



Cofinanciado por
la Unión Europea

Fomentado por:

Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores

en virtud de una decisión
del Bundestag alemán



En coordinación con:



Guía Metodológica para la Medición de línea de impacto de Servicios Ecosistémicos

Restaurando Ecosistemas y Paisajes
Fondo de Desarrollo Verde para la región SICA

Implementado por:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Guía Metodológica para la Medición de línea de impacto de Servicios Ecosistémicos



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 / REDD+ Landscape
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.reddlandscape.org

Versión

Mayo de 2023

Diseño

Fondo de Desarrollo Verde para la región del SICA / REDD+ Landscape

Créditos fotográficos

Todas las fotos:

Programa Regional Fondo de Desarrollo Verde para la región del SICA / REDD+ Landscape

Autores

Efraín Duarte Castañeda (Especialista Líder de proyecto – Analítica Consultores)

Fabio Casco Gutiérrez (Especialista de proyecto – Analítica Consultores)

Claudia Garrido Ruiz (Especialista corto plazo de proyecto – Analítica Consultores)

Carlos Reyes (Especialista de proyecto – Analítica Consultores)

Revisión y supervisión

Emma Flores (Asesora Técnica en Monitoreo de Servicios Ecosistémicos – Fondo de Desarrollo Verde /REDD+ Landscape)

El presente documento ha sido elaborado con el apoyo financiero 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 sobre la base de una decisión adoptada por el Parlamento Alemán. Su contenido es responsabilidad exclusiva del programa y no necesariamente refleja los puntos de vista de la Unión Europea ni del gobierno Alemán.

Este programa es implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) en coordinación con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD).



TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	7
2. INTRODUCCIÓN	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1. MEDICIÓN DE LÍNEA DE IMPACTO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS	9
3.1.1. CONCEPTUALIZACIÓN METODOLÓGICA	9
3.1.2. SISTEMATIZACIÓN DE DATOS BASES	11
3.1.3. DESCARGA DE DATOS	12
3.1.3.1. Cómo acceder a Google Earth Engine	12
3.1.3.2. Interfaz a Google Earth Engine	15
3.1.3.3. Mapas base de NICFI en Google Earth Engine	16
3.1.3.4. Código de descarga de imágenes Planet y NDVI	17
3.1.3.5. Descarga de imágenes Planet y NDVI	21
3.1.4. PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS	22
3.1.4.1. Definición de crecimientos anuales según IPCC	22
3.1.4.2. Proceso de ajuste de NDVI	25
3.1.5. MODELO DE CARBONO	30
3.1.5.1. Reclasificación de capa de carbono	30
3.1.5.2. Estimación de Carbono para ambos periodos	31
3.1.6. MODELO DE EROSIÓN	32
3.1.7. MODELO DE INFILTRACIÓN	33
3.1.8. MODELO DE CONECTIVIDAD	34
3.1.9. CÁLCULO DE ESTADÍSTICAS ZONALES	35
3.1.10. DEFINICIÓN DE ÁREAS DE IMPACTO DIRECTO Y ÁREAS DE INFLUENCIA	37
3.1.10.1. Áreas de impacto directo	38
3.1.10.2. Áreas de impacto indirecto	38
3.1.10.3. Generación de área de intervención indirecta	39
3.2. METODOLOGÍA DE LÍNEA IMPACTO MEDIANTE USO DE FACTORES DE INCREMENTO	48
3.3. INTEGRACIÓN METODOLÓGICA	55
3.3.1. ESTIMACIÓN DE LÍNEA IMPACTO POR SERVICIO ECOSISTÉMICOS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN PARA ESTIMAR LOS CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN Y SU IMPACTO EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	9
FIGURA 2. ENFOQUE PARA ESTIMAR EL IMPACTO DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO (EJEMPLO: INFILTRACIÓN)	11
FIGURA 3. ENFOQUE PARA ESTIMAR EL IMPACTO DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO	11
FIGURA 4. ENFOQUE DE SISTEMATIZACIÓN DE DATOS.....	12
FIGURA 5. GESTIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	12
FIGURA 6. PANTALLA DE INICIO EN LA PÁGINA DE REGISTRO DE GEE	13
FIGURA 7. FORMULARIO DE DATOS A LLENAR PARA REGISTRARSE EN GEE	14
FIGURA 8. EJEMPLO DEL CORREO DE CONFIRMACIÓN POR PARTE DE GEE PARA PODER UTILIZAR LA API	15
FIGURA 9. DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL EDITOR DE CÓDIGO DE GEE	16
FIGURA 10. COLECCIONES DE IMÁGENES PLANET EN EE.....	17
FIGURA 11. VISUALIZACIÓN DE IMAGEN PLANET.....	20
FIGURA 12. VISUALIZACIÓN DE NDVI.....	21
FIGURA 13. VISUALIZACIÓN DE PROCESO DE DESCARGA DE DATOS (IMAGEN PLANET Y NDVI).....	21
FIGURA 14. PROCESO DE AJUSTE DE VARIABLES DE ENTRADA	25
FIGURA 15. CÁLCULO DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR	26
FIGURA 16. MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO DE NDVI.....	27
FIGURA 17. EJEMPLO DE PÍXELES MAYORES A 1 SDT.....	28
FIGURA 18. MODELO COMPLETO SOBRE AJUSTE DE CAPAS BASES (NDVI).....	29
FIGURA 19. COMPARATIVO DE DATOS DE ENTRADA VS DATOS AJUSTADOS	30
FIGURA 20. PROCESO DE RECLASIFICACIÓN DE MAPA DE CARBONO	31
FIGURA 21. ESTIMACIÓN DE CARBONO AJUSTADO	32
FIGURA 22. ESTIMACIÓN DE EROSIÓN AJUSTADA	33
FIGURA 23. ESTIMACIÓN DE INFILTRACIÓN AJUSTADA	34
FIGURA 24. ESTIMACIÓN DE CONECTIVIDAD AJUSTADA.....	35
FIGURA 25. DEFINICIÓN DE CÓDIGO ID	36
FIGURA 26. ZONAL POR TABLA	36
FIGURA 27. DEFINICIÓN DE TABLA EN EXCEL	37
FIGURA 28. CÁLCULO DE DIFERENCIAS.....	37
FIGURA 29. CONCEPTUALIZACIÓN DE ÁREA DIRECTAS E INDIRECTAS.....	38
FIGURA 30. ÁREAS DE IMPACTO DIRECTO E INDIRECTO PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	39
FIGURA 31. MODELO HIDROLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DE MICROCUENCAS ORDEN 5.	40
FIGURA 32. APLICACIÓN DEL PROCESO FLOW DIRECTION Y CODIFICACIÓN DE SALIDA QUE DETERMINA LA DIRECCIÓN DE FLUJO.	40
FIGURA 33. PROCESO DE ACUMULACIÓN DE FLUJO Y ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO.....	41
FIGURA 34. PROCESO GENERACIÓN DE LA RED HIDROLÓGICA (STREAM ORDER)	41
FIGURA 35. PROCESO RECLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE RED HÍDRICA ORDEN 5.....	42
FIGURA 36. PROCESO VÍNCULOS DE CURSO DE AGUA	42
FIGURA 37. PROCESO GENERACIÓN DE MICROCUENCAS.....	43
FIGURA 38. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA SELECCIÓN POR LOCALIZACIÓN	44
FIGURA 39. RESULTADO DE REALIZAR LA UNIÓN ESPACIAL DE LA BASE DE DATOS DE LAS CAPAS.	45
FIGURA 40. VISIÓN GENERAL DEL PRE Y POSTPROCESO DE FILTRADO	45
FIGURA 41. ESQUEMA GRÁFICO DE LOS CRITERIOS DE FILTRADO DE MICROCUENCAS.....	46
FIGURA 42. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA ERASE	46
FIGURA 43: DEMOSTRACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO DE CORRECCIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN INDIRECTA	47

FIGURA 44: DEMOSTRACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO DE CORRECCIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN INDIRECTA	48
FIGURA 45. SUPERFICIE INTERVENIDA POR MEDIDA DE RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS Y PAISAJES	54
FIGURA 46. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS SUB-UNIDADES DE CADA PROYECTO.....	55
FIGURA 47. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN DE CATEGORÍA (CLASIFICACIÓN) DE CARBONO, INFILTRACIÓN HÍDRICA Y EROSIÓN DE SSP.....	56
FIGURA 48. INTEGRACIÓN DE CATEGORÍA DE CARBONO, INFILTRACIÓN HÍDRICA Y EROSIÓN EN BASE DE DATOS CONSOLIDADA	57
FIGURA 49. ESTIMACIÓN DE RESULTADOS A NIVEL DE PROYECTO.	58

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL EN ÁREAS BOSCOSAS.....	23
TABLA 2. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL EN ÁREA NO BOSCOSAS (OTRAS TIERRAS)	24
TABLA 3. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA CARBONO POR CATEGORÍA. CON BASE EN IPCC 2019.....	50
TABLA 4. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA CARBONO POR CATEGORÍA. CON BASE EN IPCC 2019.....	51
TABLA 5. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA INFILTRACIÓN HÍDRICA POR CATEGORÍA. CON BASE EN BASCHE Y DELONGE 2019 Y GIZ, 2017.....	53
TABLA 6. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA EROSIÓN POR CATEGORÍA. CON BASE EN BASCHE Y DELONGE 2019 Y GIZ, 2017.....	53

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta una guía metodológica tripartita para la medición de la línea de impacto de los servicios ecosistémicos, permitiendo evaluar la eficacia de las intervenciones y proyectos implementados en el marco del programa.

El primer enfoque se centra en la Medición de Línea de Impacto de Servicios Ecosistémicos mediante el Uso de Sensores Remotos. Este método emplea tecnologías de monitoreo de última generación para rastrear los cambios en los ecosistemas y paisajes, proporcionando datos precisos y actualizados sobre las condiciones de los servicios ecosistémicos.

El segundo enfoque, Metodología de Línea Impacto mediante Uso de Factores de Incremento, se basa en el uso de factores de incremento para aquellos servicios ecosistémicos cuyos cambios no pueden ser monitoreados mediante imágenes satelitales. Esta metodología proporciona un marco para estimar el impacto de las intervenciones en función de diferentes factores predefinidos.

Finalmente, la Integración Metodológica combina estos dos enfoques para proporcionar una evaluación integral de la línea de impacto. Este enfoque híbrido combina los beneficios de la precisión de los sensores remotos con la versatilidad de los factores de incremento, permitiendo una evaluación precisa y adaptable del impacto en los servicios ecosistémicos.

En conjunto, estos enfoques proporcionan una metodología robusta para evaluar el impacto de las intervenciones del programa del FDV en los servicios ecosistémicos, proporcionando un camino hacia la mitigación del cambio climático y la mejora de la resiliencia de las comunidades locales a través de la restauración de paisajes y ecosistemas.

