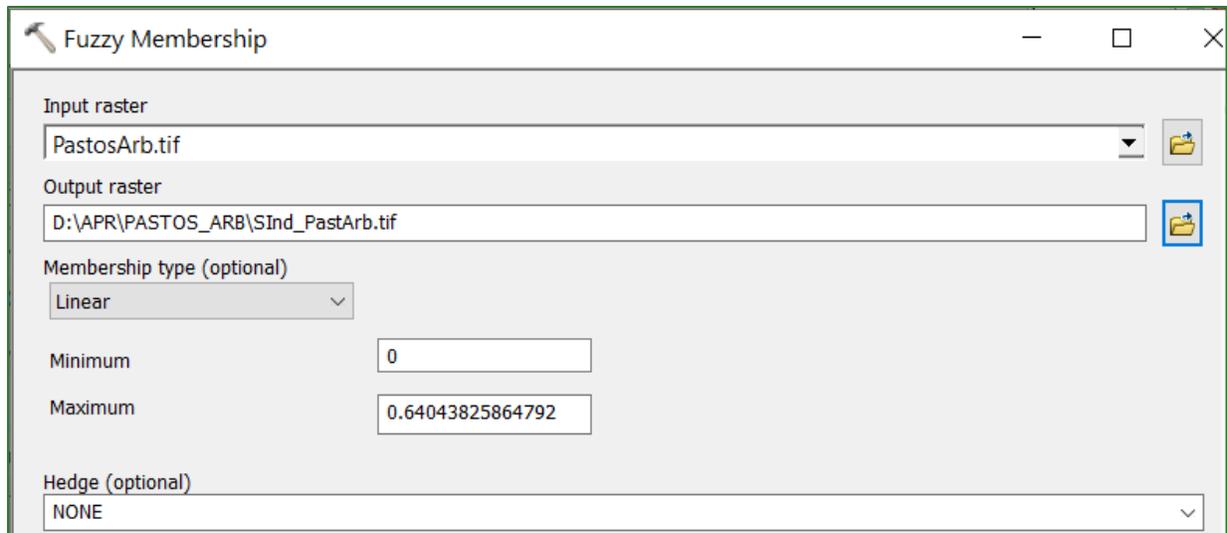
Guía metodológica para la implementación de línea base de servicios ecosistémicos y la generación de índices de aptitud para prácticas de restauración de paisajes del Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA



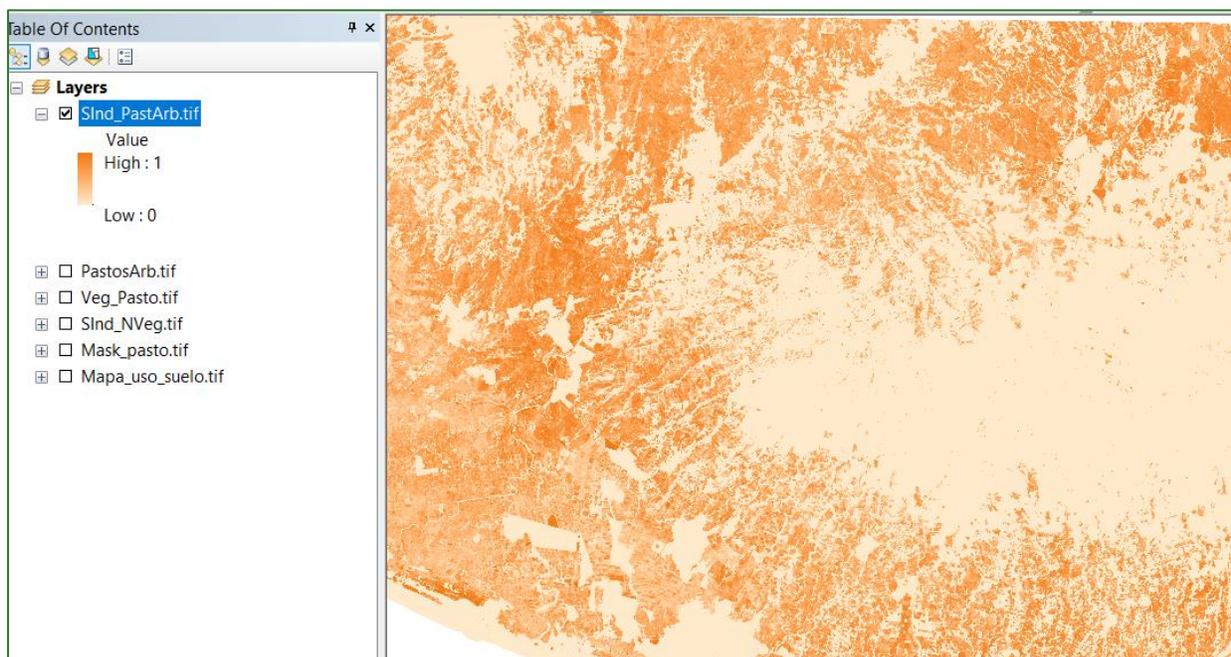
Paso 5: aplique una condicional del ráster creado en el paso anterior, aplique valores menores a 0.75 al ráster **Veg_Pasto.tif** y guarde el archivo con el nombre **PastosArb.tif** en la carpeta **APR/PASTOS_ARB** la herramienta “Con” está disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Conditional/Con**.



Paso 5: normalizar el ráster **PastosArb.tif** aplicando la herramienta “Fuzzy Membership”(Type: Linear) y al archivo de salida nómbrelo **SInd_PastArb.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.



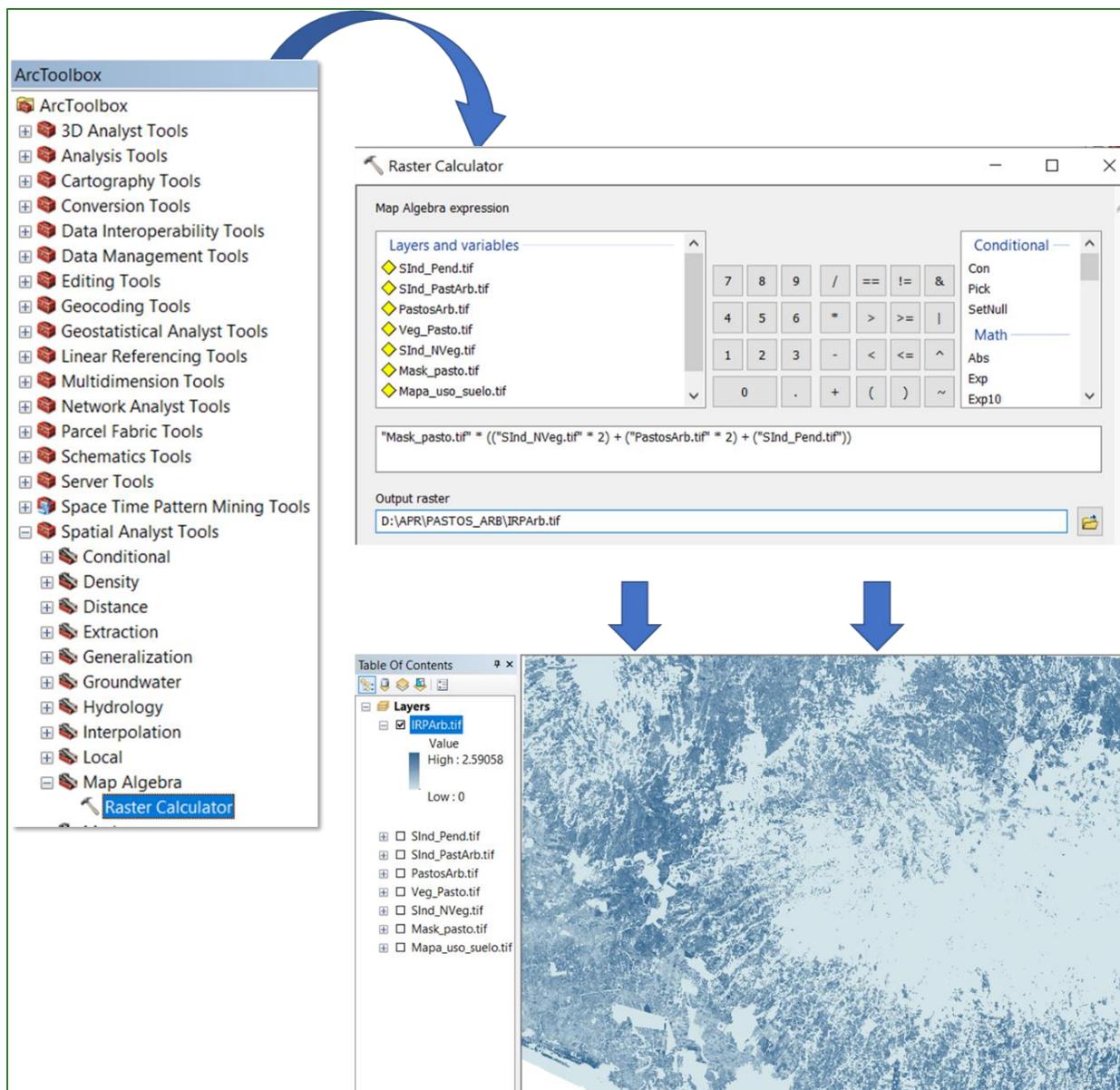
Entre más se acercan los valores a 1, significa que es mayor la aptitud para restauración de pastos arbolados. El resultado se muestra a continuación.



Paso 6: Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos Arbolados (IRParb)

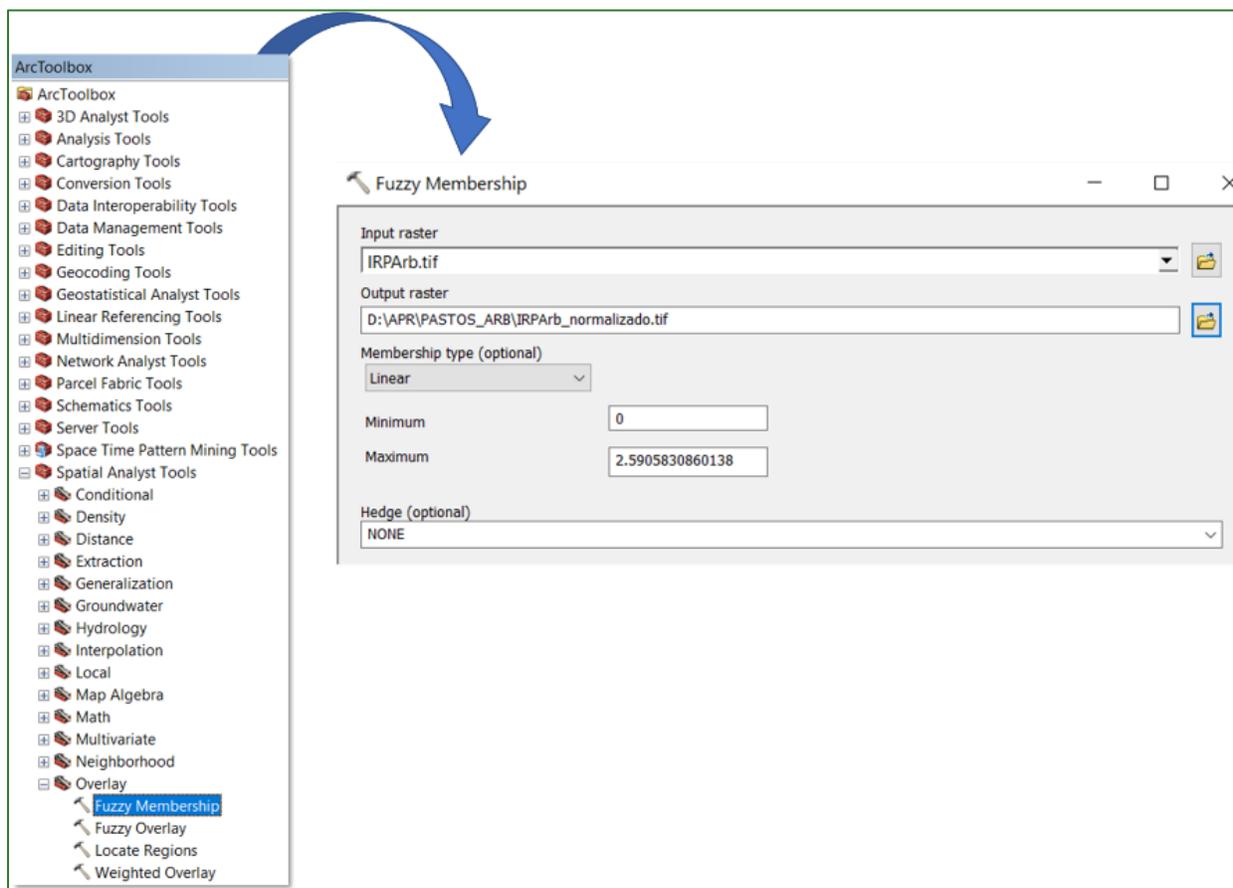
El último paso consiste en crear un Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos Arbolados (IRParb), este índice es el producto de la multiplicación de la máscara de pasto con los tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta “**Raster Calculator**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRParb.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{Mask_Pastos.tif} * [(\text{SInd_NVeg.tif} * 2) + (\text{SInd_PastArb.tif} * 2) + (\text{SInd_Pend.tif})]$$

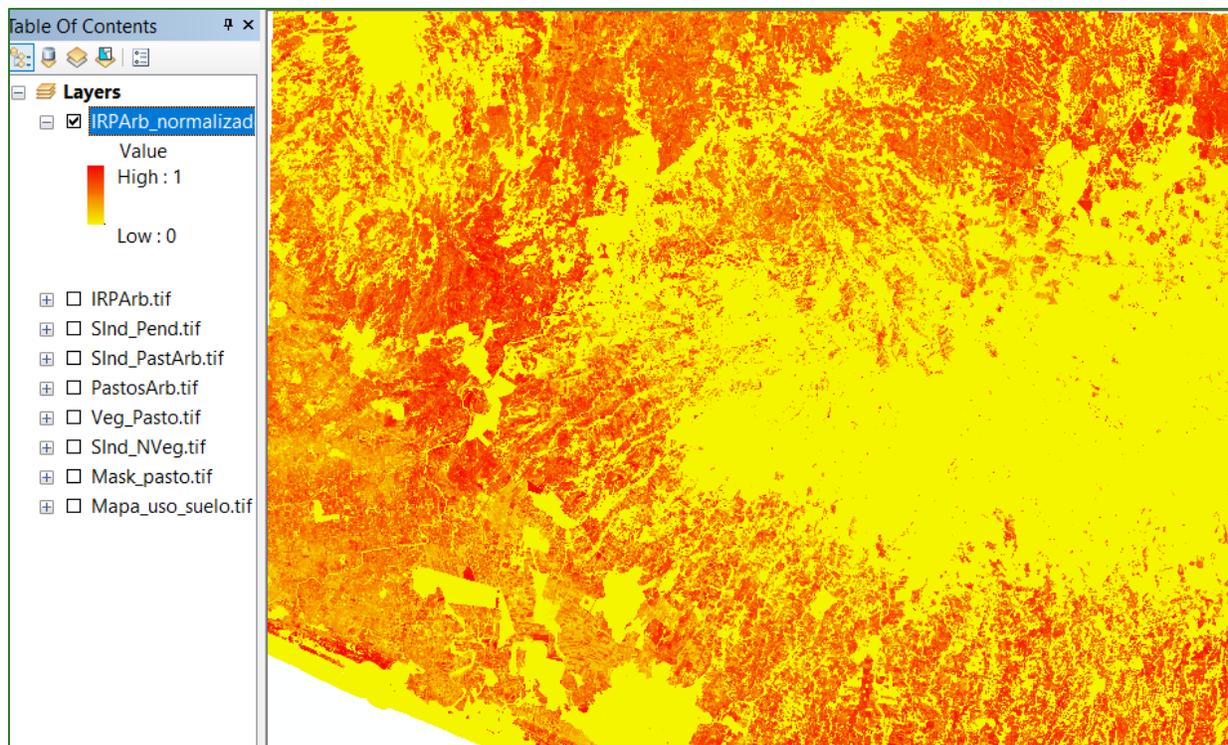


Paso 6: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos Arbolados (IRPArb)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRPArb.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración de pastos arbolados, en este sentido, se define que entre mayor es el índice, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **IRPArb.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **IRPArb_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración de pastos arbolados.