2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha provocado una serie de impactos negativos en los ecosistemas y paisajes en todo el mundo, afectando directamente los servicios ecosistémicos esenciales que brindan. La restauración de estos ecosistemas y paisajes es fundamental para mitigar los efectos del cambio climático y para mejorar la resiliencia de las comunidades que dependen de ellos.

La restauración de paisajes es importante por varias razones. En primer lugar, los paisajes naturales brindan servicios ecosistémicos esenciales, como la provisión de agua, alimentos, materias primas, regulación del clima y la biodiversidad, entre otros. Además, la restauración de paisajes puede contribuir a la mitigación del cambio climático al ayudar a secuestrar carbono de la atmósfera a través de la revegetación y la restauración de suelos. También puede aumentar la resiliencia de las comunidades locales ante el cambio climático, al mejorar la capacidad de los paisajes para resistir y recuperarse de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones. Por último, la restauración de paisajes puede ayudar a proteger la biodiversidad y los hábitats naturales, lo que a su vez puede contribuir a la conservación de especies en peligro de extinción y promover la diversidad biológica en general.

En este sentido, el programa del FDV tiene por objetivo la restauración de ecosistemas y paisajes y sus servicios ecosistémicos esenciales para la adaptación al cambio climático. Las intervenciones para el logro de este objetivo incluyen:

- I. Protección de bosques,
- II. Reforestación,
- III. Regeneración natural,
- IV. Restauración de manglares,
- V. Establecimiento de sistemas agroforestales (SAF),
- VI. Establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP)
- VII. Obras de conservación de suelos y agua.

En lo específico, mediante estas intervenciones se busca mejorar los servicios ecosistémicos de Carbono, conectividad estructural e infiltración hídrica y reducir las pérdidas de suelo por erosión.

Para evaluar los resultados del programa del FDV es fundamental estimar la línea de impacto que permita medir la eficacia de las diversas intervenciones y proyectos implementados en marco de este programa. La metodología utilizada para evaluar el impacto en los servicios ecosistémicos depende de los objetivos del Proyecto, el tipo de servicio ecosistémico y la calidad de los datos disponibles, entre otros (Harrison et al., 2018). En este contexto, la medición de la línea base de impacto incluye al menos: i) el uso de técnicas de modelación espacial para representar la distribución y abundancia de los servicios ecosistémicos en las zonas de estudios y ii) el uso de factores de incremento para los servicios ecosistémicos en los cuales el impacto de las medidas y/o prácticas no puedan ser monitoreadas mediante imágenes satelitales.

3. METODOLOGÍA

3.1. MEDICIÓN DE LÍNEA DE IMPACTO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS

3.1.1. CONCEPTUALIZACIÓN METODOLÓGICA

Los datos base correspondientes a los servicios ecosistémicos de infiltración, erosión de suelo, conectividad de paisaje y carbono se obtienen de la línea base de los proyectos; dichas líneas base fueron desarrolladas por el Programa del FDV para cada proyecto intervenido; estas líneas base se construyeron siguiendo la metodología establecida en la Guía Metodológica para la Implementación de Línea Base de Servicios Ecosistémicos del Fondo de Desarrollo Verde de la Región del SICA. En este sentido, para evaluar la línea de impacto de servicios ecosistémicos con base a sensores remotos se genera un modelo geoespacial utilizando métricas de cobertura vegetal como es el Índice de Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI) para determinar el cambio en la cobertura, por lo tanto, en los servicios ecosistémicos antes descritos.

El NDVI es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos (en nuestro caso imágenes PLANET), el NDVI mide la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja; en este sentido, un valor de NDVI cercano a 1 significa condiciones de vegetación óptimas que se traducen a vegetación sana, vegetación viva y vegetación densa. Valores de NDVI cercanos a 0 corresponden a vegetación escasa o áreas sin vegetación (FIGURA 1).

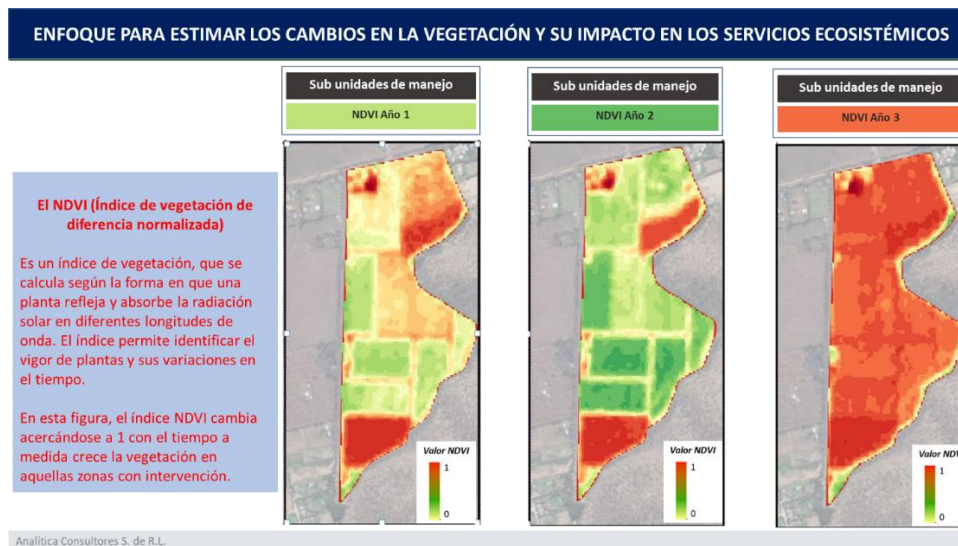


FIGURA 1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN PARA ESTIMAR LOS CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN Y SU IMPACTO EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Se espera, que los valores de NDVI aumenten con el tiempo en aquellas áreas intervenidas por el proyecto,

especialmente en aquellas actividades como ser la protección y restauración de bosques; ya que las intervenciones están relacionadas en su mayoría en aumentar o mantener la vegetación en las zonas intervenidas. Basado en lo anterior, es el NDVI una de las principales métricas o Factores de Cambio (FC) que se utilizan para medir el cambio en la vegetación, por lo tanto, en la variación o aumento de los servicios ecosistémicos de las subunidades de manejo intervenidas por el Proyecto. En la *FIGURA 2*, se muestra un ejemplo de un enfoque para estimar el impacto de un servicio ecosistémico como ser la infiltración hídrica. El método emplea como línea base los valores de infiltración del tiempo 1 (2019 por ejemplo) denominados Infiltración t1, estos datos provienen de la Guía Metodológica para la Implementación de Línea Base de Servicios Ecosistémicos del Fondo de Desarrollo Verde de la Región del SICA.

Para estimar el cambio en la infiltración entre el tiempo 1 y el tiempo 2, se propone utilizar las imágenes Planet de 5 m del tiempo 1 (por ejemplo 2019) y tiempo 2 (por ejemplo 2022); a partir de estas imágenes Planet se derivará el NDVI para t1 y t2. Se propone el uso de imágenes Planet de 5 m con el objetivo de homologar su uso para todos los proyectos, ya que el índice de NDVI es un indicador muy sensible al cambio principalmente por condiciones ambientales; por tal razón, se busca tener una consistencia metodológica en la comparación de ambos índices y esta consistencia se obtiene utilizando el mismo sensor, la misma resolución espacial y espectral, así como la temporalidad de la construcción del mosaico de imágenes Planet.

Una vez estimado el NDVI t1 y el NDVI t2 se estima la diferencia de NDVI Δt . Adicionalmente, se debe actualizar el mapa de cobertura y uso de la tierra del tiempo 1 (CUT t1); dicho mapa se actualizará para el t2 utilizando como insumo principal el NDVI t2; a partir de este proceso, se contará con un mapa de cobertura y uso de suelo t2 (CUT t2) para el año 2022.

Una vez cuantificado la diferencia de NDVI entre el t1 y t2 y el mapa CUT t2 se procede a la estimación del servicio ecosistémico en el t2 (2022). En la *FIGURA 2* se ejemplifica la infiltración; en ese sentido, la Infiltración t2 (2022) se obtiene utilizando de factores como el NDVI t2, el CUT t2 asociados con la infiltración t1 y divididos por el NDVI t1. Finalmente, el impacto en la infiltración (Infiltración Δt) se obtiene calculando la diferencia entre la infiltración t2 menos la Infiltración t1.

Adicionalmente, para la estimación de impactos con un enfoque geoespacial; se estima el impacto en los servicios ecosistémicos con base a una revisión bibliográfica, especialmente para aquellas actividades relacionadas con sistemas agrosilvopastoriles donde la cobertura de dosel (vegetación) en las subunidades de manejo es mínima (barreras vivas por ejemplo); en este sentido, contar con información de las medidas y las prácticas en los polígonos de las subunidades de manejo es un elemento clave a considerar.

En la *FIGURA 3* se muestra un esquema gráfico acerca de la metodología utilizada para estimar el impacto en los servicios ecosistémicos debido a las prácticas de restauración de paisaje; este método mediante el cual se usan sensores remotos se aplica para aquellas prácticas de intervención relacionada con aspectos de protección, manejo y restauración de bosques así como aquellas prácticas relacionadas con intervenciones sobre cobertura arbórea o leñosa (sistemas agroforestales por ejemplo); es en este tipo de coberturas y uso del suelo donde el NDVI se utiliza como factor de cambio para estimar el impacto de los servicios ecosistémicos relacionados con el carbono forestal, la conectividad biológica, la erosión del suelo y la infiltración.

ENFOQUE PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO

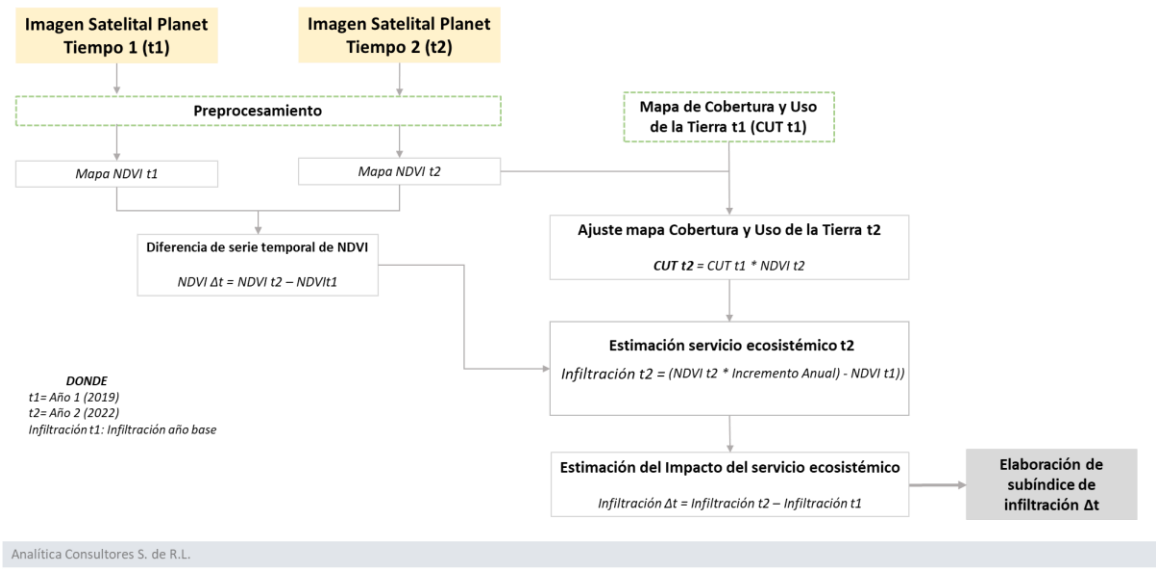


FIGURA 2. ENFOQUE PARA ESTIMAR EL IMPACTO DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO (EJEMPLO: INFILTRACIÓN)

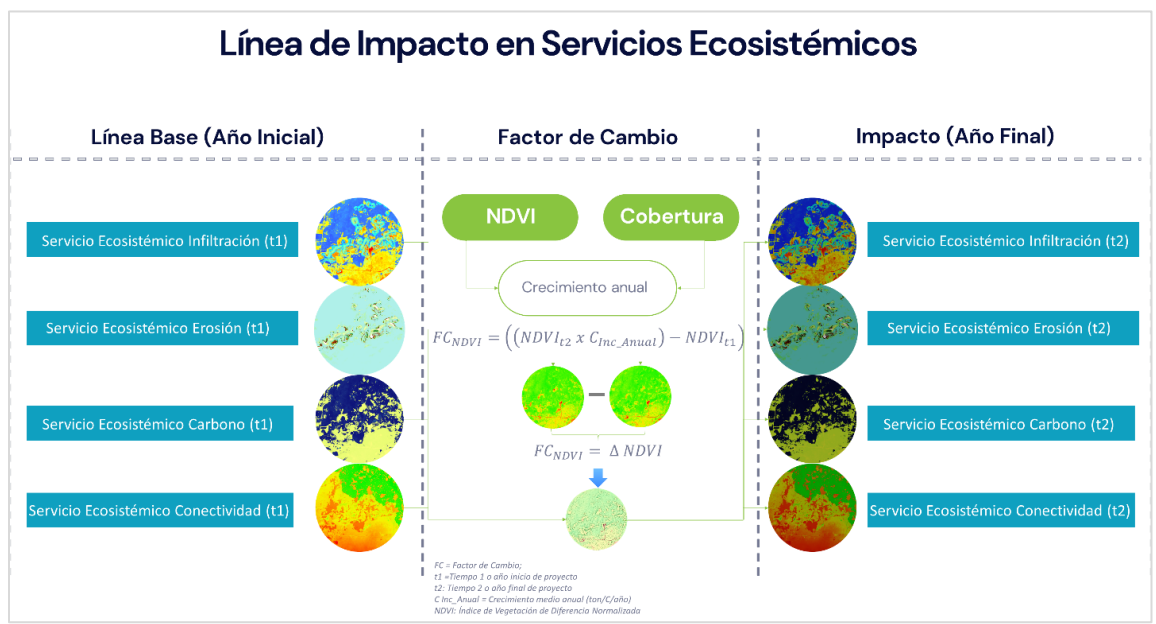


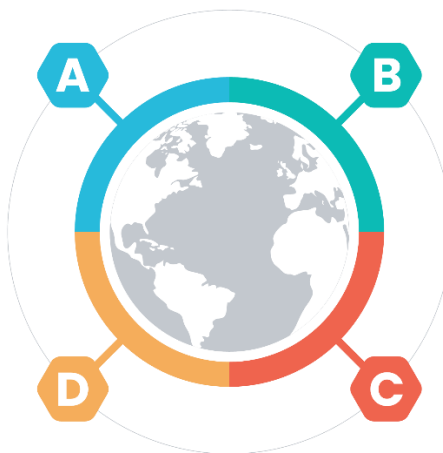
FIGURA 3. ENFOQUE PARA ESTIMAR EL IMPACTO DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO

3.1.2. SISTEMATIZACIÓN DE DATOS BASES

La sistematización de datos bases geospaciales implica la organización, el manejo, la recopilación, el procesamiento y la presentación de datos geospaciales de una manera coherente y eficiente (FIGURA 4).

Recopilación de datos

Esto podría implicar la recopilación de datos de diversas fuentes, como imágenes de satélite,



Procesamiento de datos

Esto implica limpiar y transformar los datos recopilados en un formato que pueda ser fácilmente utilizado para el análisis y la visualización. Esto puede implicar eliminar datos incorrectos o irrelevantes, llenar los vacíos en los datos y convertir los datos a un formato estándar.

Gestión de datos:

Esto implica almacenar y gestionar los datos de una manera que facilite su recuperación y uso futuro. Esto puede implicar el uso de sistemas de bases de datos geoespaciales, que están diseñados específicamente para manejar este tipo de datos.

Análisis de datos

Esto implica el uso de técnicas estadísticas y geográficas para entender los patrones y las tendencias en los datos. Esto implica la creación de mapas temáticos, la realización de análisis de clusters o la modelización espacial.

FIGURA 4. ENFOQUE DE SISTEMATIZACIÓN DE DATOS

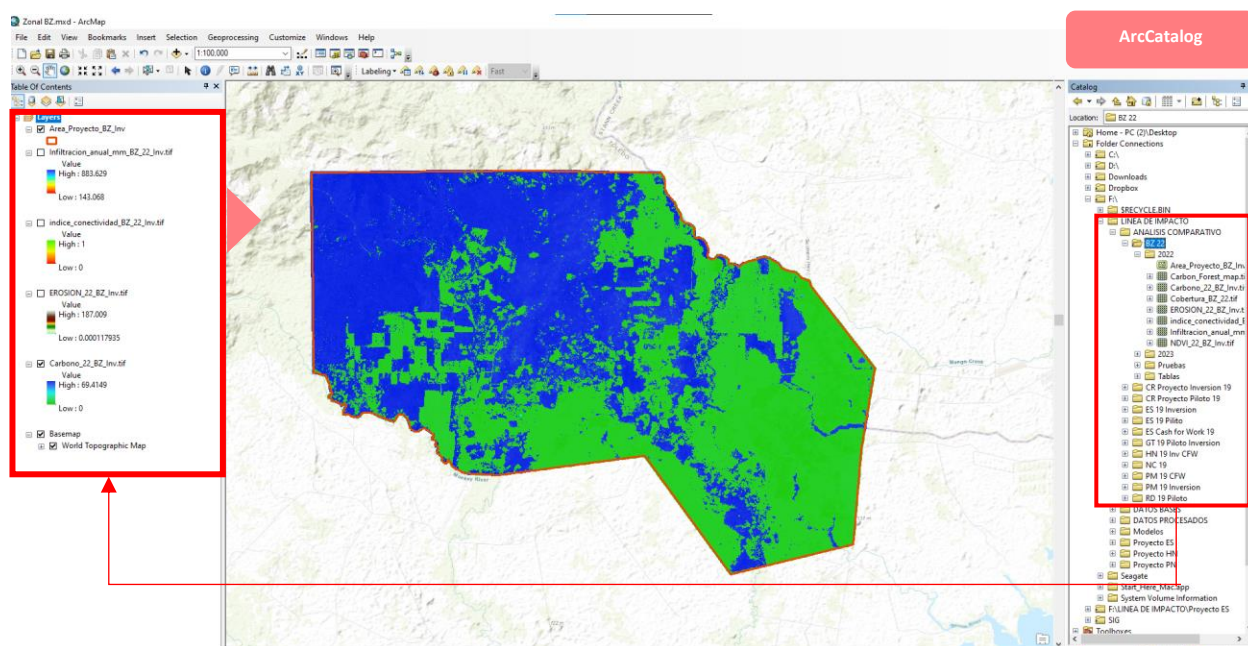


FIGURA 5. GESTIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1.3. DESCARGA DE DATOS

3.1.3.1. Cómo acceder a Google Earth Engine

Lo primero que hay que hacer para poder utilizar la API de JavaScript de GEE es ingresar a su sitio web para registrarse como usuario, por medio de la siguiente liga:

<https://earthengine.google.com/>

Después, damos clic en la esquina superior derecha donde dice Sign Up (FIGURA 6)

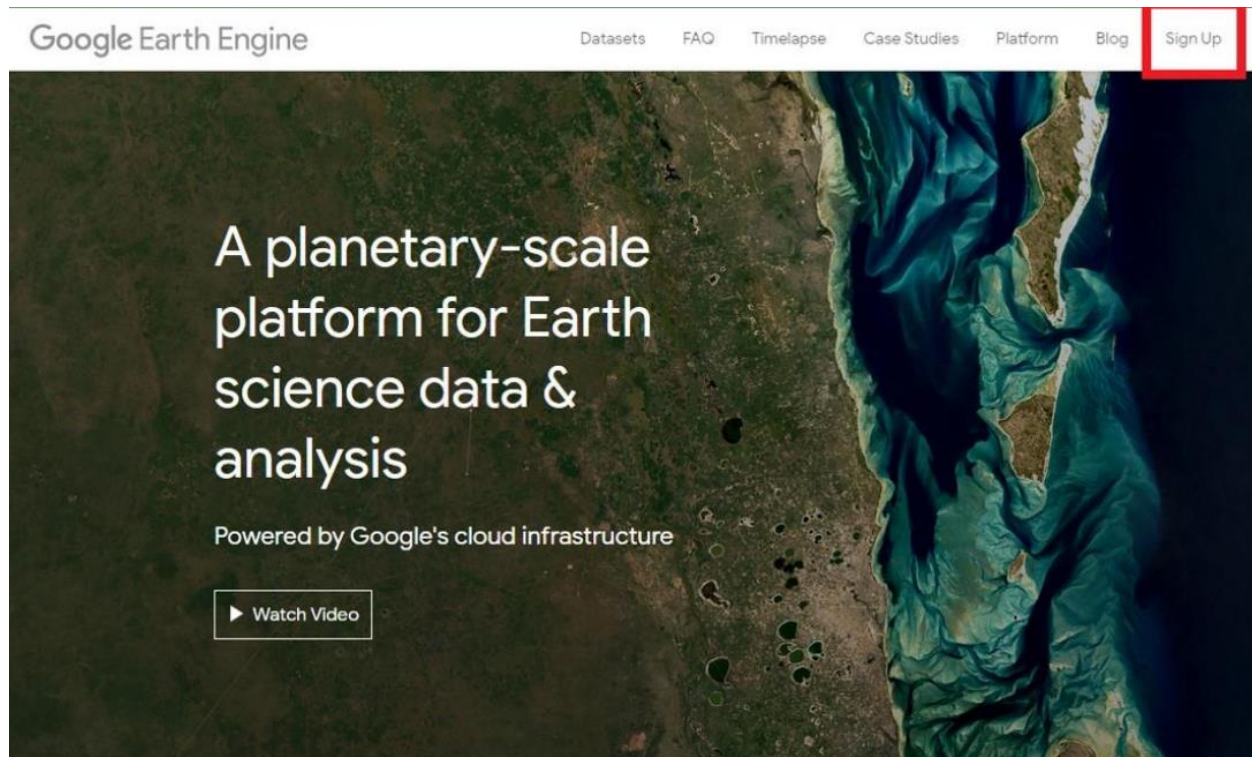


FIGURA 6. PANTALLA DE INICIO EN LA PÁGINA DE REGISTRO DE GEE

Luego se ingresan todos los datos que pide el formulario. Recuerde que para utilizar GEE se requiere de una cuenta de Google (FIGURA 7).