Parte 3. Índice de aptitud para la restauración de pastos no arbolados (IRPnArb)

Los pastos consisten en una asociación de gramíneas y leguminosas que sirven para proporcionarle al ganado un alimento equilibrado entre proteínas (formación de sangre y por lo mismo más producción de leche) y carbohidratos (energía para realizar todas sus actividades diarias). Al asociar diferentes especies de pastos se produce más forraje verde que sembrando alfalfa sola, por tanto, al producir más forraje podremos criar más animales.

Para la obtención del índice de aptitud para la restauración de pastos no arbolados (IRPnArb) deberá crear una subcarpeta con el nombre **PASTOS_noARB**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 3, serán almacenados en la carpeta **APR/PASTOS_noARB**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde la carpeta APR/GALERIA y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
Mask_Pastos.tif	APR/PASTOS_ARB
Veg_Pasto.tif	APR/PASTOS_ARB
Mapa_uso_suelo.tif	https://github.com/quialandscape/GUIA_APR

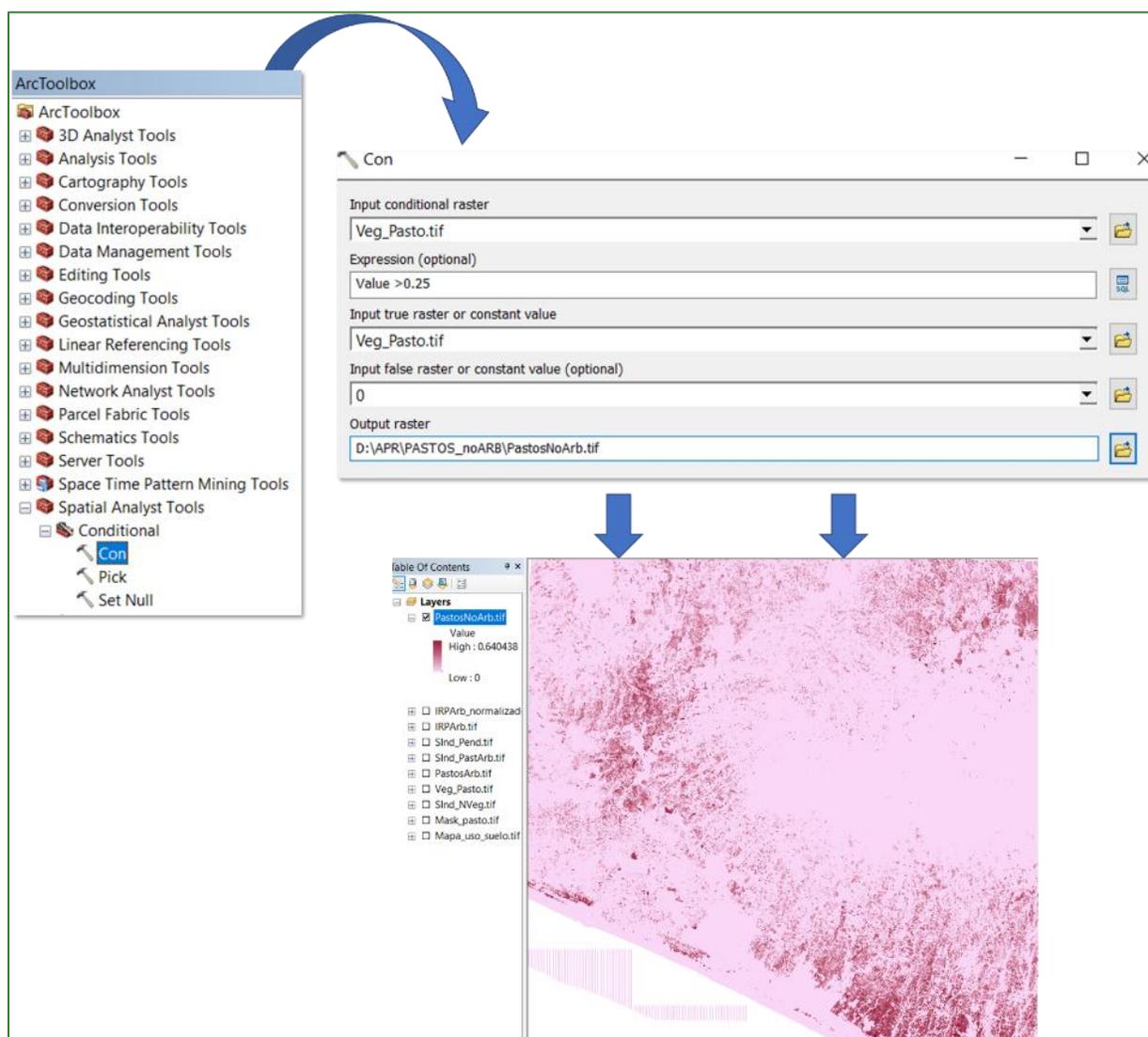
Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 2: subíndice no-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

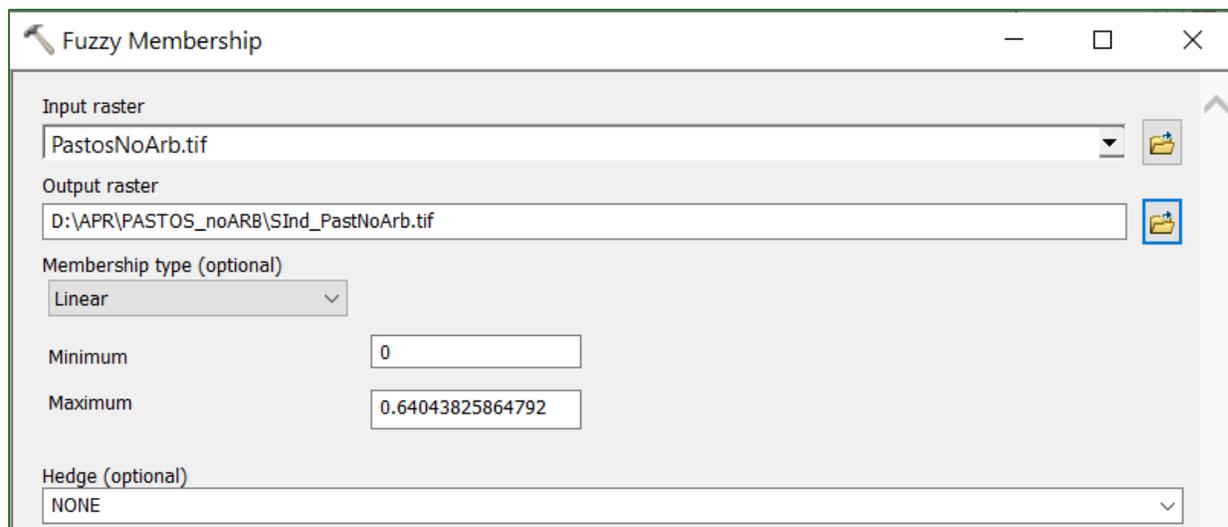
Paso 3: máscara de pastos: agregue al ArcMap la capa denominada **Mask_Pastos.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.

Paso 4: vegetación de pastos: agregue al ArcMap la capa denominada **Veg_Pasto.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/PASTOS_ARB**.

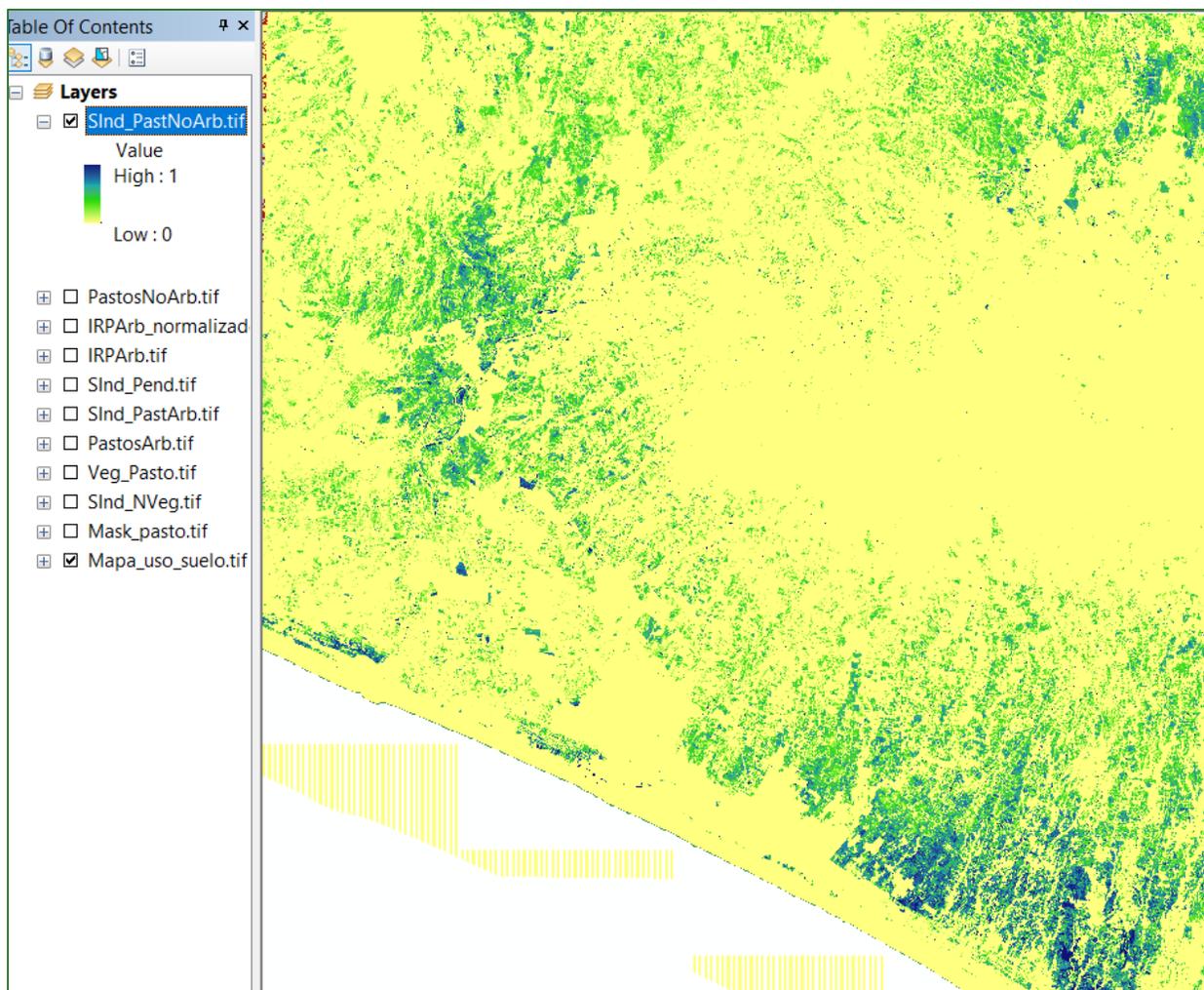
Paso 5: aplique una condicional del ráster **Veg_Pasto.tif**, aplique valores mayores a 0.25 al y guarde el archivo con el nombre **PastosNoArb.tif** en la carpeta **APR/PASTOS_noARB**. La herramienta “Con” está disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Conditional/Con**.



Paso 6: Normalizar el ráster **PastosNoArb.tif** aplicando la herramienta “Fuzzy Membership“(Type: Linear) y al archivo de salida nómbrelo **SInd_PastNoArb.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_noARB**.



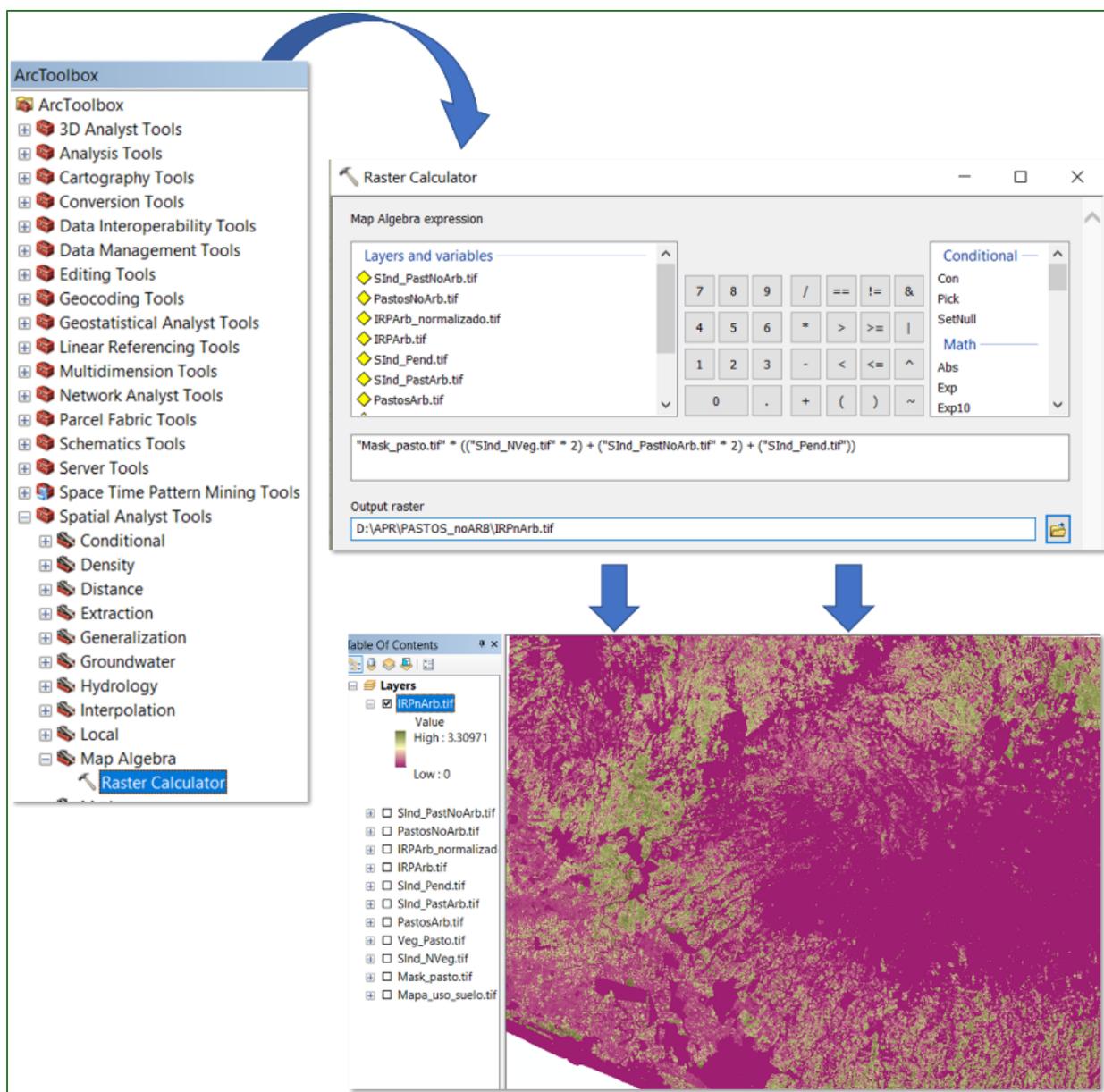
Entre más se acercan los valores a 1, significa que es mayor la aptitud para restauración de pastos no arbolados. El resultado se muestra a continuación.