Nota: Se recomienda usar una cuenta de Google que tenga suficiente espacio disponible en Google Drive, ya que será la forma más fácil de exportar los resultados generados en GEE.

To facilitate the evaluation process, we suggest that you sign up with an email associated with your organization. Tip: You don't need a Gmail account to create a Google Account. You can [use your non-Gmail email address to create one instead](#).

Email **Usar un correo de gmail**
Want to use a different account? [Log out](#) or use an Incognito tab.

Full name * **Nombre del usuario**
Please tell us your first and last name.

Affiliation/Institution * **Institución** Institution type * **Tipo de institución** ▼
Which organization are you a part of? Give a homepage URL if possible. Select the best description for your institution, or choose Other and clarify.

Country/Region * **United States** **Seleccionar el país del usuario** ▼
Please tell us where you live.

Explicar brevemente para qué se desea utilizar GEE. De esto depende que se autorice una licencia gratuita
What would you like to accomplish with Earth Engine? *
Please describe in a few sentences how you intend to use Earth Engine.

Earth Engine may only be used for development, research, or educational purposes. It may not be used for sustained commercial purposes, but may be evaluated in a production environment.

I agree that my use of the Earth Engine services and related APIs is subject to my compliance with the applicable [Terms of Service](#). In particular, I acknowledge that creating multiple Earth Engine accounts to circumvent quota restrictions is a violation of the Terms of Service.

I am interested in commercial use of Earth Engine.

No soy un robot  **Aceptar términos y condiciones, y enviar**

SUBMIT

FIGURA 7. FORMULARIO DE DATOS A LLENAR PARA REGISTRARSE EN GEE

Una vez realizado el registro, hay que esperar un tiempo (pueden ser desde minutos a días) hasta que llegue una confirmación por parte de GEE a nuestro correo informando que ya se puede hacer uso de la API (FIGURA 8).

Welcome to Earth Engine!



Greetings, Earth Engine Developer, and welcome! You now have access to:

- The [Earth Engine Code Editor](#) - the primary Earth Engine development environment.
- The [Earth Engine API](#) - including our [Python library](#).
- The [Earth Engine Explorer](#) - a graphical user interface. No programming skills needed.

To get started with Earth Engine, we suggest you:

- Read our [Frequently Asked Questions](#).
- Check out our [Get Started](#) guide, [tutorials](#), and complete [documentation](#).
- Visit the Earth Engine [developers list](#).

It's great to have you on board. We look forward to seeing what you can do with Earth Engine!

FIGURA 8. EJEMPLO DEL CORREO DE CONFIRMACIÓN POR PARTE DE GEE PARA PODER UTILIZAR LA API

Nota: Una vez que tengamos dicha confirmación, podemos acceder a la API a través del siguiente enlace: <https://code.earthengine.google.com/> y se accede con la cuenta de Google con la que nos registramos.

3.1.3.2. Interfaz a Google Earth Engine

El Editor de código es un IDE basado en web para escribir y ejecutar scripts.

Es un Ambiente de Desarrollo Integrado (IDE) basada en la web que nos ayuda a desarrollar de una manera amigable scripts o aplicaciones mediante el motor JavaScript. El Editor de código está diseñado para que los flujos de trabajo geoespaciales en desarrollo complejos sean más rápidos y fáciles. El Editor de código de GEE contiene un conjunto de elementos que pueden ser utilizados para facilitar el flujo de trabajo. Este editor de código es muy amigable y fácil de utilizar sin necesidad de ser un programador (FIGURA 9).

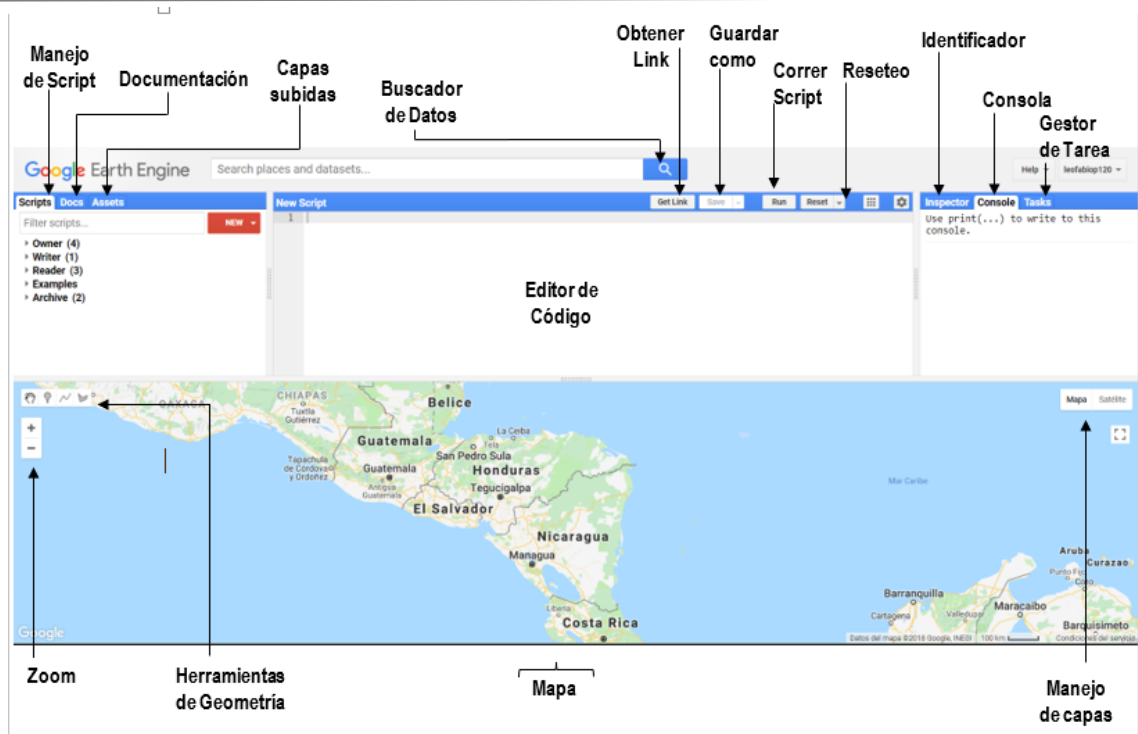


FIGURA 9. DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL EDITOR DE CÓDIGO DE GEE

3.1.3.3. Mapas base de NICFI en Google Earth Engine

Para acceder a los mapas base de NICFI en GEE: [Mapas base de NICFI en Google Earth Engine \(planet.com\)](http://planet.com)

- ❖ Regístrese y acepte los términos en el [Programa de Datos Satelitales de NICFI](#).
- ❖ Cuando haya creado e iniciado sesión en una cuenta de NICFI Planet, acceda a Basemaps en GEE navegando a Configuración [de la cuenta](#).
- ❖ En la sección Acceder a datos de NICFI en Google Earth Engine, haz clic en Añadir a Earth Engine.
- ❖ En el cuadro de diálogo EE Image Collection, introduzca el correo electrónico asociado a su cuenta GEE.

Nota: El correo electrónico asociado a su cuenta GEE puede diferir del correo electrónico empleado para su cuenta de Planet.

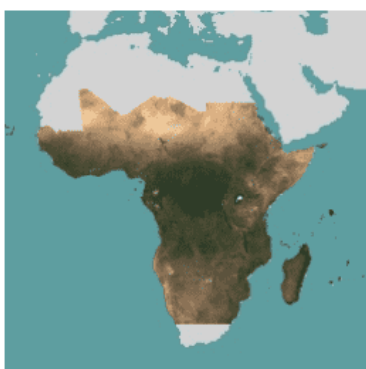
Las tres colecciones de imágenes de EE son:

- África tropical
- Tropical Asia
- América tropical

Datasets tagged nicfi in Earth Engine 🔖

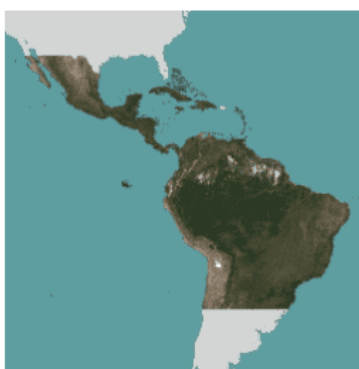
Filter list of datasets

Planet & NICFI Basemaps for Tropical Forest Monitoring - Tropical Africa



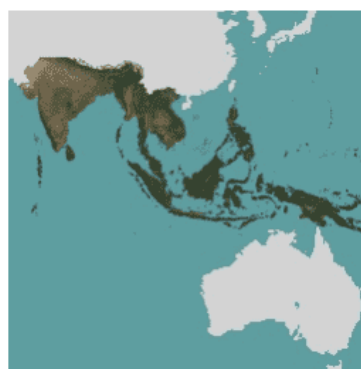
This image collection provides access to high-resolution satellite monitoring of the tropics for the primary purpose of reducing and reversing the loss of tropical forests, contributing to combating climate change, conserving biodiversity, contributing to forest regrowth, restoration and enhancement, and facilitating sustainable development, all of ...

Planet & NICFI Basemaps for Tropical Forest Monitoring - Tropical Americas



This image collection provides access to high-resolution satellite monitoring of the tropics for the primary purpose of reducing and reversing the loss of tropical forests, contributing to combating climate change, conserving biodiversity, contributing to forest regrowth, restoration and enhancement, and facilitating sustainable development, all of ...

Planet & NICFI Basemaps for Tropical Forest Monitoring - Tropical Asia



This image collection provides access to high-resolution satellite monitoring of the tropics for the primary purpose of reducing and reversing the loss of tropical forests, contributing to combating climate change, conserving biodiversity, contributing to forest regrowth, restoration and enhancement, and facilitating sustainable development, all of ...

FIGURA 10. COLECCIONES DE IMÁGENES PLANET EN EE

Nota: Cada usuario solo puede registrar un correo electrónico en el programa NICFI. Si edita su cuenta (correo electrónico, colecciones, etc.), es posible que se revoque el acceso GEE del correo electrónico registrado anteriormente.

Comience con los mapas [base de NICFI en GEE](#).

3.1.3.4. Código de descarga de imágenes Planet y NDVI

A continuación, se explica cómo descargar una imagen Planet y su respectivo NDVI desde la plataforma de GEE. El siguiente código contiene los siguientes pasos:

- ❖ **Definición de parámetros:** Se define una lista de los países (en este caso, solo "El Salvador") que se utilizarán para filtrar el conjunto de datos.