Paso 7: Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos No Arbolados (IRPnArb)

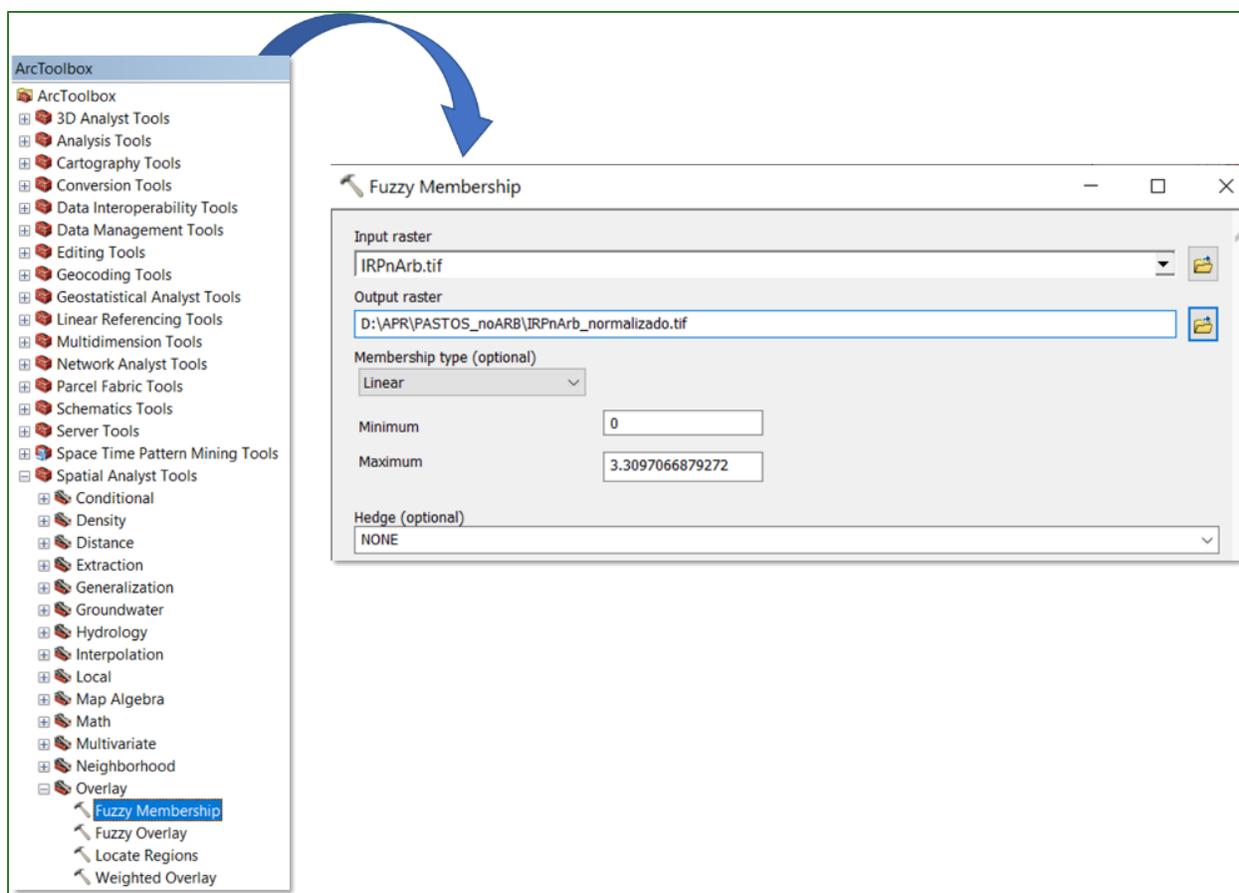
El último paso consiste en crear un Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos No-Arbolados (IRPnArb), este índice es el producto de la multiplicación de la máscara de pasto con los tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta “**Raster Calculator**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator** al archivo de salida nómbrelo como **IRPnArb.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/ APR/PASTOS_noARB**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{Mask_Pastos.tif} * [(\text{SIInd_NVeg.tif} * 2) + (\text{SIInd_PastNoArb.tif} * 2) + (\text{SIInd_Pend.tif})]$$

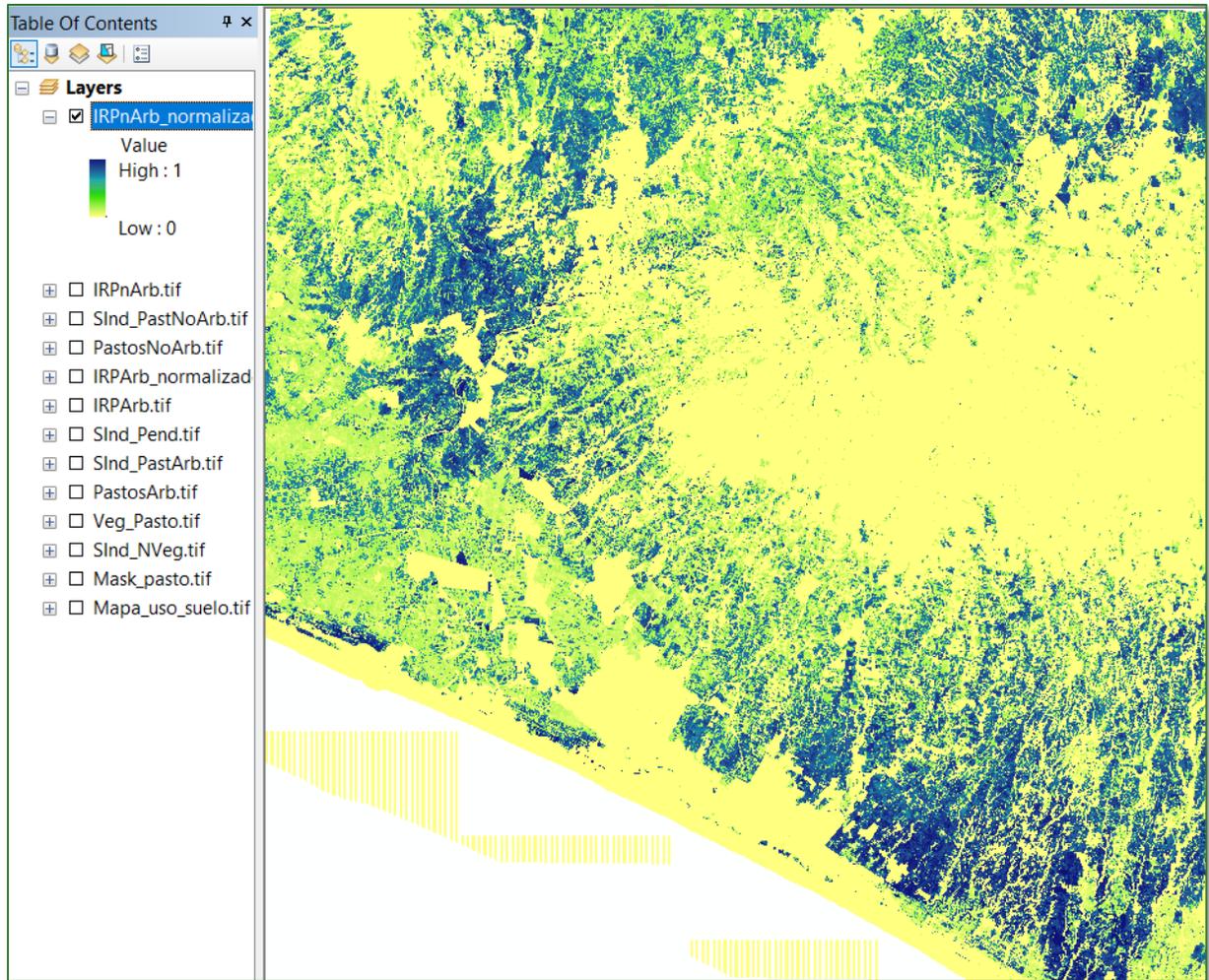


Paso 8: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración de Pastos No Arbolados (IRPnArb)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRPnArb.tif** creado en el paso anterior, aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración pastos no-arbolados, en este sentido, se define que entre mayor es el índice, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **IRPnArb.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **IRPnArb_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/PASTOS_noARB**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración pastos no-arbolados.



Parte 4. Índice de aptitud para la restauración de cafetales bajo sombra (IRCbS)

Los cafetales proporcionan importantes servicios ambientales, como son la captación de agua de la atmósfera y regulación de su infiltración y recarga de mantos acuíferos, lo que protege contra el escurrimiento superficial y la erosión. Otro importante servicio ambiental es el almacenamiento de carbono principalmente en los árboles tanto en troncos como en raíces, lo que contribuye a que no se acumule en la atmósfera en forma de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, los cuales inciden en el cambio climático global y sus efectos perniciosos para la vida en el planeta.

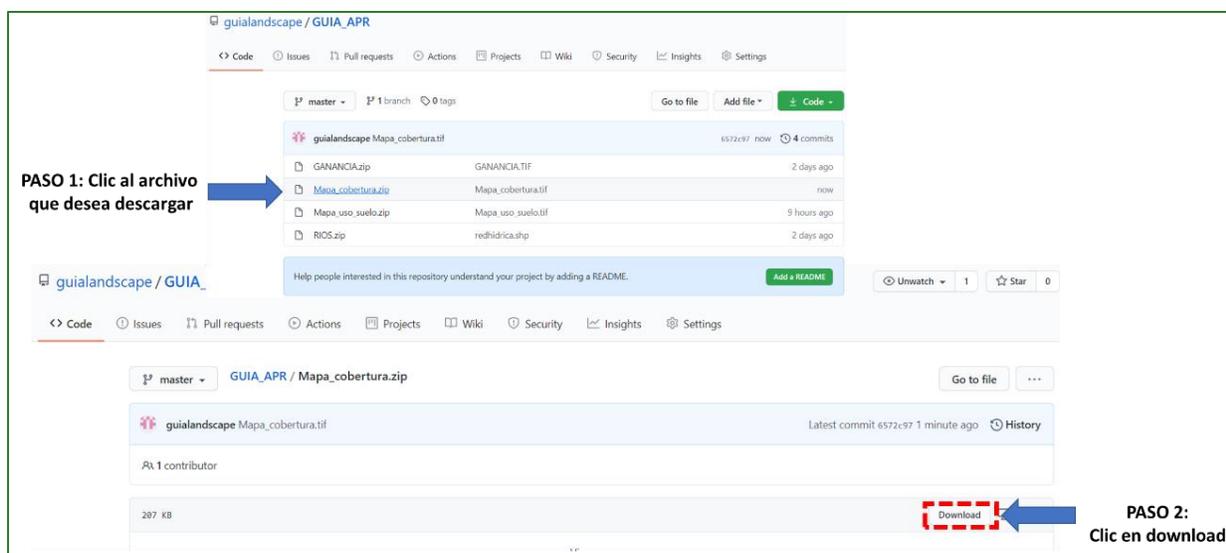
Para la obtención del Índice de Aptitud para la Restauración de Cafetales bajo Sombra (IRCbS) deberá crear una subcarpeta con el nombre **CAFETALES**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 3, serán almacenados en la carpeta **APR/CAFETALES**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde la carpeta APR y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
Mapa_cobertura.tif	https://github.com/guialandscape/GUIA_APR
MDT_corregido.tif	PROCESOS/RASTER/MDT

Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 2: subíndice No-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 3: máscara de cafetales: descargue desde el repositorio de GitHub (https://github.com/guialandscape/GUIA_APR). El raster llamado **Mapa_cobertura.tif** guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES** y después agréguelo al ArcMap.



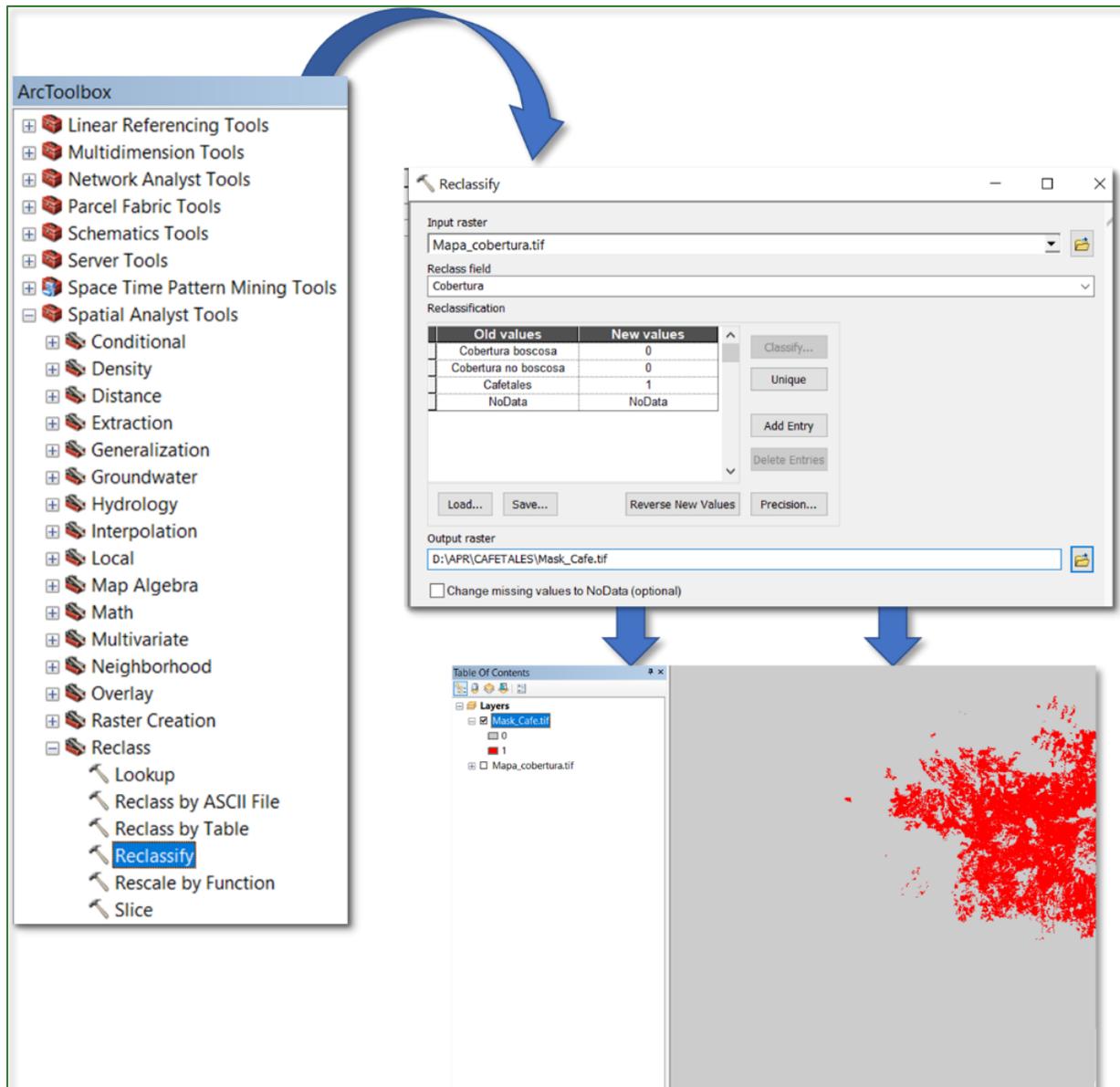
Paso 3.1: reclasifique el archivo **Mapa_cobertura.tif**, para esto utilice la herramienta “**Reclassify**” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el ráster **Mapa_cobertura.tif**. Aplique los siguientes parámetros:

Reclassify:

Café = 1

No Café = 0

Al archivo de salida nómbrelo **Mask_Cafe.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES**.