- ❖ **Filtrado de datos:** Utiliza una colección de datos de Google Earth Engine que contiene información de países (ID_Pais). Filtra esta colección por el país definido en el paso anterior y combina todas las geometrías resultantes en una sola, que se utilizará como el área de estudio.
- ❖ **Recopilación de datos de imágenes:** Selecciona una colección de imágenes de Planet NICFI, que es un proyecto de Google Earth Engine que proporciona imágenes de satélite.
- ❖ **Filtrado y procesamiento de las imágenes:** Filtra las imágenes de dos períodos de tiempo diferentes (diciembre 2018 a diciembre 2019 y enero 2022 a febrero 2022 y de septiembre a diciembre 2022). Luego, toma la mediana de las imágenes (que es una forma de reducir el ruido y los valores atípicos en las imágenes) y recorta las imágenes al área de estudio definida anteriormente.
- ❖ **Cálculo del NDVI:** Calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), que es un indicador común de la cantidad y salud de la vegetación.
- ❖ **Visualización:** Define parámetros de visualización para las imágenes y el NDVI y añade las imágenes y los NDVI calculados al mapa.
- ❖ **Exportación de imágenes:** Finalmente, exporta las imágenes de satélite y las imágenes NDVI a Google Drive para su uso posterior.

Nota: para hacer uso del ejemplo descrito en el cuadro, copie y pegue dicho código en el gestor de código de GEE. Luego dar clic en run.

```
// Parámetros
// Definir los sectores para los que se quiere obtener información
// Actualmente, solo se ha seleccionado 'El Salvador', pero se pueden agregar más.
var Sector = ['El Salvador'];

// Filtrar la colección de características basándose en los países seleccionados y disolver las geometrías en una sola
var ID_Pais = ee.FeatureCollection('projects/ee-leofabiop120/assets/Linea_Impacto/ID_Pais')
.filter(ee.Filter.inList('PAIS', Sector))
.geometry()
.dissolve();

var studyarea = ID_Pais;

// COLECCIÓN DE DATOS A DESCARGAR
// Seleccionar la colección de imágenes 'Américas' del proyecto 'planet-nicfi'
var nicfi = ee.ImageCollection('projects/planet-nicfi/assets/basemaps/americas');
```

```
// Filtrar las imágenes por fecha y área de estudio, luego obtener la mediana y recortar por el área de estudio
```

```
// Para el año 2019
```

```
var Planett1= nicfi.filter(ee.Filter.date('2018-12-01','2019-12-30'))  
    .filterBounds(studyarea)  
    .median()  
    .clip(studyarea);
```

```
// Para el año 2022
```

```
var Planett2= nicfi.filter(  
    ee.Filter.or(  
    ee.Filter.date('2022-01-01', '2022-02-28'),  
    ee.Filter.date('2022-09-15', '2022-12-30')))  
    .filterBounds(studyarea)  
    .median()  
    .clip(studyarea);
```

```
// Calcular el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para cada año
```

```
var NDVI_t1 = Planett1.normalizedDifference(['N','R']).rename('NDVI');
```

```
var NDVI_t2 = Planett2.normalizedDifference(['N','R']).rename('NDVI');
```

```
// Definir los parámetros de visualización para las imágenes y el NDVI
```

```
var vis = {"bands":["R","G","B"],"min":64,"max":5454,"gamma":1.8};
```

```
var vis_NDVI = {min:-0.55,max:0.8,palette: ['8bc4f9', 'c9995c', 'c7d270','8add60','097210']};
```

```
// Añadir las capas al mapa
```

```
Map.addLayer(Planett1, vis, '2019 mosaic');
```

```
Map.addLayer(Planett2, vis, '2022 mosaic');
```

```
Map.addLayer(NDVI_t1,vis_NDVI, 'NDVI t1', false);
```

```
Map.addLayer(NDVI_t2,vis_NDVI, 'NDVI t2', false);
```

```
Map.addLayer(studyarea,{},"Project Area");
```

```
// Obtener la escala de la primera imagen de la colección (en metros)
```

```
var scale = nicfi.first().projection().nominalScale();
```

```
// Exportar las imágenes y los NDVI a Google Drive
```

```
Export.image.toDrive({image:Planet1,      description:    'Mosaic_2019',    region:studyarea.bounds(),  
scale:scale.getInfo(), maxPixels: 1e13, crs: 'EPSG:4326'});
```

```
Export.image.toDrive({image:Planet2,      description:    'Mosaic_2022',    region:studyarea.bounds(),  
scale:scale.getInfo(), maxPixels: 1e13, cr
```

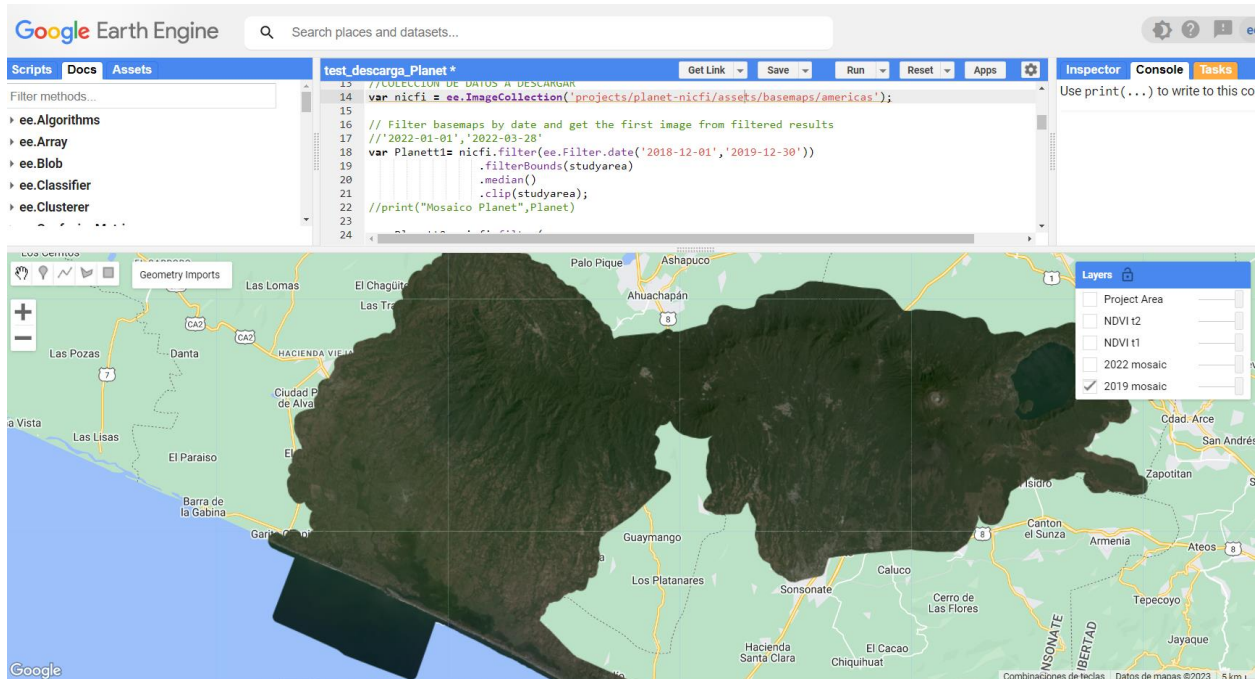


FIGURA 11. VISUALIZACIÓN DE IMAGEN PLANET

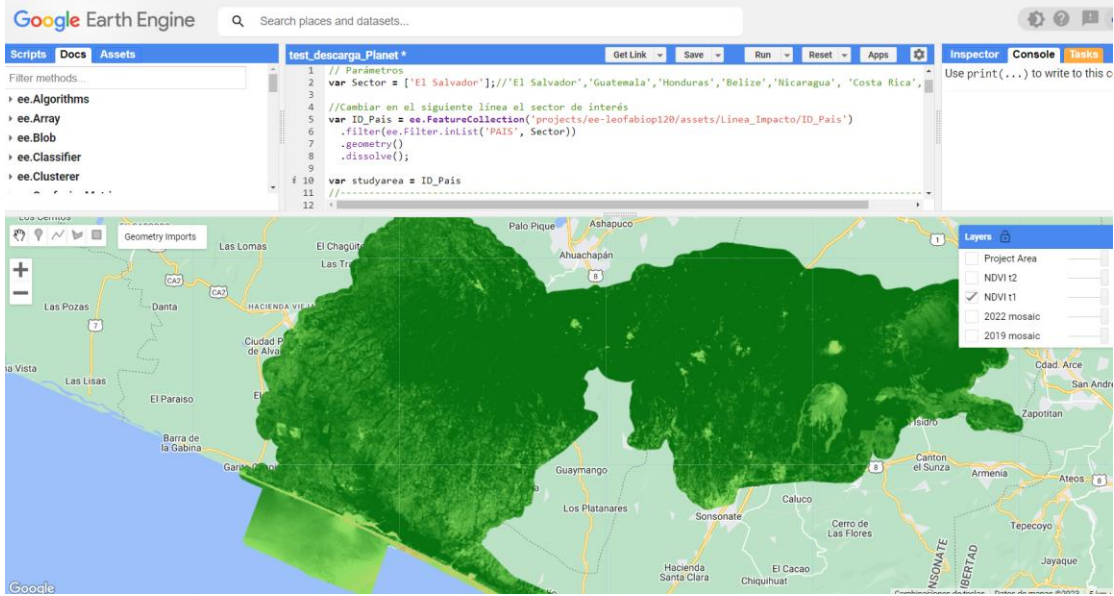


FIGURA 12. VISUALIZACIÓN DE NDVI

3.1.3.5. Descarga de imágenes Planet y NDVI

Para descargar los datos desde la plataforma de GEE, se debe desplegar la pestaña Tasks en la parte superior derecha y luego dar clic en RUN en las capas de interés. Posterior se desplegará una nueva ventana indicando los parámetros de descarga. Dentro de la nueva ventana, para descargar solo es necesario dar clic en RUN en la parte inferior derecha. Luego, se iniciará el proceso de descarga de datos y estos se almacenarán en la nube de Google Drive.