Paso 4: subíndice Altitud para Café: agregue al ArcMap la capa denominada **MDT_corregido.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **PROCESOS/RASTER/MDT** utilice la herramienta “**Reclassify**” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el ráster **MDT_corregido.tif**, clic a **Classify** y defina 4 clases con los siguientes rangos:

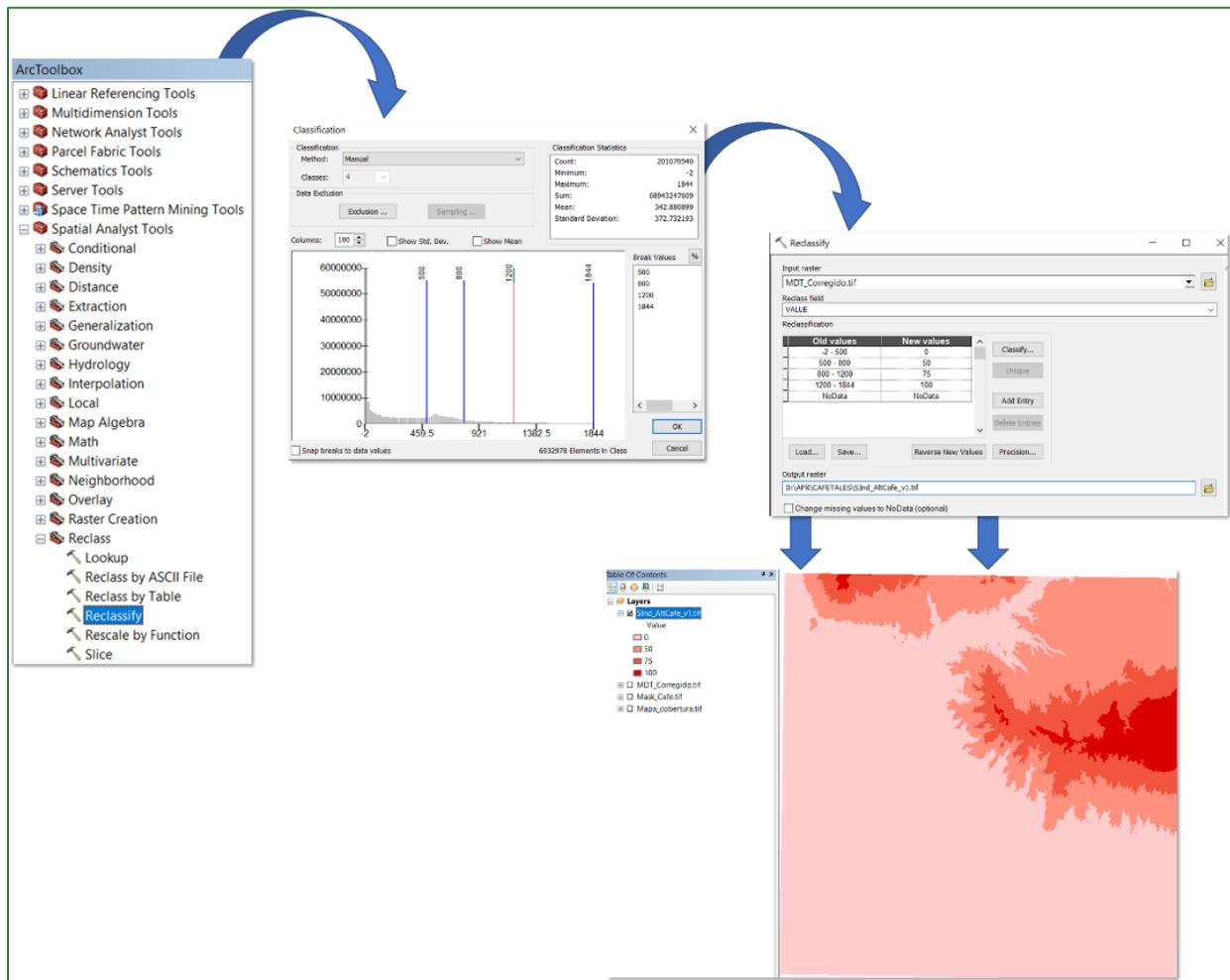
< = 500 = **0**

500 – 800 = **50**

800 - 1200 = **75**

>1200 = **100**

Al archivo de salida nómbrelo como **SInd_AltCafe_v1.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES**.



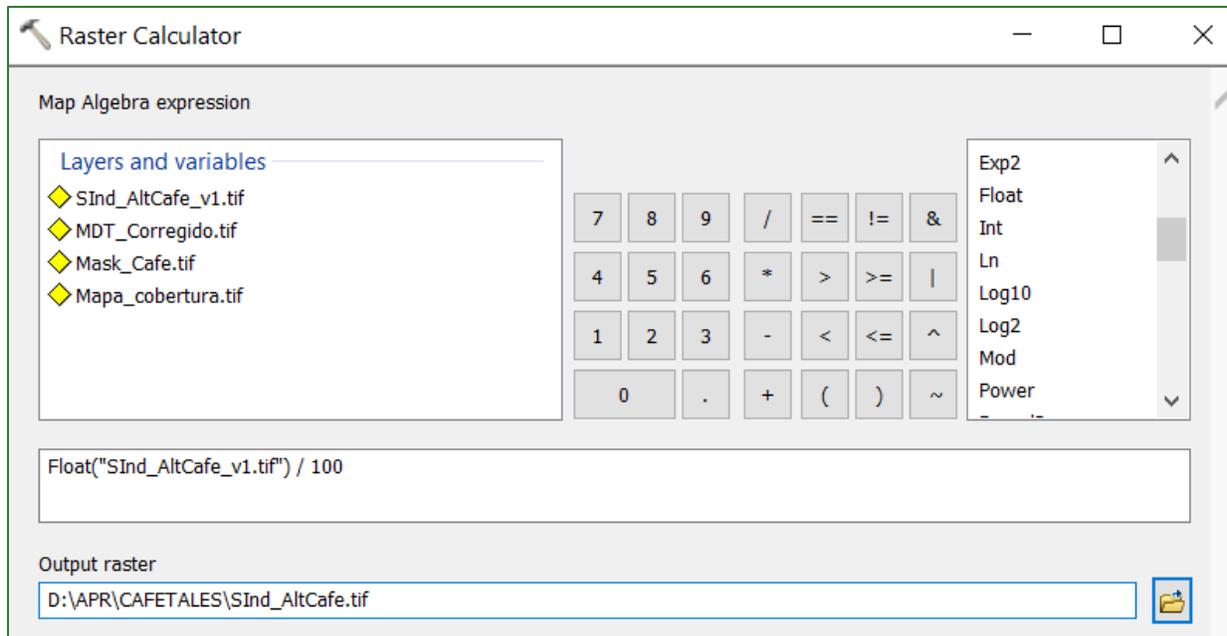
Paso 4.1: convertir valores enteros a decimales: ahora, deberá aplicar la calculadora de mapas para convertir los valores enteros a decimales, para ello utilice la herramienta **“Raster Calculator”** que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **SInd_AltCafe.tif**, divídalo como **FLOAT** entre 100 y guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES**. Las clases deberán quedar con los siguientes rangos:

$$\leq 500 = 0$$

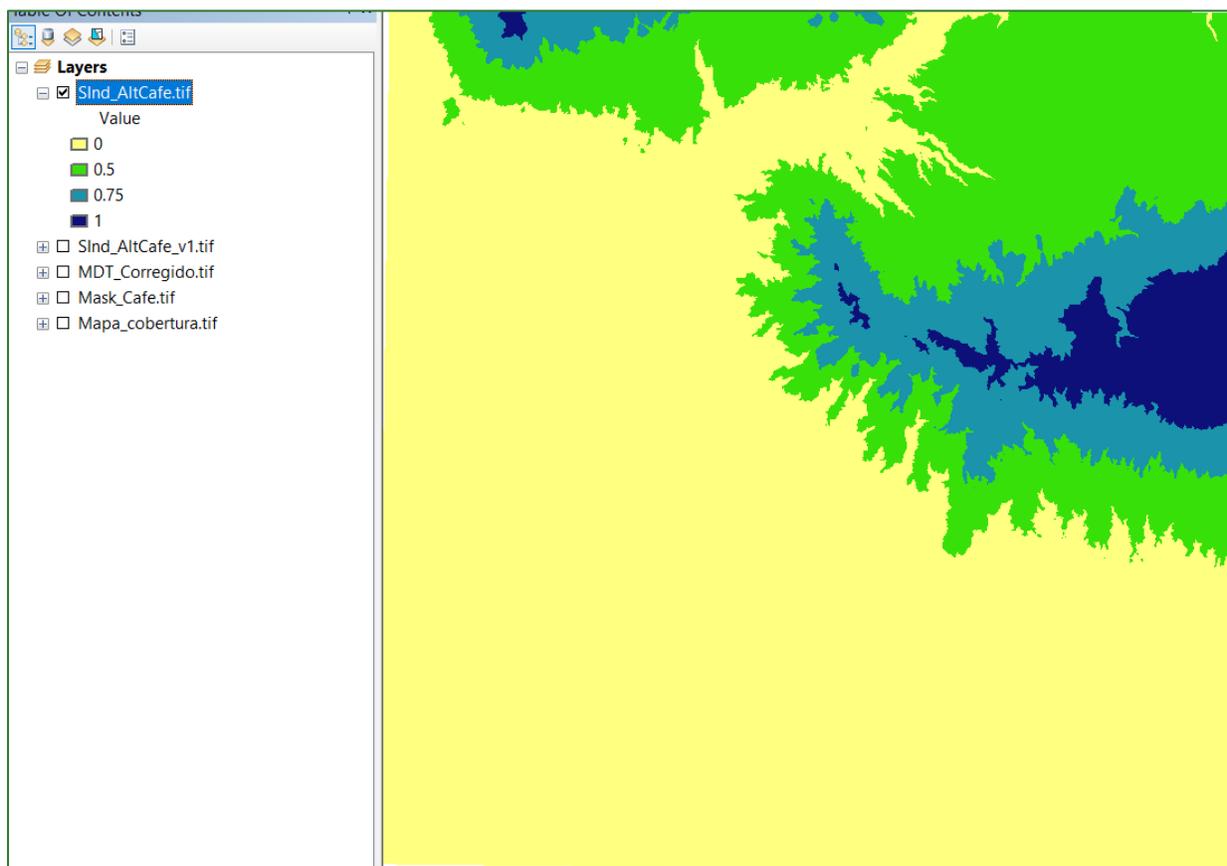
$$500 - 800 = 0.5$$

$$800 - 1200 = 0.75$$

$$>1200 = 1$$



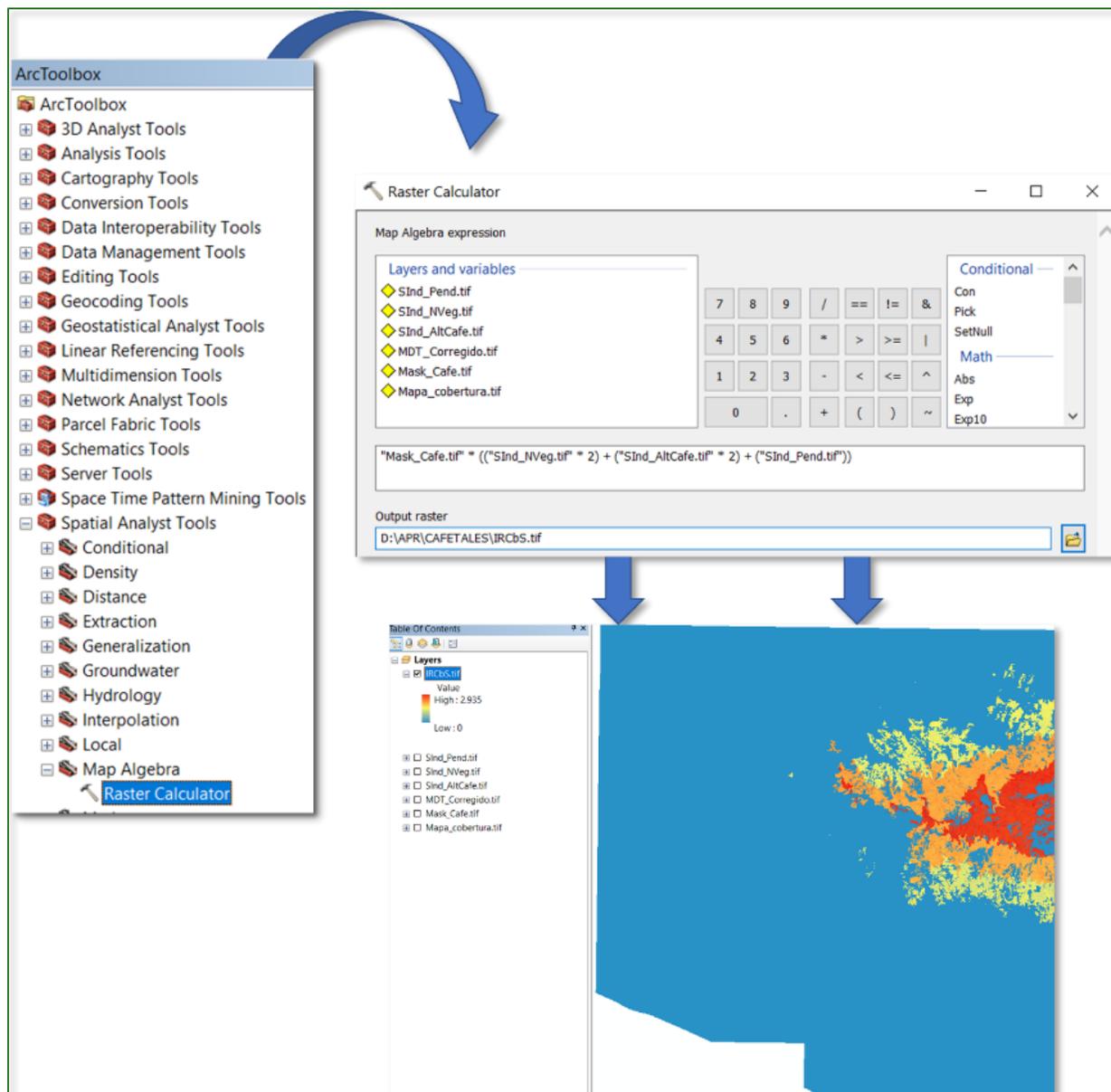
El resultado del proceso se muestra a continuación:



Paso 5: crear el Índice de Aptitud para la Restauración de Cafetales bajo Sombra (IRCbs)

Este índice es el producto de la sumatoria de los tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta “**Raster Calculator**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRCbS.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES**. Aplique las siguientes ponderaciones:

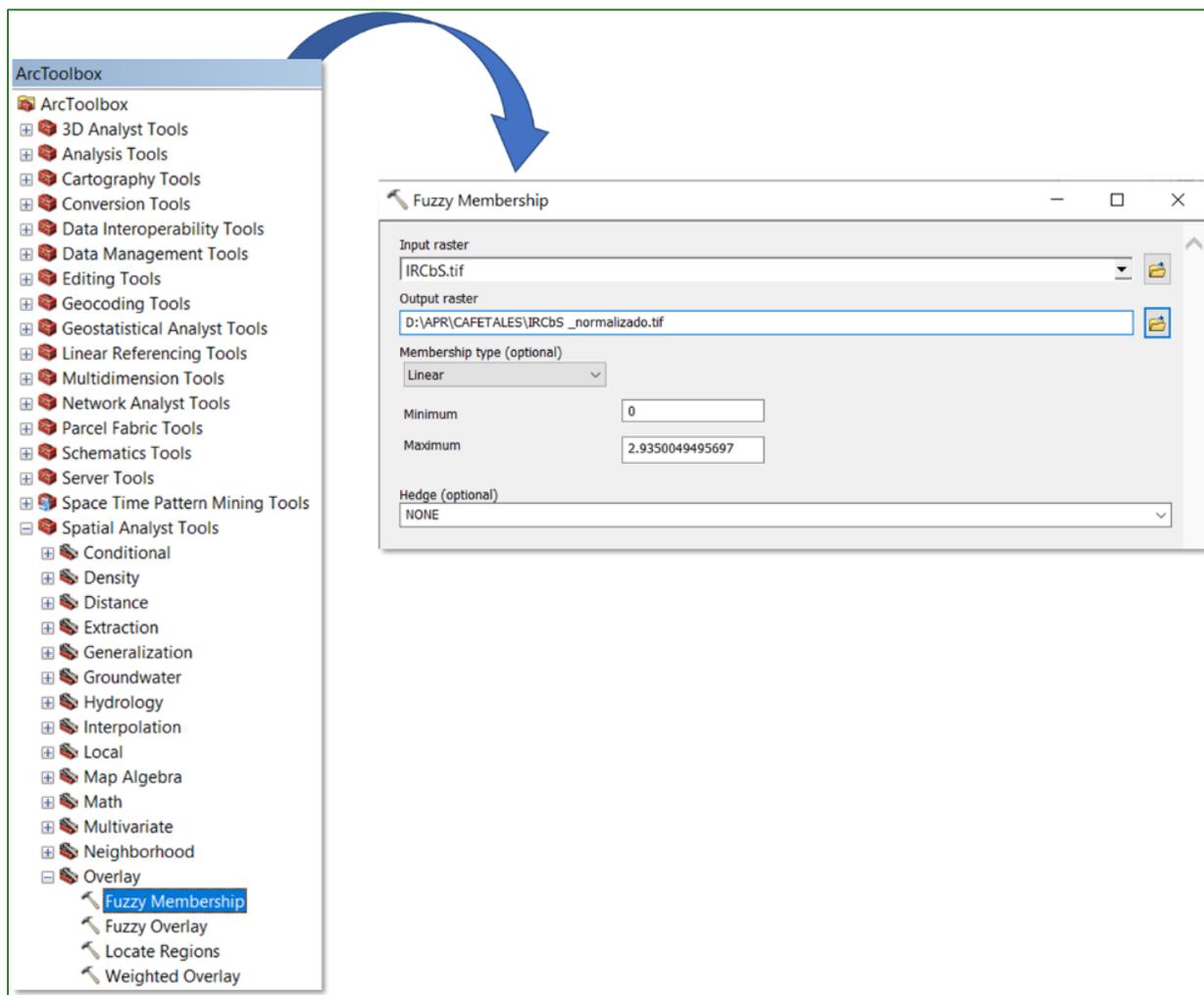
$$\text{Mask_Cafe.tif} * [(\text{SInd_NVeg.tif} * 2) + (\text{SInd_AltCafe.tif} * 2) + (\text{SInd_Pend.tif})]$$