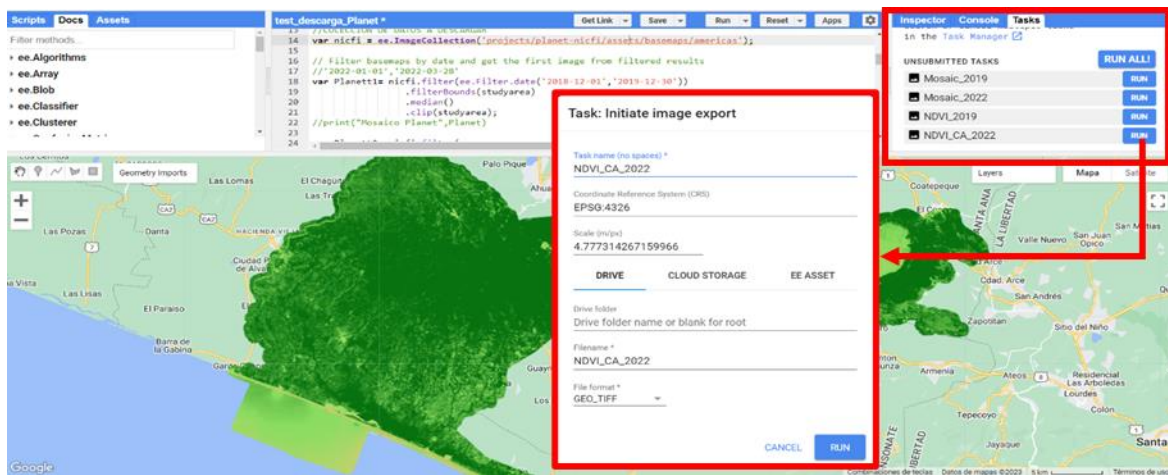


FIGURA 13. VISUALIZACIÓN DE PROCESO DE DESCARGA DE DATOS (IMAGEN PLANET Y NDVI)

Tomar en cuenta que, para el propósito de análisis de Línea de Impacto de los servicios ecosistémicos, únicamente es necesario descargar el NDVI del periodo final.

Nota: Es importante considerar la estacionalidad del NDVI a descargar, esta debe responder a las fechas de análisis de la Línea Base. Esto con el propósito de realizar un análisis comparativo de manera consistente y homogéneos.

Nota: Durante la descarga, procurar no mover el visor de mapa, con el objetivo de no generar conflicto en los archivos temporales que define el cache de GEE.

3.1.4. PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS

El preprocesamiento es crucial para garantizar la calidad y precisión de los resultados obtenidos. Se utiliza un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para procesar y estandarizar los datos provenientes de diversas fuentes.

Este proceso de preprocesamiento no solo prepara los datos para el análisis subsecuente, sino que también permite identificar y comprender mejor las características y patrones subyacentes en los datos, facilitando así la identificación de las líneas de impacto para cada servicio ecosistémico.

3.1.4.1. Definición de crecimientos anuales según IPCC

Con el propósito de evaluar el carbono asociada a los bosques, es imprescindible considerar los informes de crecimiento anual definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Estos informes ofrecen una visión sistemática y objetiva del estado actual de los conocimientos sobre el cambio climático. En particular, los factores de crecimiento de carbono son un indicador valioso de la capacidad de los ecosistemas para absorber CO₂ y funcionar como sumideros de carbono.

Para cada país de Centroamérica y RD, se consulta la información relevante presentada ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Los Niveles de Referencia de Emisiones de Carbono por Deforestación son reportados de manera periódica y proporcionan una base sólida para entender la contribución de cada país a las emisiones globales de gases de efecto invernadero, específicamente aquellas asociadas con los bosques.

En el siguiente apartado, citaremos y discutiremos los factores de crecimiento de carbono extraídos de estos documentos, para ilustrar las variaciones en el potencial de secuestro de carbono entre los distintos países y ecosistemas de la región, y cómo estos se han visto afectados por la deforestación. Esta información será fundamental para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático en Centroamérica.

PAÍS	Crecimiento medio (tC/Ha/año)	Carbono Bosque (tC/ha) (30 años)	Incremento 1 año (%)	Incremento 2 años	Incremento 2.5 años	Incremento 3 años	Incremento 3.5 años
Costa Rica	2.375	61	3.92%	7.8%	9.8%	11.8%	13.7%
Guatemala	2.375	102	2.33%	4.7%	5.8%	7.0%	8.1%
El Salvador Latifoliado	2.375	54	4.40%	8.8%	11.0%	13.2%	15.4%
El Salvador Mangle	2.375	39	6.09%	12.2%	15.2%	18.3%	21.3%
Honduras Latifoliado	2.375	73.5	3.23%	6.5%	8.1%	9.7%	11.3%
Honduras Pino	2.375	45.4	5.23%	10.5%	13.1%	15.7%	18.3%
Nicaragua SAF Café	2.375	22.18	10.71%	21.4%	26.8%	32.1%	37.5%
Nicaragua SAF Cacao	2.375	22.18	10.71%	21.4%	26.8%	32.1%	37.5%
Nicaragua Latifoliado	2.375	47.36	5.01%	10.0%	12.5%	15.0%	17.6%
Panamá Latifoliado	2.375	124.53	1.91%	3.8%	4.8%	5.7%	6.7%
Dominicana Latifoliado	2.375	60.7	3.91%	7.8%	9.8%	11.7%	13.7%
Belice	2.375	75	3.17%	6.3%	7.9%	9.5%	11.1%

TABLA 1. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL EN ÁREAS BOSCOSAS

País	Carbono No Bosque	Fuente	Descripción
Costa Rica	7.77	https://redd.unfccc.int/files/frel_costa_rica_modified.pdf	Tabla 8
Guatemala	8.75	https://redd.unfccc.int/files/niveles_referencia_emisiones_forestales_guatemala_070222.pdf	Tabla 21
El Salvador	8.75	https://redd.unfccc.int/files/niveles_referencia_emisiones_forestales_guatemala_070222.pdf	Tabla 21
Honduras	8.42	https://redd.unfccc.int/files/nref_nrf_hn2023_vf.pdf	Tabla 33

Nicaragua	9.47	https://redd.unfccc.int/files/nref_nicaragua_vf_limpio_14072020.pdf	Cuadro 6
Panamá	16.22	https://redd.unfccc.int/files/2022_frl_panama.pdf	Cuadro 14
República Dominicana	8.74	https://redd.unfccc.int/files/dr_nivel_de_referencia_forestal_v-modificada_junio_22.pdf	Tabla 21
Belice	8	belize_frl_report_modification_2001-2015_2020_august_3rd.pdf (unfccc.int)	

TABLA 2. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL EN ÁREA NO BOSCOSAS (OTRAS TIERRAS)

3.1.4.2. Proceso de ajuste de NDVI

El proceso de ajuste de NDVI consiste en normalizar los datos que posterior se utilizaran para realizar las modelaciones de línea de impacto de los servicios ecosistémicos.

El proceso de ajuste consiste en los siguientes pasos:

- ❖ **Definición de variables locales:** Se definen las rutas de los archivos ráster de entrada como: NDVI_19, NDVI_22 y la capa de área de estudio.
- ❖ **Definición de condiciones de valores mínimos:** para ambos NDVI, se aplica una condicional que permita llevar todos los valores negativos a valores mínimo de 0.01. Esto con el objetivo de homogenizar en ambas capas de NDVI los valores mínimos. Estos procesos utilizan la herramienta Con (Condicional), que se encarga de asignar nuevos valores a los píxeles de un ráster basándose en una condición. En este caso, la condición es "VALUE < 0". Si un píxel del ráster de entrada cumple esta condición, se le asigna el valor de "Input_true_raster_or_constant_value__2_" o "Input_true_raster_or_constant_value", respectivamente. Si no cumple la condición, mantiene su valor original.

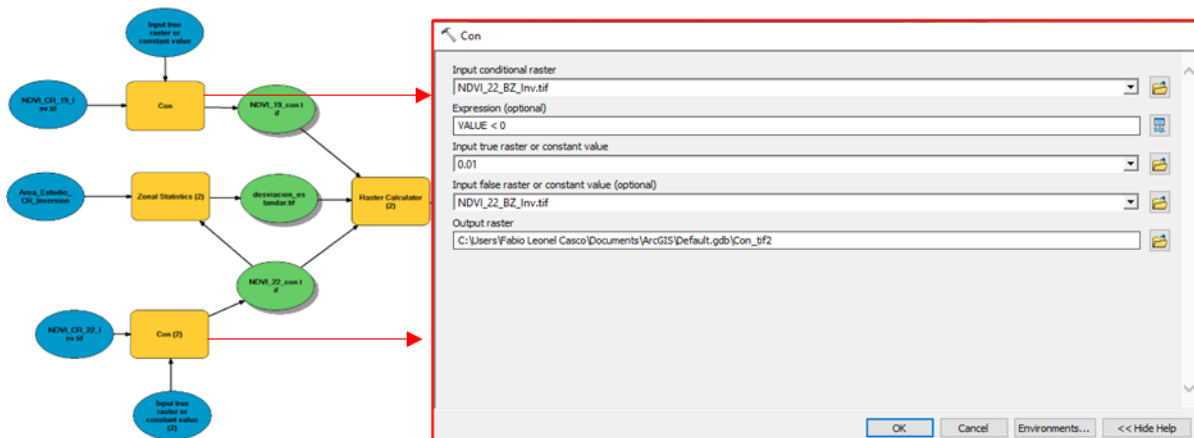


FIGURA 14. PROCESO DE AJUSTE DE VARIABLES DE ENTRADA

Proceso: Zonal Statistics (2): Esta operación emplea la herramienta ZonalStatistics, que calcula estadísticas de los valores de un raster (en este caso, el especificado por "NDVI_22_con.tif") dentro de zonas definidas por otro raster o una capa de entidades (en este caso, "Area_Estudio"). La estadística calculada es la desviación estándar ("STD"), que es una medida de la variabilidad o dispersión de los valores en el raster.

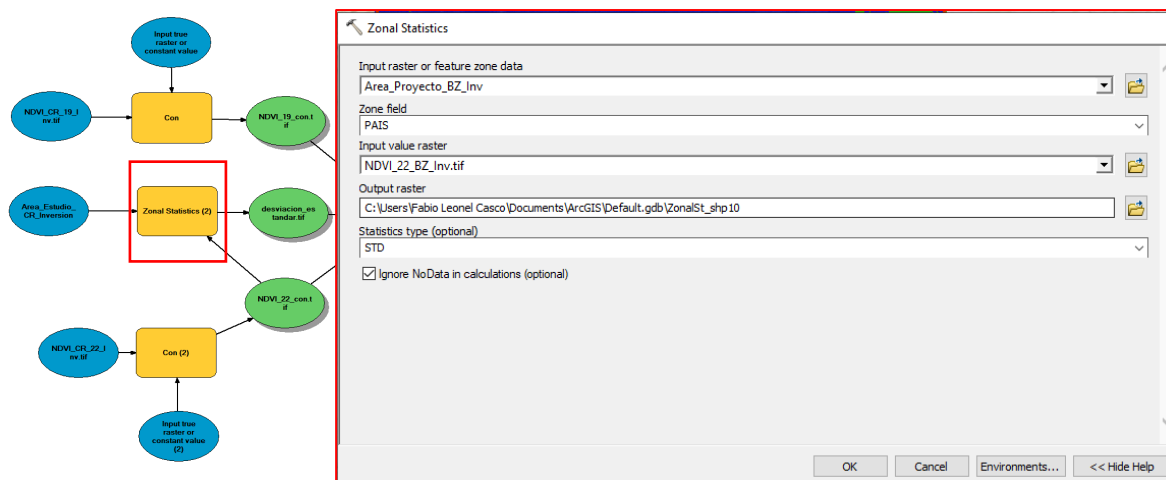


FIGURA 15. CÁLCULO DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Proceso: Raster Calculator (2): Se usa la herramienta RasterCalculator para realizar cálculos a nivel de píxel entre varios rasters. En este caso, se están realizando una serie de operaciones condicionales y multiplicaciones en los rasters "NDVI_22_con.tif" y "NDVI_19_con.tif", y la "desviacion_estandar.tif". El resultado de estos cálculos se guarda como "NDVI_22_ajustado.tif".