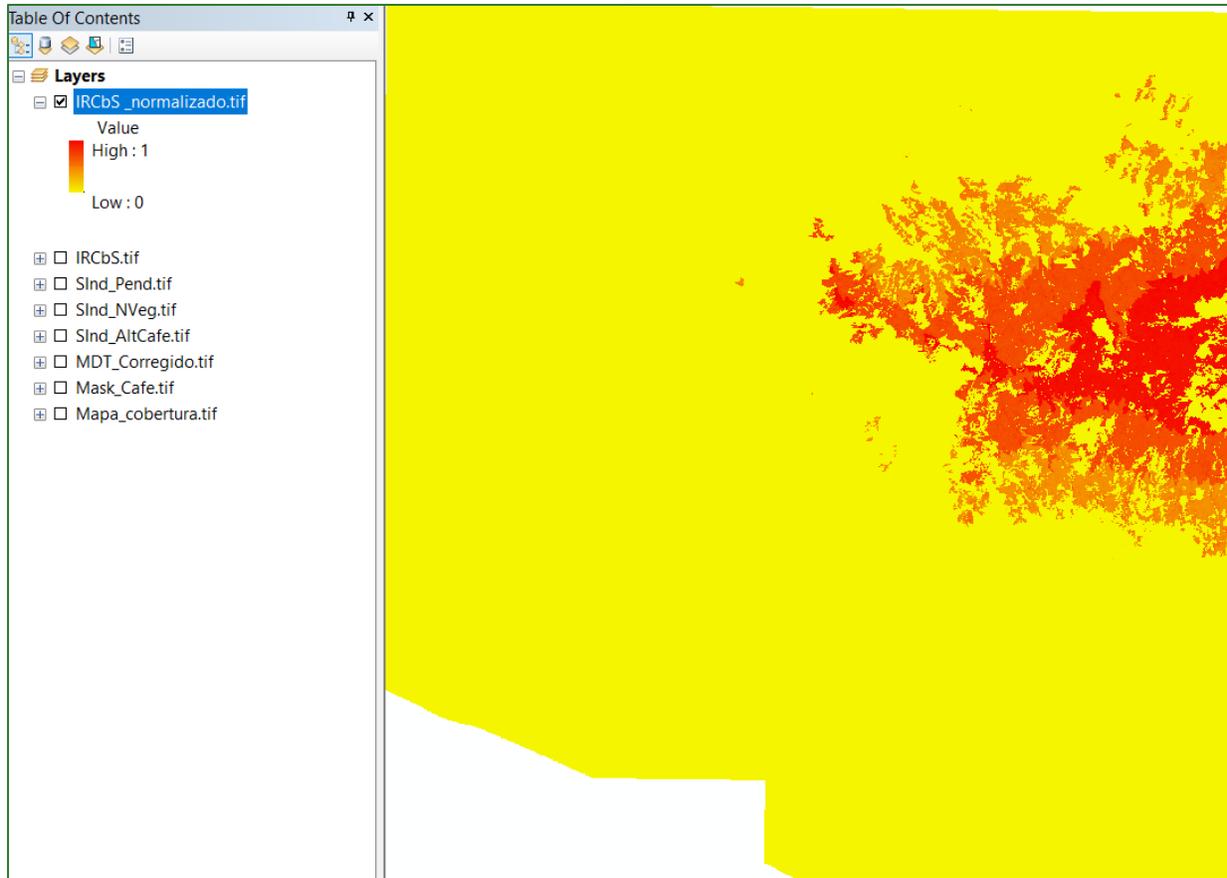
Paso 6: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración de Cafetales bajo Sombra (IRCbS)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRCbS.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta “**Fuzzy Membership**” para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los

valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración de cafetales bajo sombra, en este sentido, se define que entre mayor es el índice, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **IRCbS.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **IRCbS_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/CAFETALES**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración de cafetales bajo sombra.



Parte 5. Índice de aptitud para la restauración con sistemas agroforestales (IRAgro)

Los sistemas de producción agroforestales se definen como una serie de sistemas y tecnologías para el uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y el espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida.

En comparación con los sistemas de producción en monocultivo, los sistemas agroforestales ofrecen al campesino varias ventajas, por ejemplo:

- Incrementa en forma directa los ingresos a la familia campesina, combinando cultivos con ciclos de producción más equilibrada.
- Reduce los costos de producción agropecuaria.
- A mediano y largo plazo, los ingresos de la producción de madera y productos no maderables, como la goma, frutas, colorantes y miel pueden ser importantes.

Para la obtención del índice de aptitud para la restauración con sistemas agroforestales (IRAgro) deberá crear una subcarpeta con el nombre **AGROFOR**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 5, serán almacenados en la carpeta **APR/AGROFOR**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde las subcarpetas creadas en los pasos anteriores y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
Mapa_uso_suelo.tif	https://github.com/quialandscape/GUIA_APR APR/GALERIA
NBosq2.tif	APR/GALERIA
NBosq3.tif	APR/GALERIA
SInd_NBosq.tif	APR/GALERIA
MDT_corregido.tif	PROCESOS/RASTER/MDT

Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 2: subíndice No-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 3: máscara agrícola: agregue al ArcMap la capa denominada **Mapa_uso_suelo.tif** ubicada en la carpeta **APR/PASTOS_ARB** o descargue desde el repositorio de GitHub (https://github.com/quialandscape/GUIA_APR) el ráster llamado **Mapa_uso_suelo.tif** guárdelo en la carpeta **APR/AGROFOR** y después agréguelo al ArcMap.

Paso 3.1: reclasifique el archivo **Mapa_uso_suelo.tif**, para esto utilice la herramienta “Reclassify” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el ráster **Mapa_uso_suelo.tif** y aplique los siguientes parámetros:

Reclassify:

Agrícola = 1 (en el mapa corresponde a las clases otros cultivos (granos básicos, hortalizas, arroz, cultivo de flores y otros similares), la clase vegetación arbustiva (matorral) y la clase de suelos desnudos).

No Agrícola = 0 (en el mapa corresponde al resto de clases diferentes a las tres mencionadas anteriormente).

Al archivo de salida nómbrelo **Mask_Agro.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/AGROFOR**.

The screenshot shows the ArcToolbox on the left with 'Reclassify' selected under 'Spatial Analyst Tools'. The Reclassify dialog box is open, showing the input raster 'Mapa_uso_suelo.tif' and the output raster 'D:\APR\AGROFOR\Mask_Agro.tif'. The reclassification table is as follows:

Old values	New values
8	0
9	0
10	0
11	0
12	1
13	1
14	1
NoData	NoData

The ArcMap interface shows the 'Table Of Contents' with the 'Mask_Agro.tif' layer added, and a map view showing the resulting mask with green areas (value 1) and blue areas (value 0).

Paso 4: agregue al ArcMap la capa denominada **NBosq2.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

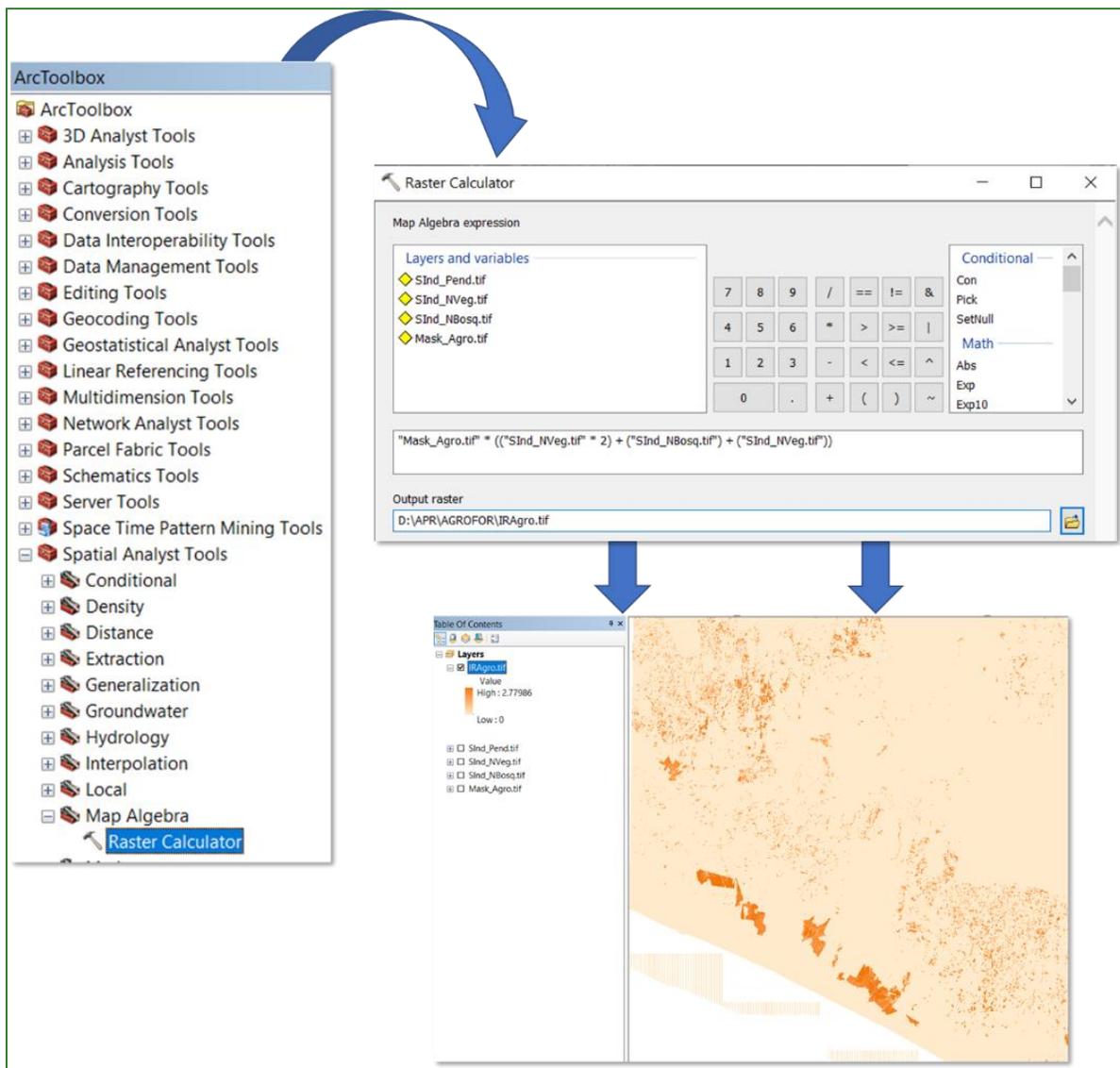
Paso 5: agregue al ArcMap la capa denominada **NBosq3.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 6: agregue al ArcMap capa denominada la **SInd_NBosq.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 7: crear el Índice de Aptitud para la Restauración con sistemas agroforestales (IRAgro).

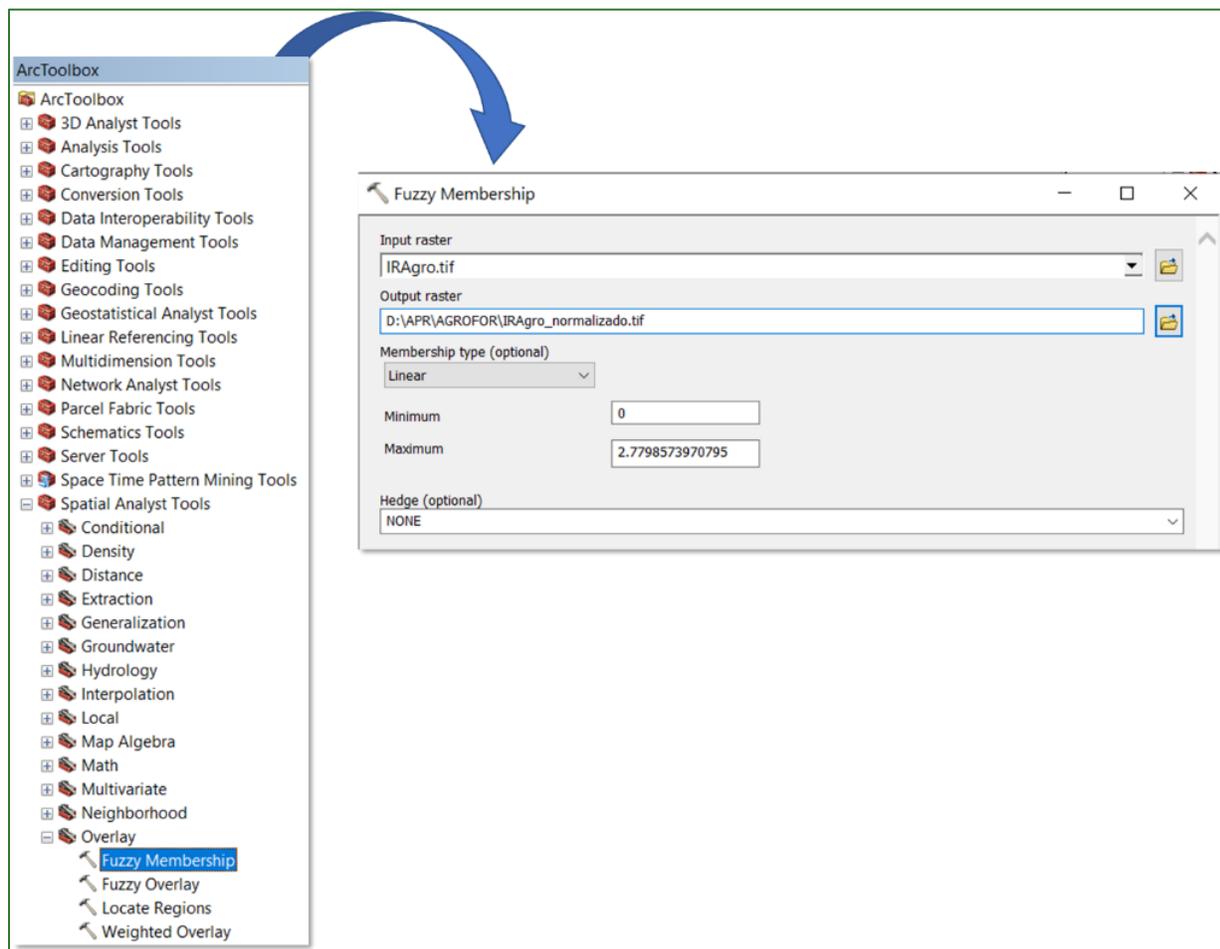
Este índice es el producto de la sumatoria de los tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta **“Raster Calculator”** que se encuentra disponible en **ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRAgro.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/AGROFOR**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{Mask_Agro.tif} * [(\text{SInd_NVeg.tif} * 2) + (\text{SInd_NBosq.tif}) + (\text{SInd_Pend.tif})]$$

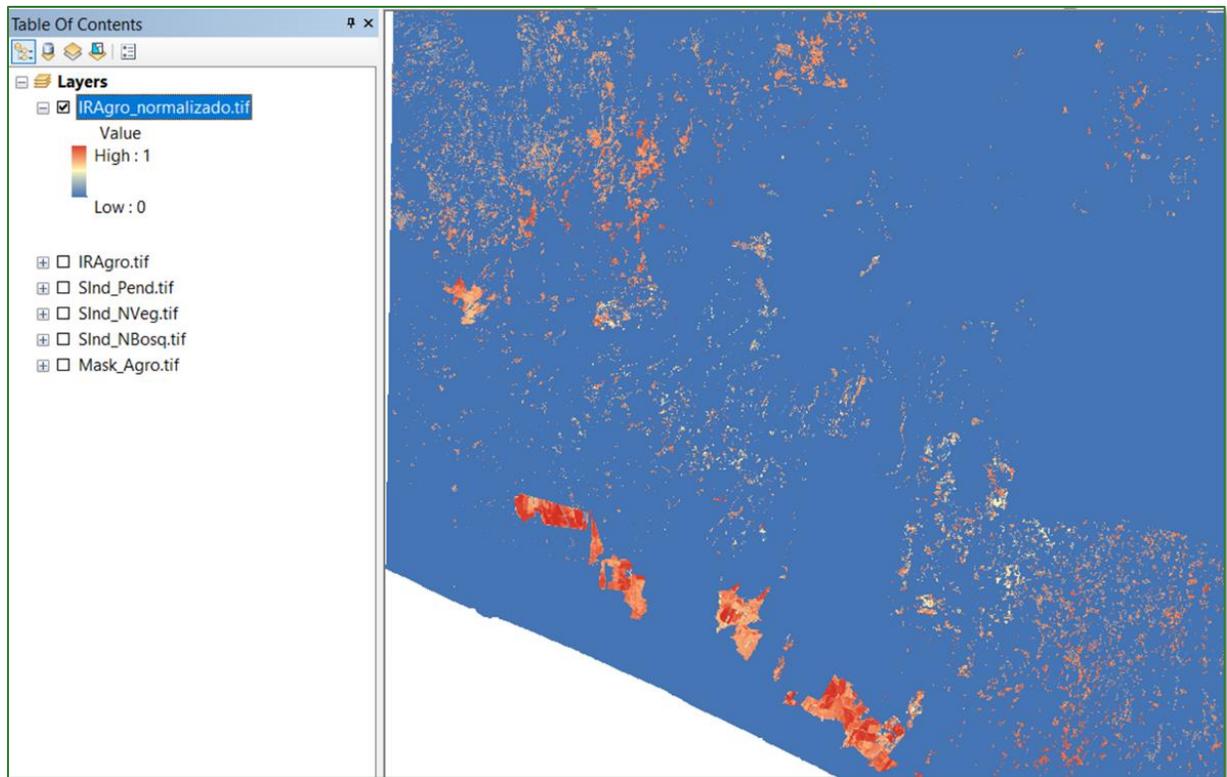


Paso 8: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración con sistemas agroforestales (IRAgro)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRAgro.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración de sistemas agroforestales, en este sentido, se define que entre mayor es el índice o más se acerca a 1, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicada **en ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **IRAgro.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **IRAgro_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/AGROFOR**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración de sistemas agroforestales.



Parte 6. Índice de aptitud para reforestación (IRef)

La reforestación es una operación en el ámbito de la silvicultura destinada a repoblar zonas que en el pasado histórico reciente estaban cubiertas de bosques que han sido eliminados por diversos motivos como pueden ser: Explotación de la madera para fines industriales y/o para consumo como plantas.

En esta sección se identificará y determinará la superficie de suelos de aptitud preferentemente forestal potencialmente disponible para reforestación y su ubicación en el área del proyecto.

Para la obtención del Índice de Aptitud para Reforestación (IRef) deberá crear una subcarpeta con el nombre **REFORESTA**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 6, serán almacenados en la carpeta **APR/REFORESTA**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde las subcarpetas creadas en los pasos anteriores y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
SInd_NBosq.tif	APR/GALERIA

Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

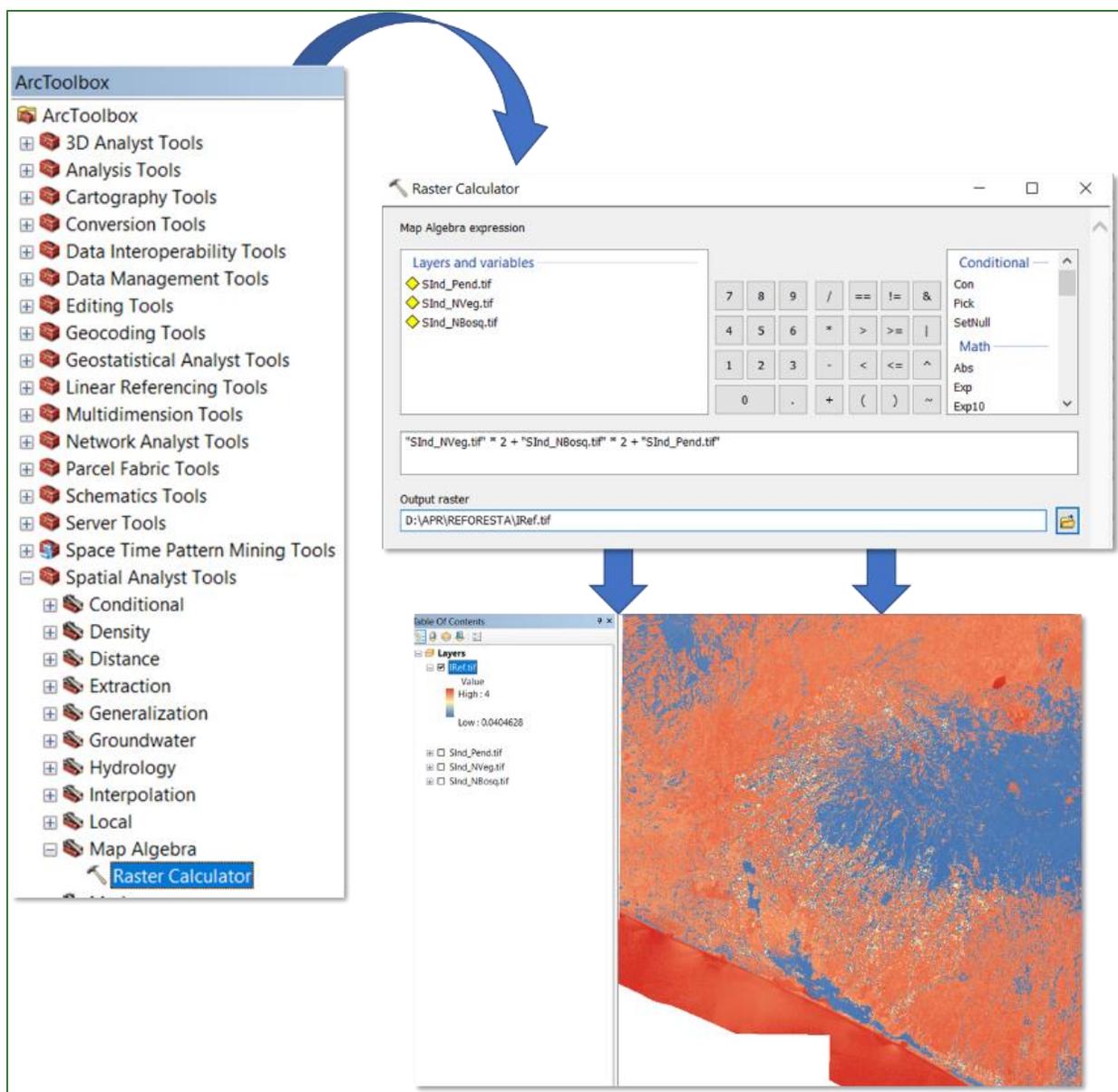
Paso 2: subíndice No-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 3: subíndice No-Bosque: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NBosq.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 4: crear el Índice de Aptitud para Reforestación (IRef).

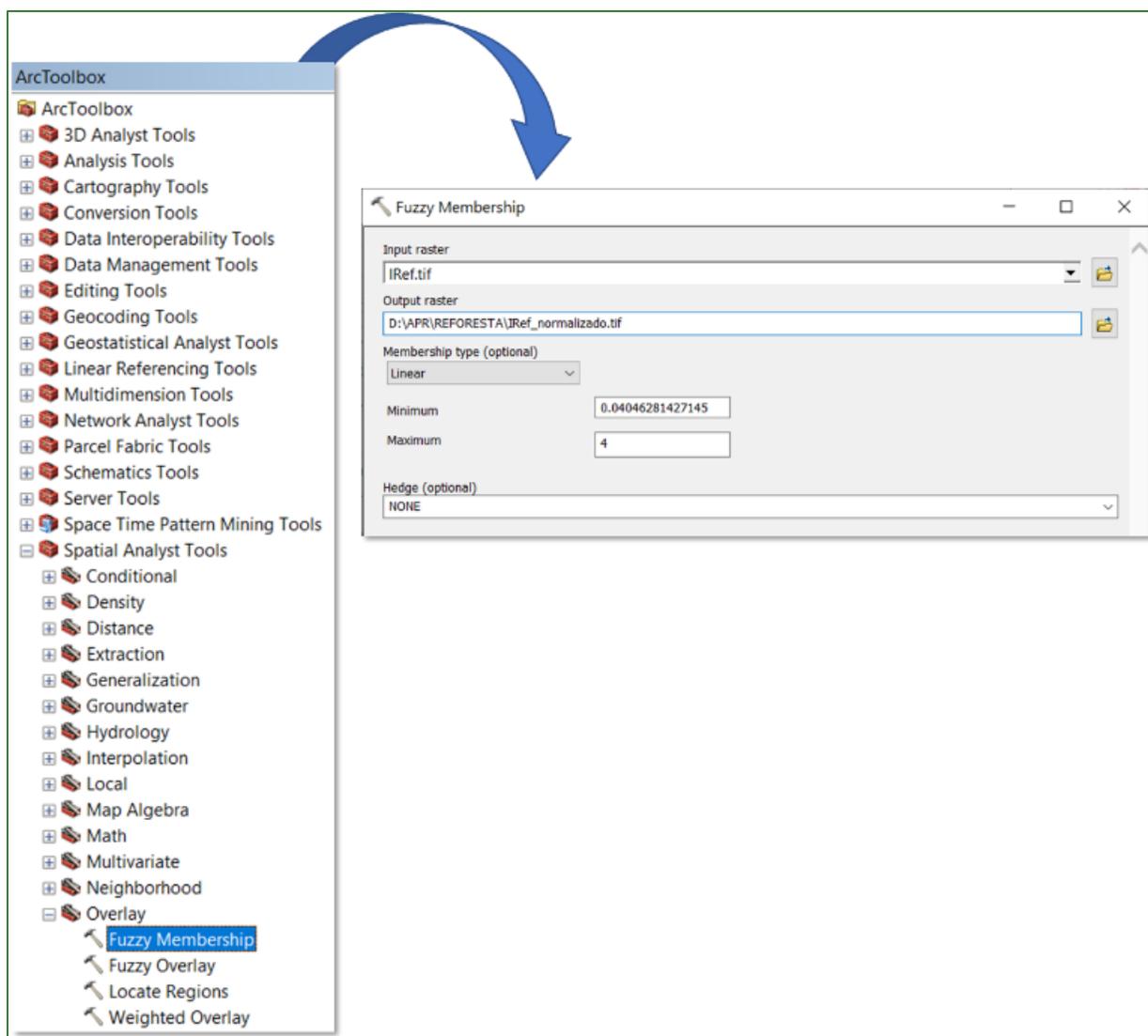
Este índice es el producto de la sumatoria de los tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta “**Raster Calculator**” que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRef.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/REFORESTA**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{SInd_NVeg.tif} * 2 + \text{SInd_NBosq.tif} * 2 + \text{SInd_Pend.tif}$$

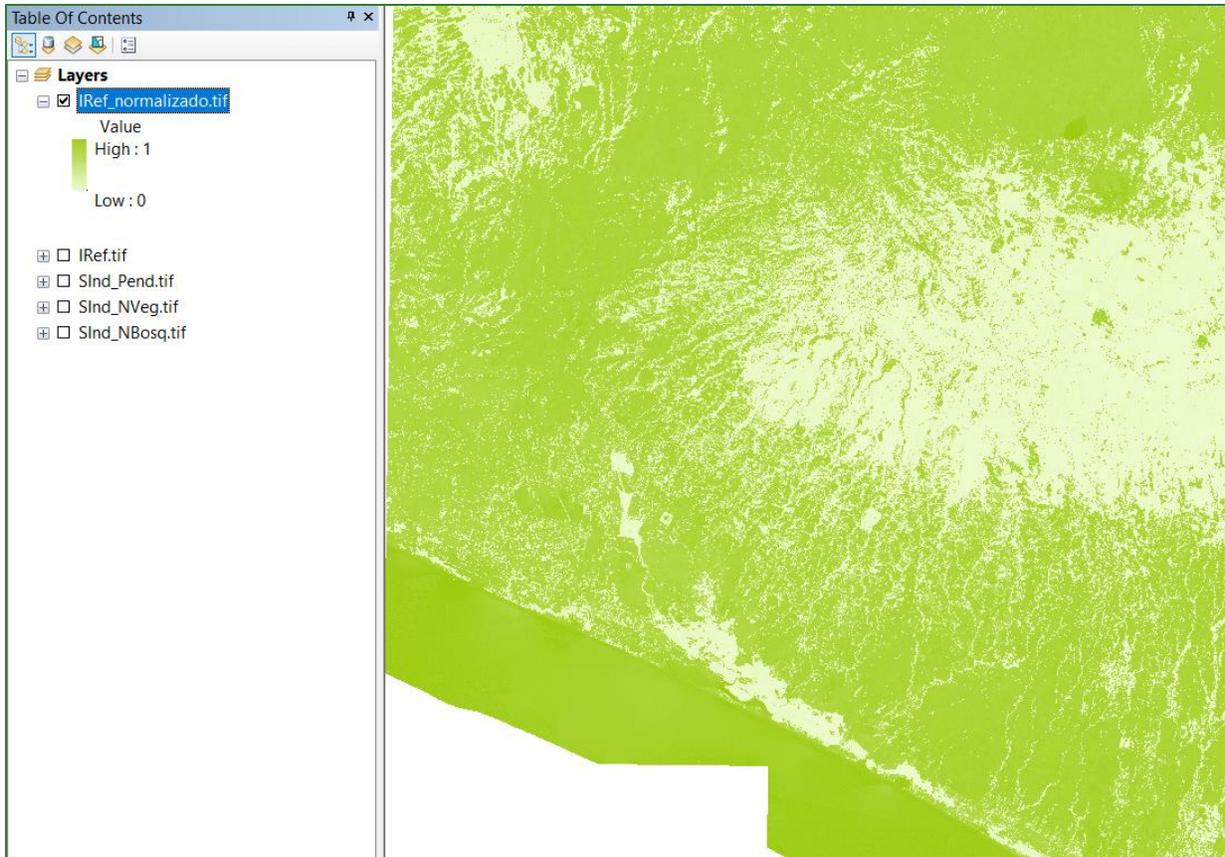


Paso 5: normalizar el Índice de Aptitud para Reforestación (IRef)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRef.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la reforestación, en este sentido, se define que entre mayor es el índice o más se acerca a 1, mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo IRef.tif y el archivo de salida nómbrelo como **IRef_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/REFORESTA**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la reforestación.



Parte 7. Índice de aptitud para la restauración del bosque secundario (IRBS)

Los bosques secundarios son bosques que se regeneran en gran parte a través de procesos naturales después de una perturbación significativa de origen humana y / o natural de la vegetación forestal original en un solo punto en el tiempo o en período más extenso de tiempo y que muestran una diferencia importante en la estructura de los bosques y/o composición de las especies del dosel con respecto a los bosques primarios cercanos en sitios similares (Chokkalingam y de Jong, 2001).

Entre la importancia ecológica de los bosques secundarios sobresalen:

- Recuperación de la productividad de los suelos.
- Regulación de flujos de agua.
- Reducción de la erosión del suelo y protección contra el viento.
- Mantenimiento de la biodiversidad.
- Acumulación de carbono.
- Ecosistemas para el establecimiento de la biodiversidad que requiere condiciones de bosque alto.
- Rehabilitación de tierras degradadas.

En esta sección se identificará y determinará la superficie de suelos de aptitud preferentemente forestal potencialmente disponible para restauración de bosque secundarios en el área del proyecto.

Para la obtención del Índice de Aptitud para la Restauración del Bosque Secundario (IRBS) deberá crear una subcarpeta con el nombre **B_SECUNDARIO**, por lo tanto, los archivos de salida de la PARTE 7, serán almacenados en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**. Los archivos que utilizaremos para generar los procesos en su mayoría serán obtenidos o llamados desde las subcarpetas creadas en los pasos anteriores y desde el repositorio de GitHub.

Nombre archivo de entrada	Localización
SInd_Pend.tif	APR/GALERIA
SInd_NVeg.tif	APR/GALERIA
ganancias.tif	APR/GALERIA/GANANCIA
Mapa_cobertura	APR/CAFETALES

Paso 1: subíndice pendiente: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_Pend.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 2: subíndice No-vegetación: agregue al ArcMap la capa denominada **SInd_NVeg.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA**.

Paso 3: subíndice Bosque Secundario.

Paso 3.1: agregue al ArcMap la capa denominada **Mapa_cobertura.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/CAFETALES**.