La operación matemática aplicada es:

```
Con(("NDVI_22_con.tif" - "NDVI_19_con.tif") > (0), "NDVI_22_con.tif" * 1.098,
Con(("NDVI_22_con.tif" - "NDVI_19_con.tif") < ("desviacion_estandar.tif"),
"NDVI_22_con.tif" * 1.098, "NDVI_22_con.tif"))
```

Esto se explica de la siguiente manera:

- La primera evaluación condicional se establece para evaluar si la diferencia entre dos capas de NDVI, %NDVI_22_con.tif% y %NDVI_19_con.tif%, es mayor que cero. Si es así, se multiplica %NDVI_22_con.tif% por 1.098 (Tasa de crecimiento porcentual del bosque 9.8% para este ejemplo). En términos más simples, esto significa que si la diferencia entre las dos capas de NDVI es mayor que cero, entonces el valor en %NDVI_22_con.tif% se multiplica por 1.098 y se utiliza como el valor final.
- La segunda evaluación condicional se establece para evaluar si la diferencia entre las mismas

capas de NDVI

(%NDVI_22_con.tif% y %NDVI_19_con.tif%) es menor que la capa de desviación estándar (%desviacion_estandar.tif%). Si es así, se multiplica %NDVI_22_con.tif% por 1.098. En términos más simples, esto significa que si la diferencia entre las dos capas de NDVI es menor que la capa de desviación estándar, entonces el valor en %NDVI_22_con.tif% se multiplica por 1.098 y se utiliza como el valor final.

- Si ninguna de las condiciones anteriores se cumple, entonces el valor final es simplemente el valor en %NDVI_22_con.tif% sin ninguna modificación.
- En resumen, esta operación en el Raster Calculator se emplea para calcular un valor final basado en las diferencias entre las capas de NDVI y la desviación estándar. La operación tiene en cuenta diferentes condiciones y utiliza el valor en %NDVI_22_con.tif% como base para calcular el valor final.

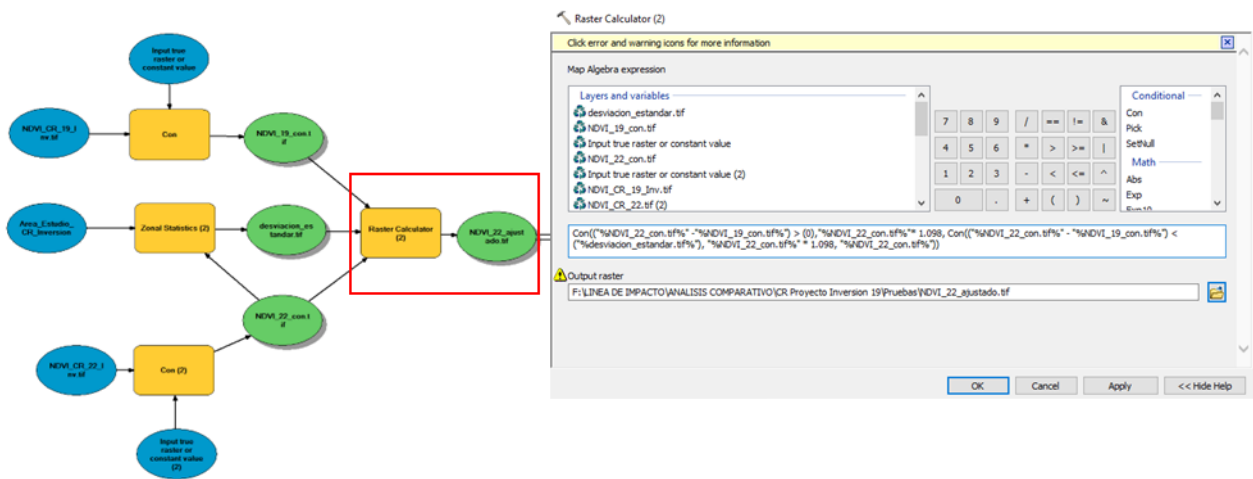


FIGURA 16. MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO DE NDVI

Nota: El objetivo principal de esta operación, es asignar los valores de tasa de crecimiento únicamente a los píxeles que cumplen una condición especial con base los resultados de la normalización de las capas de NDVI, la cual aplica el crecimiento a los píxeles mayores a 1 desviación estándar en función de una diferencia.

NORMALIZACIÓN

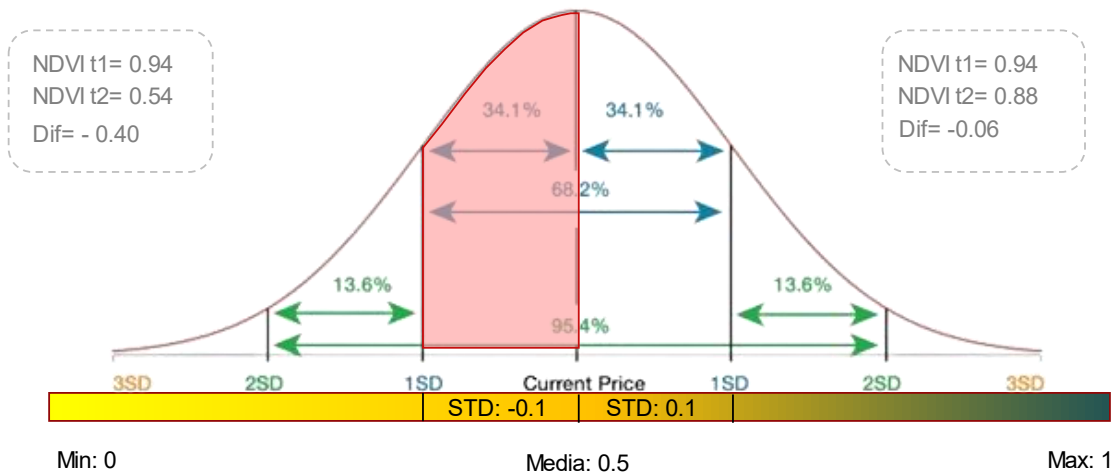


FIGURA 17. EJEMPLO DE PÍXELES MAYORES A 1 SDT

Proceso Con (3): Finalmente, se realiza otra operación condicional en el raster resultado de la calculadora raster. Si el valor de un píxel en el raster "NDVI_22_ajustado_tif" es mayor que 1, se le asigna el valor de 1. Si no, mantiene su valor original. El resultado se guarda como "NDVI_22_ajustado_v2.tif".

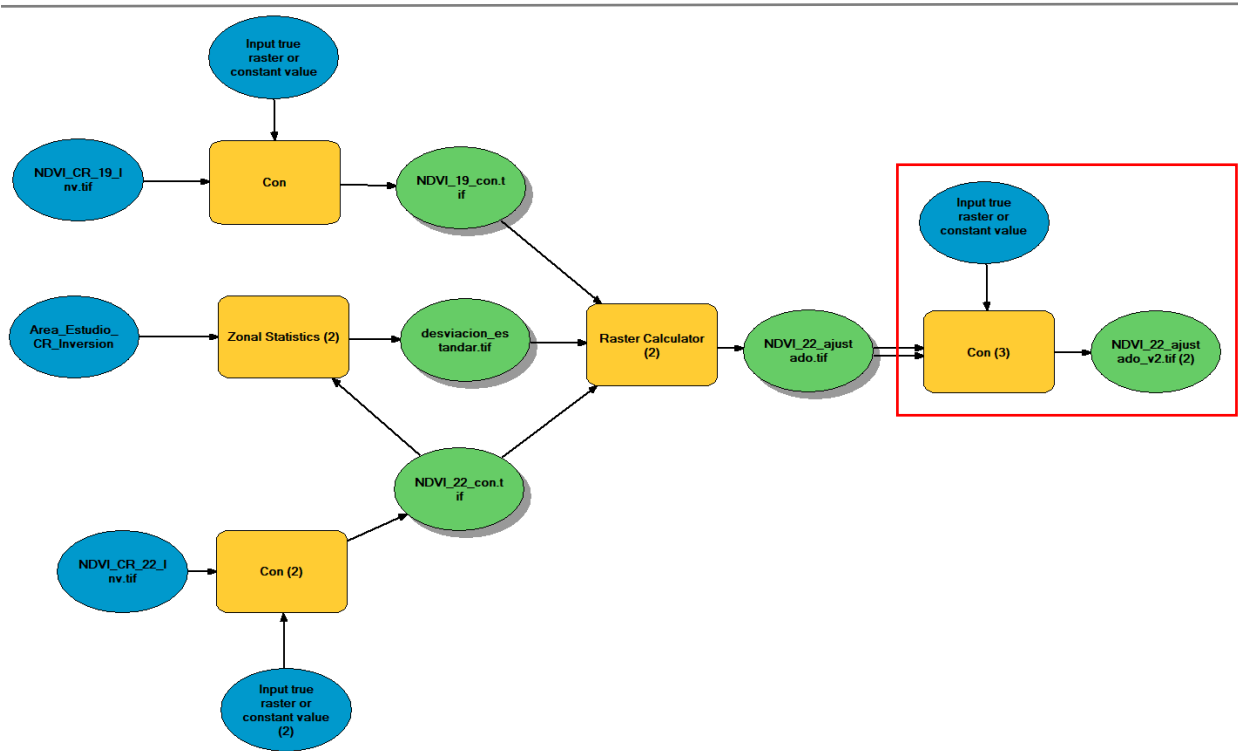


FIGURA 18. MODELO COMPLETO SOBRE AJUSTE DE CAPAS BASES (NDVI)

Nota: Este último proceso solo aplica cuando los valores exceden el valor de 1.