Paso 3.2: reclasifique el archivo **Mapa_cobertura.tif**, para esto utilice la herramienta “**Reclassify**” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**. Como archivo de entrada utilice el raster **Mapa_cobertura.tif** y aplique los siguientes parámetros:

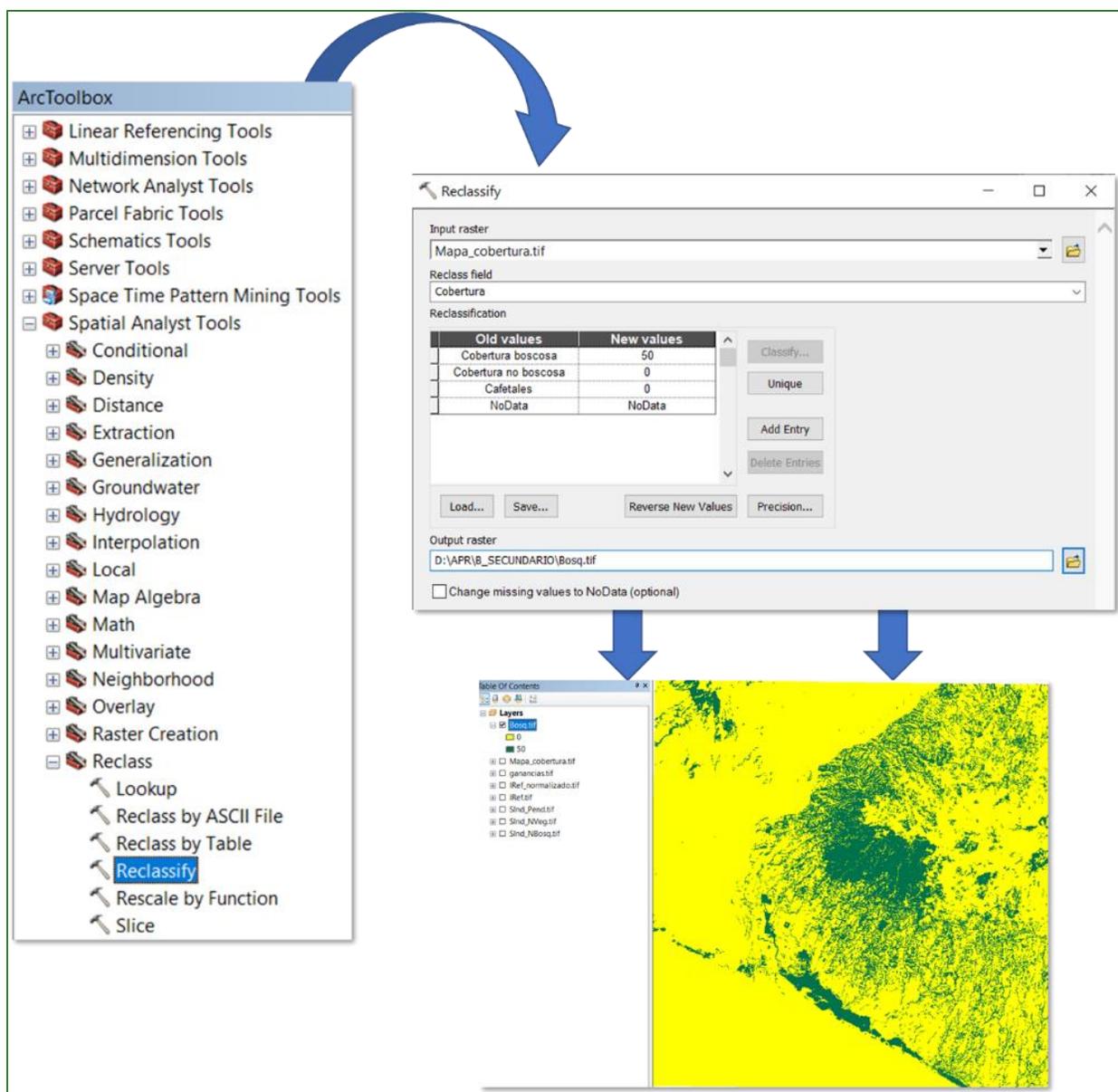
Reclassify:

Bosque = 50 (en el mapa corresponde a la clase “cobertura boscosa”)

No Bosque = 0 (en el mapa corresponde a las clases “cobertura no boscosa” y “cafetales”)

Nota: Si el sitio de análisis contiene bosque primario, este deberá de reclasificarlo como 0 (no bosque), en el ejemplo específico del Proyecto de El Salvador, el mapa no tiene la categoría de bosque primario.

Al archivo de salida nómbrelo **Bosq.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**.



Paso 3.3: agregue al ArcMap la capa denominada **ganancias.tif** que se encuentra localizada en la carpeta **APR/GALERIA/GANANCIA**.

Paso 3.4: reclasifique el archivo **ganancias.tif**, para esto utilice la herramienta “**Reclassify**” ubicada en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify**, como archivo de entrada utilice el ráster **ganancias.tif** y aplique los siguientes parámetros:

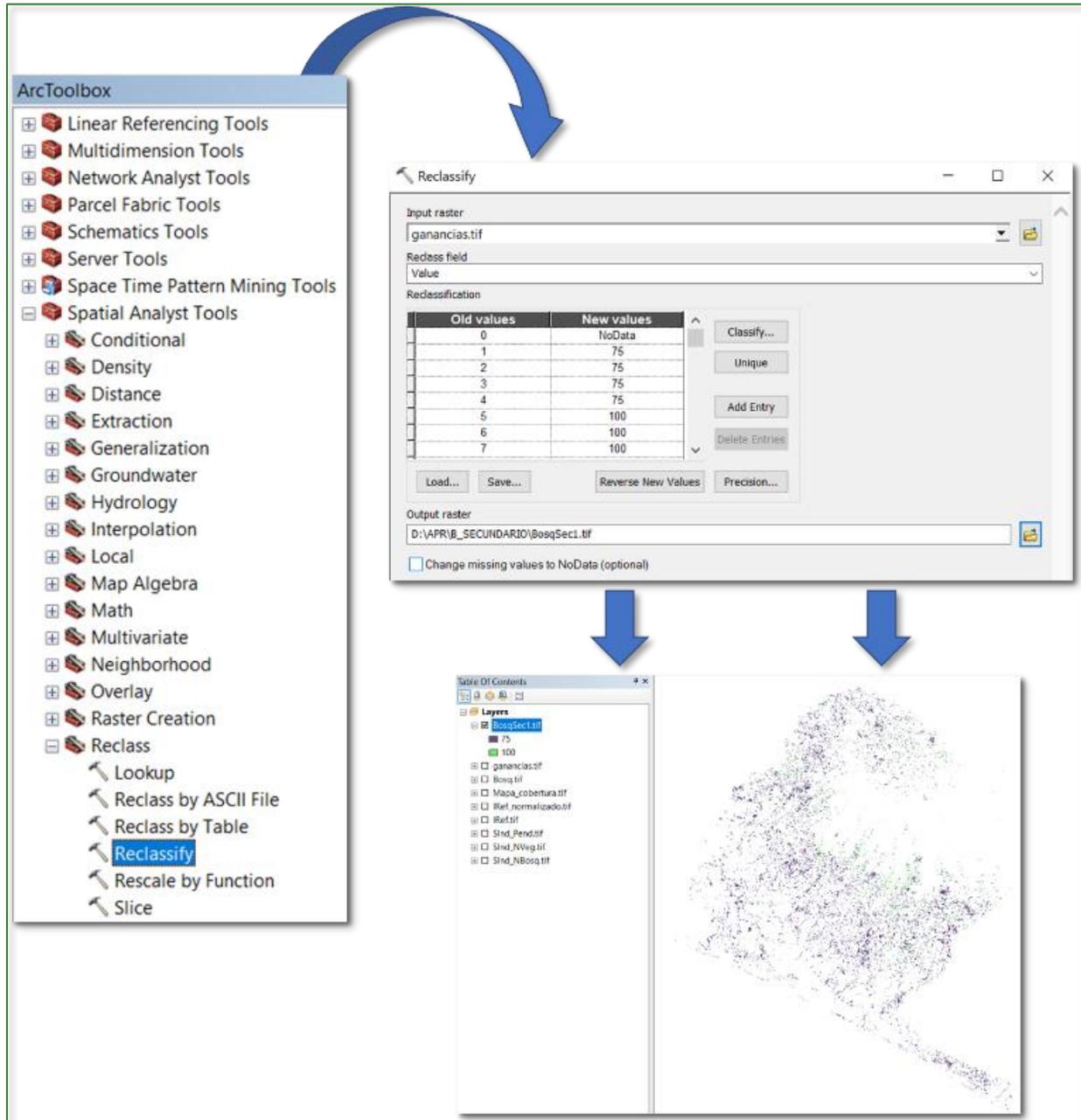
Reclassify:

0 = NoData

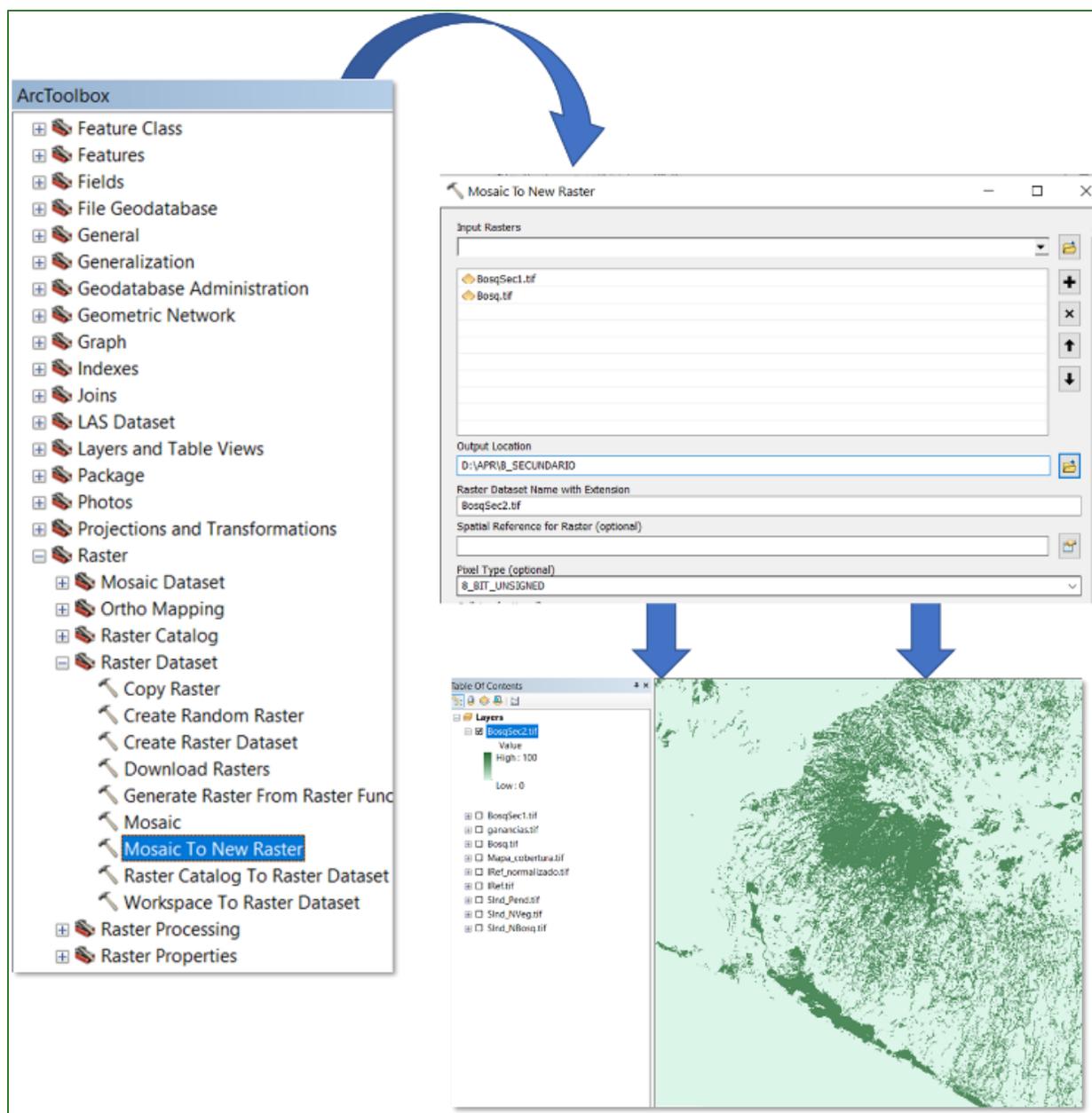
2-5m = 75

>= 5m =100

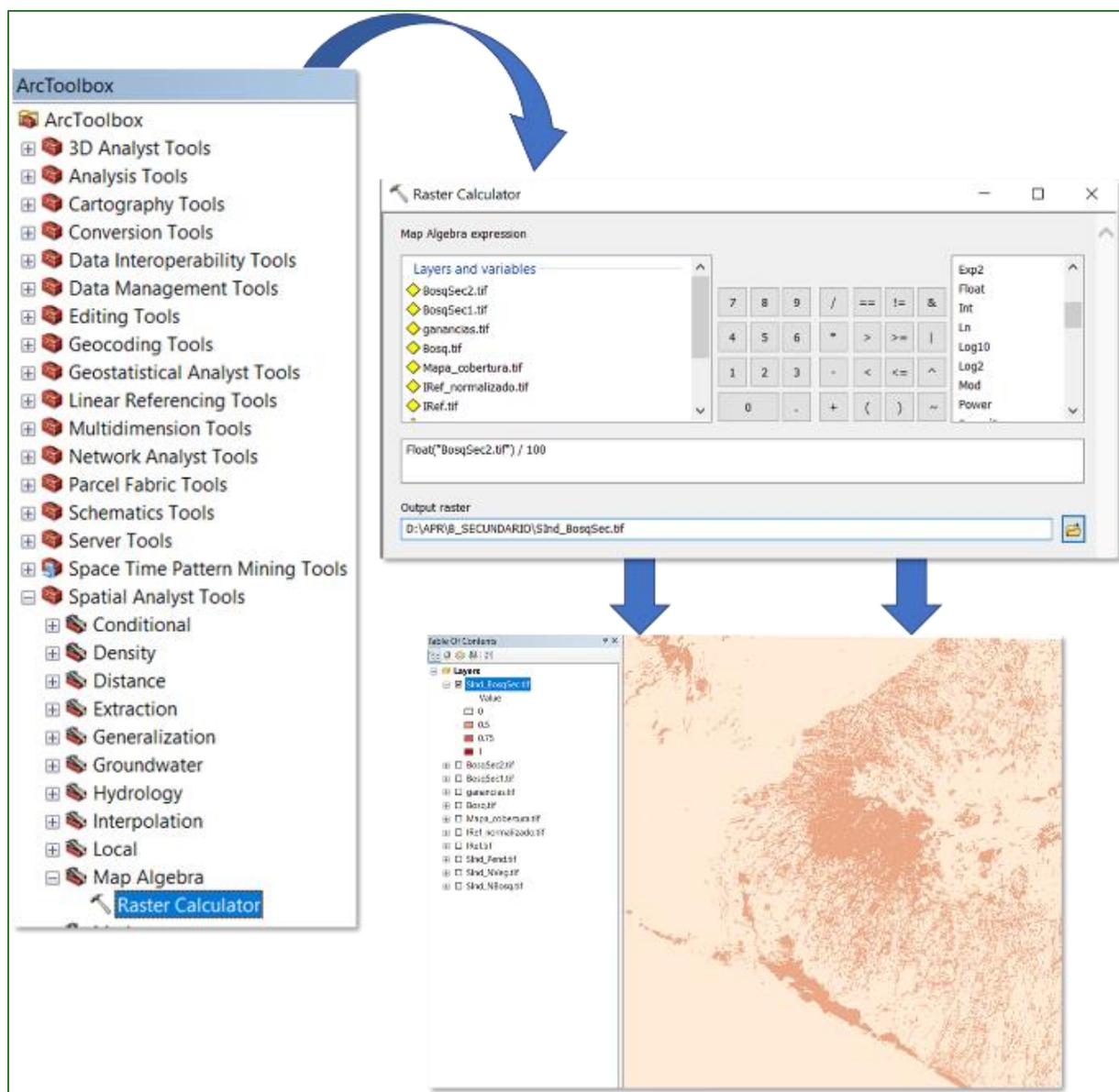
Al archivo de salida nómbrelo **BosqSec1.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**.



Paso 3.5: genere un mosaico para la zona de estudio, el mosaico se genera utilizando la capa anterior denominada **BosqSec1.tif** y el ráster **Bosq.tif**. Aplique la herramienta “**Mosaic To New Raster**” ubicada en **ArcToolBox/Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster**. Como archivo de entrada utilice los archivos **BosqSec1.tif** (queda arriba) y el ráster **Bosq.tif** (queda abajo) y al archivo de salida nómbrelo como **BosqSec2.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**.



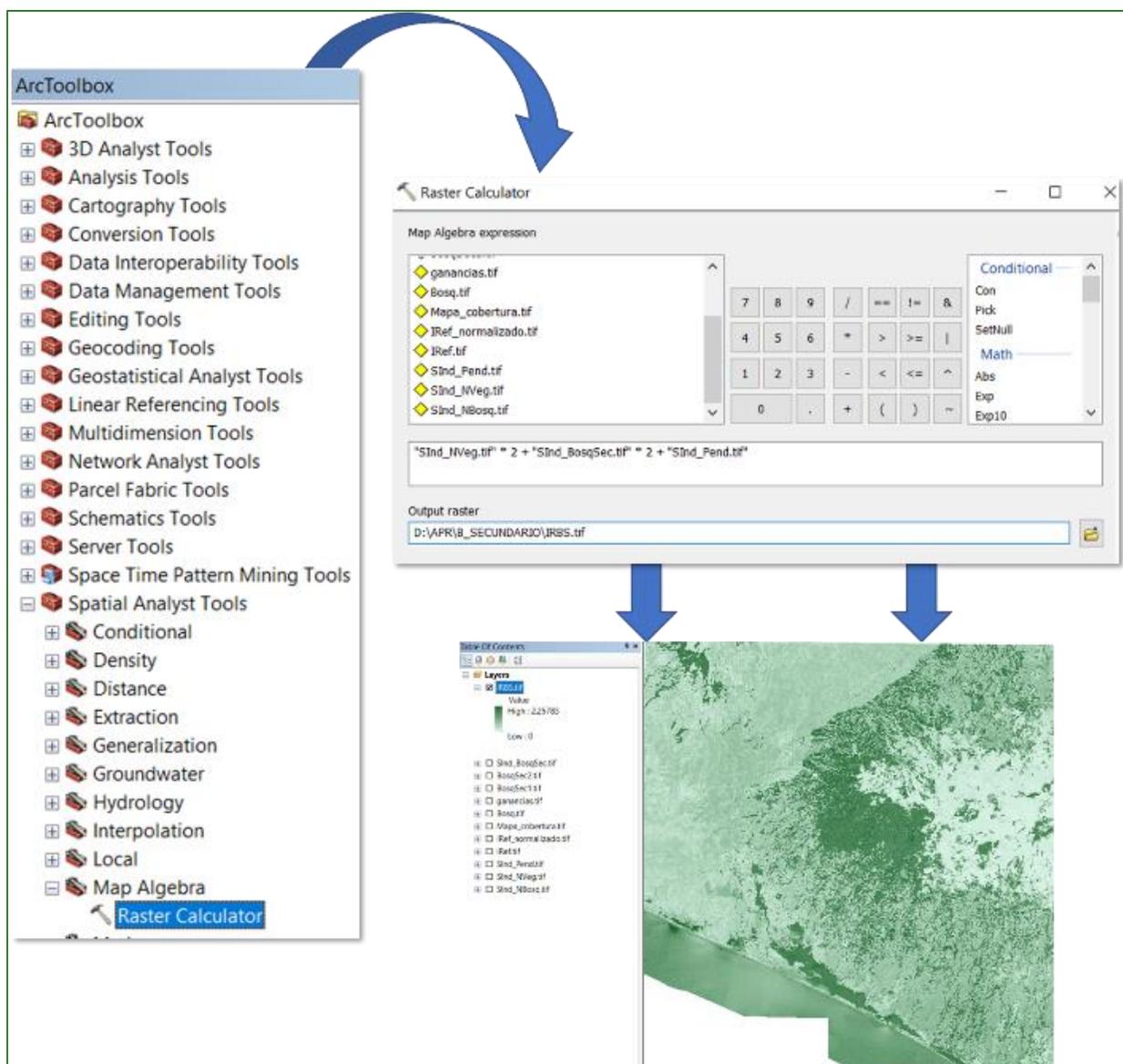
Paso 3.6: convierta los valores enteros a valores decimales, para esto aplique la herramienta “**Raster Calculator**” tipo **FLOAT** que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **SInd_BosqSec.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**.



Paso 4: Índice de Aptitud para la Restauración del Bosque Secundario (IRBS)

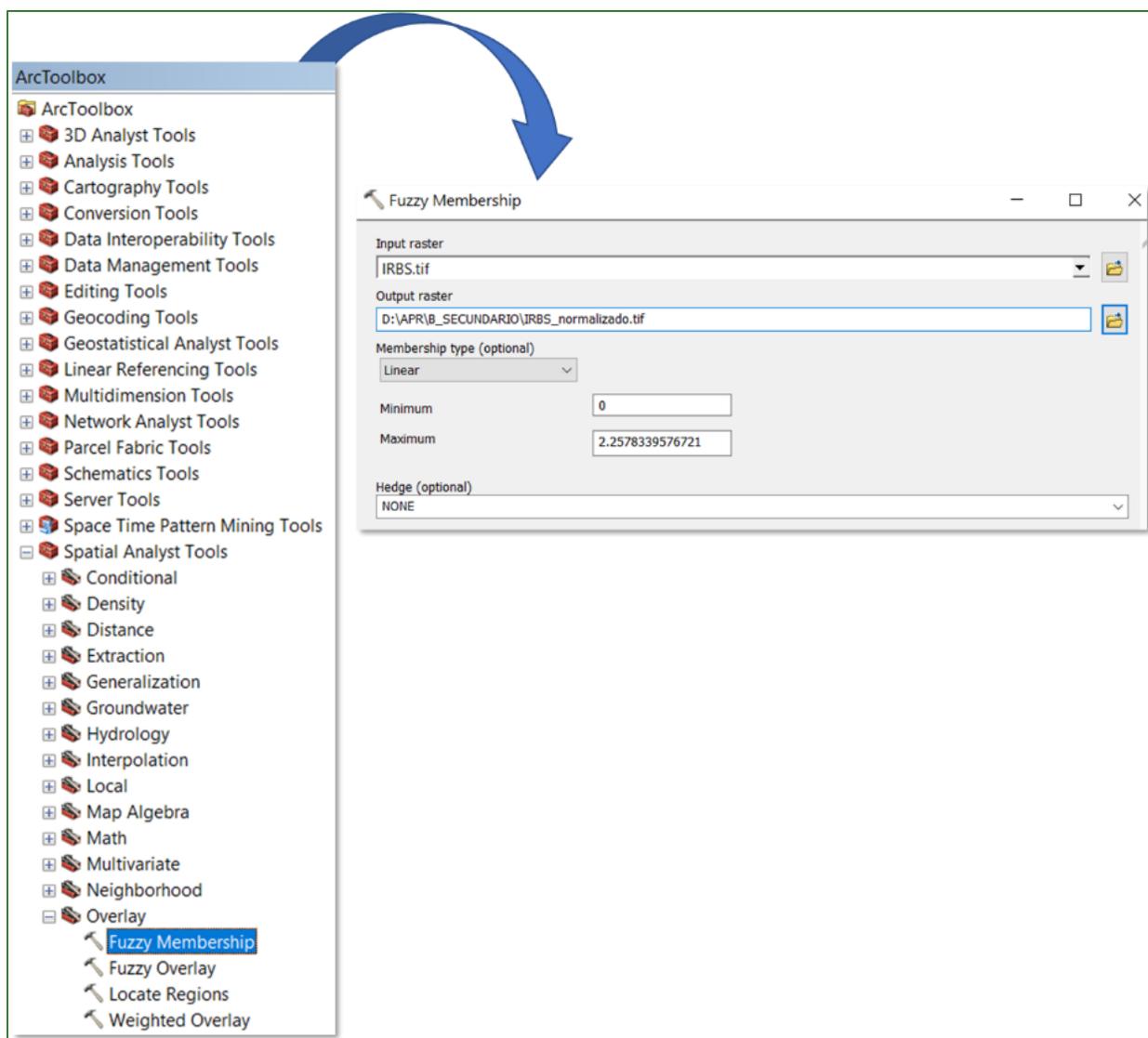
Este índice es el producto de la sumatoria de tres subíndices creados anteriormente junto con un determinado criterio de ponderación. Para crear el índice aplique la herramienta **“Raster Calculator”** que se encuentra disponible en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator**. Al archivo de salida nómbrelo como **IRBS.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**. Aplique las siguientes ponderaciones:

$$\text{SInd_NVeg.tif} * 2 + \text{SInd_BosqSec.tif} * 2 + \text{SInd_Pend.tif}$$

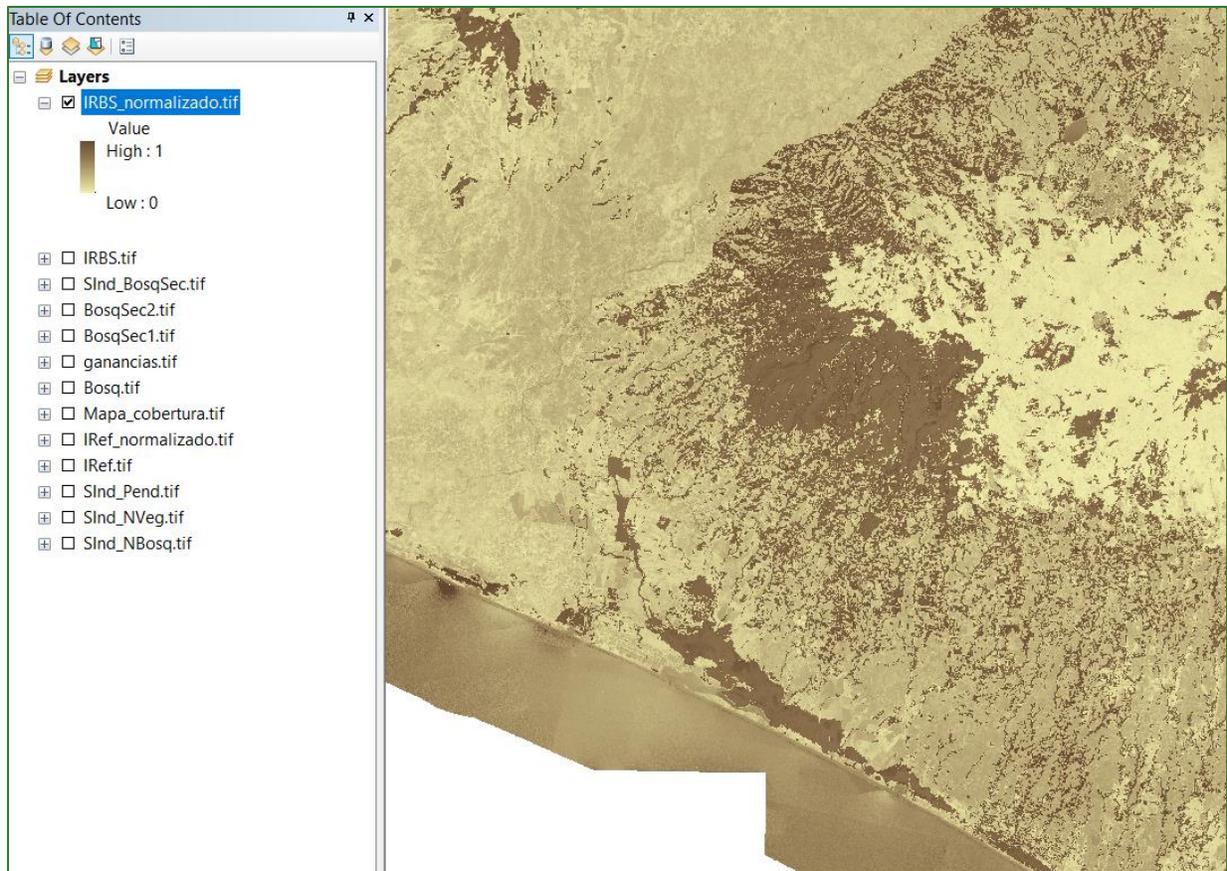


Paso 5: normalizar el Índice de Aptitud para la Restauración del Bosque Secundario (IRBS)

Finalmente, proceda a normalizar el archivo **IRGS.tif** creado en el paso anterior aplicando la herramienta **“Fuzzy Membership”** para normalizar los datos, con este proceso se identificarán los valores mínimos y máximos de aptitud para la restauración del bosque secundario, en este sentido, se define que entre mayor es el índice (más cerca de 1), mayor es la aptitud para restauración. La herramienta **“Fuzzy Membership”** se encuentra ubicado en **ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Fuzzy Membership**. En la casilla Input Raster ingrese el archivo **IRGS.tif** y el archivo de salida nómbrelo como **IRGS_normalizado.tif** y guárdelo en la carpeta **APR/B_SECUNDARIO**.



El resultado deberá observarse de la siguiente manera: valores cercanos a 1 corresponden a aquellas áreas identificadas con mayor aptitud para la restauración del bosque secundario.



Bibliografía

Achard, F. (Ed.), Hansen, M. (Ed.). (2013). Global Forest Monitoring from Earth Observation. Boca Raton: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/b13040>

Batres, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. UNED Research Journal, 9, 23-33. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>

Chaplin-Kramer, R., Ramler, I., Sharp, R. et al. Degradation in carbon stocks near tropical forest edges. Nat Commun 6, 10158 (2015). <https://doi.org/10.1038/ncomms10158>

Chokkalingam, U.; de Jong, W. 2001. Secondary forest: a working definition and typology. International Forestry Review 3(1) Center for International Forestry Research

Delgadillo, A., Ferrer, C., Dugarte, M., 2009. Aspectos hidrogeomorfológicos de un sector de Los Andes merideños (Venezuela): un intento de zonificación por crecidas y flujos de detritos. Rev. Geogr. Venez. 50, 59-85.

Epstein, H. E., Reynolds, M. K., Walker, D. A., Bhatt, U. S., Tucker, C. J., and Pinzon, J. E., 2012: Dynamics of aboveground phytomass of the circumpolar Arctic tundra during the past three decades. Environmental Research Letters, 7: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/015506>

Fetter, C. W. (2001,1994). Applied Hydrogeology. 3rd ed. New Jersey, USA: Macmillan College Publishing Comp.

Gurovich, L. A. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica.

Horton, R.E. (1940). An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Science Society of America Processes, 5, 399-417.

Pavel Kindlmann, Françoise Burel. Connectivity measures: a review. Landscape Ecology, Springer Verlag, 2008, 23 (8), pp.879-890.

Laidler J, Paul M. Treitz and David M. Atkinson. 2008: Remote Sensing of Arctic Vegetation: Relations between the NDVI, Spatial Resolution and Vegetation Cover on Boothia Peninsula, Nunavut Vol. 61, No. 1, pp. 1-13

Le Quéré, C., R. Moriarty, R. M. Andrew, G. P. Peters, P. Ciais, P. Friedlingstein, S. D. Jones et al. (2015), "Global Carbon Budget 2014", Earth System Science Data, núm. 7(1), pp. 47-85; doi:10.5194/essd-7-47-2015

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

Muller, S. V, Racoviteanu, A. E, and Walker, D. A, 1999: Landsat MSS-derived land-cover map of northern Alaska: extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2921–2946.

Parr, J. F. & Bertrand, A. R. (1960). Water infiltration in soils. *Advances in Agronomy*, 12, 311-363.

Shaver, G. R., Street, L. E, Rastetter, E. B, Van Wijk, M. T, and Williams, M., 2007: Functional convergence in regulation of net CO₂ in heterogeneous tundra landscapes in Alaska and Sweden. *Journal of Ecology*, 95: 802–817.

Trabucco, A., and Zomer, R.J. 2018. Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration (ET₀) Climate Database v2. CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal at <https://cgiarcsi.community>

Wang, L., Huang, J., Du, Y., Hu, Y., Han, P., 2013. Dynamic assessment of soil erosion risk using Landsat Tm and Hj satellite data in Danjiangkou Reservoir Area, China. *Remote Sens.* 5, 3826-3848. DOI: 10.3390/rs5083826

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook* 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp



UNIÓN EUROPEA

Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania



COMISIÓN CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO



SICA
Sistema de la Integración
Centroamericana

Restaurando Ecosistemas y Paisajes

Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
Urbanización Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100

E info@fondodesarrolloverde.org

I www.fondodesarrolloverde.org

Implementado por:



El Programa Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA, es implementado por la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), con el apoyo financiero y técnico de la Unión Europea y el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de la República Federal de Alemania, en el marco de la Iniciativa Internacional para el Clima (IKI) del BMU como parte del programa “REDD+ Landscape”.