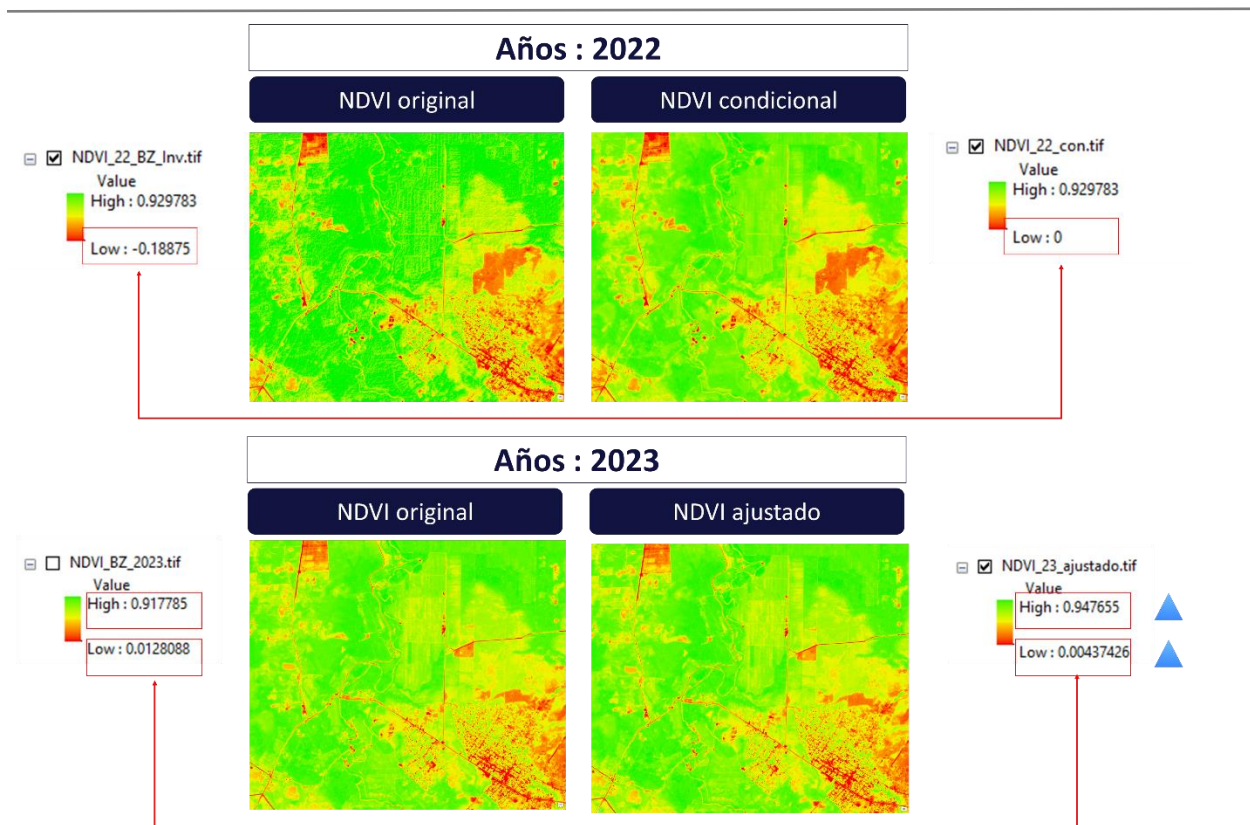


FIGURA 19. COMPARATIVO DE DATOS DE ENTRADA VS DATOS AJUSTADOS

3.1.5. MODELO DE CARBONO

Para estimar servicio ecosistémico de carbono en el año de impacto (año final), se aplica el criterio de proporcionalidad empleando 3 valores conocidos.

- ❖ Mapa de carbono de Línea Base
- ❖ NDVI de Línea Base ajustado
- ❖ NDVI del periodo final ajustado

3.1.5.1. Reclasificación de capa de carbono

La capa de carbono se debe reclasificar haciendo uso de la herramienta de Spatial Analyst Tools/Reclass. La capa de carbono de Línea Base contiene los datos de CarbonoxHa según el país. Al final el proceso, guardar la capa como Carbono_Reclass.tif.

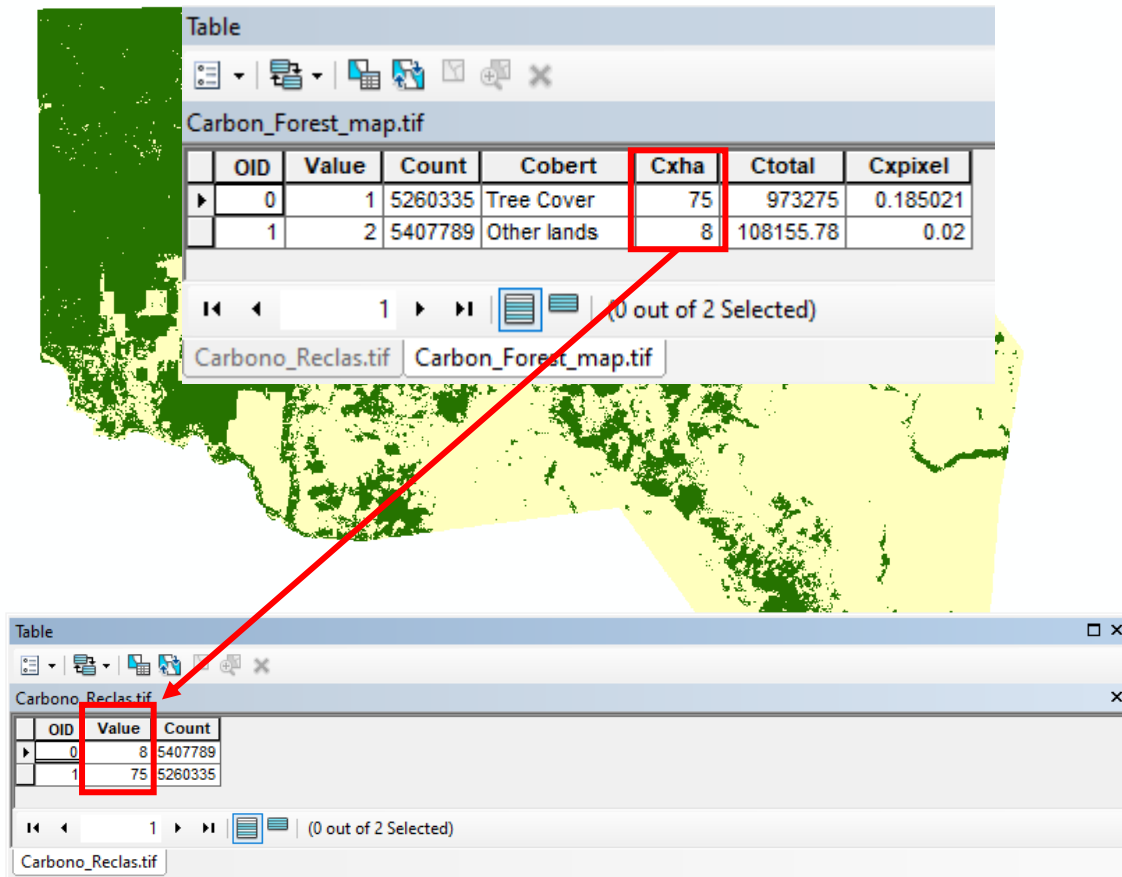


FIGURA 20. PROCESO DE RECLASIFICACIÓN DE MAPA DE CARBONO

3.1.5.2. Estimación de Carbono para ambos periodos

Luego de reclasificar la capa de carbono de Línea Base, se debe estimar el Carbono ajustado para el periodo de referencia y para el periodo final. A continuación, se describe la ecuación que explica el proceso de estimación ajustado.

$$Carbono_{t1} = Carbono_{Reclass} \times NDVI_{t1}$$

$$Carbono_{t2} = Carbono_{Reclass} \times NDVI_{t2}$$

Nota: Tomar en cuenta que el NDVI para el t1 y para el t2, debe corresponder a las capas ajustadas del proceso anterior (NDVI_19_con y NDVI_23_ajustado).

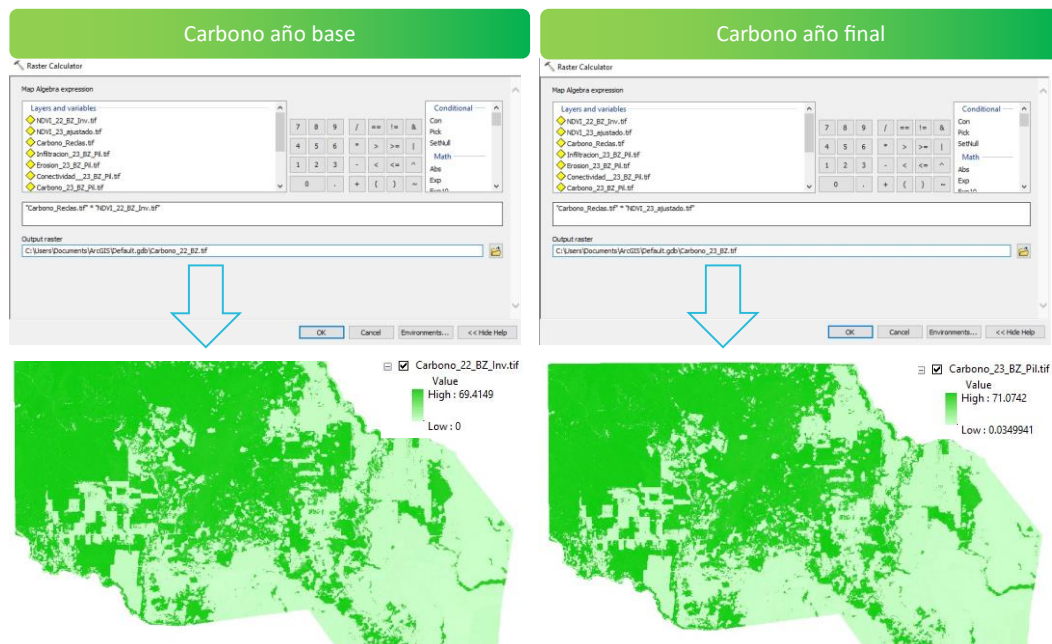


FIGURA 21. ESTIMACIÓN DE CARBONO AJUSTADO

3.1.6. MODELO DE EROSIÓN

Para estimar servicio ecosistémico de erosión en el año de impacto (año final), se aplica el criterio de proporcionalidad utilizando 3 valores conocidos:

- ❖ Mapa de erosión de Línea Base
- ❖ NDVI de Línea Base ajustado
- ❖ NDVI del periodo final ajustado

A continuación, se describe la ecuación aplicada para dicho proceso:

$$Erosión_{t2} = \left(\frac{NDVI_{t1} \times Erosión_{t1}}{NDVI_{t2}} \right)$$

Si los valores son mayores a 500, la ecuación se determina como:

$$Erosión_{t2} = \min \left(\left(\frac{NDVI_{t1} \times Erosión_{t1}}{NDVI_{t2}} \right), 500 \right)$$

Nota: En esta ecuación, primero se verifica si el valor calculado de Erosión_t2 excede el límite máximo de 500. Si es así, se establece el valor de Erosión_t2 en 500 utilizando la función de límite. Si Erosión_t2 es menor o igual a 500, entonces se utiliza la ecuación de la proporcionalidad inversa original para calcular el valor de Erosión_t2. Esta ecuación modificada asegura que el valor de Erosión_t2 no exceda el límite máximo de 500 y sigue siendo inversamente proporcional.

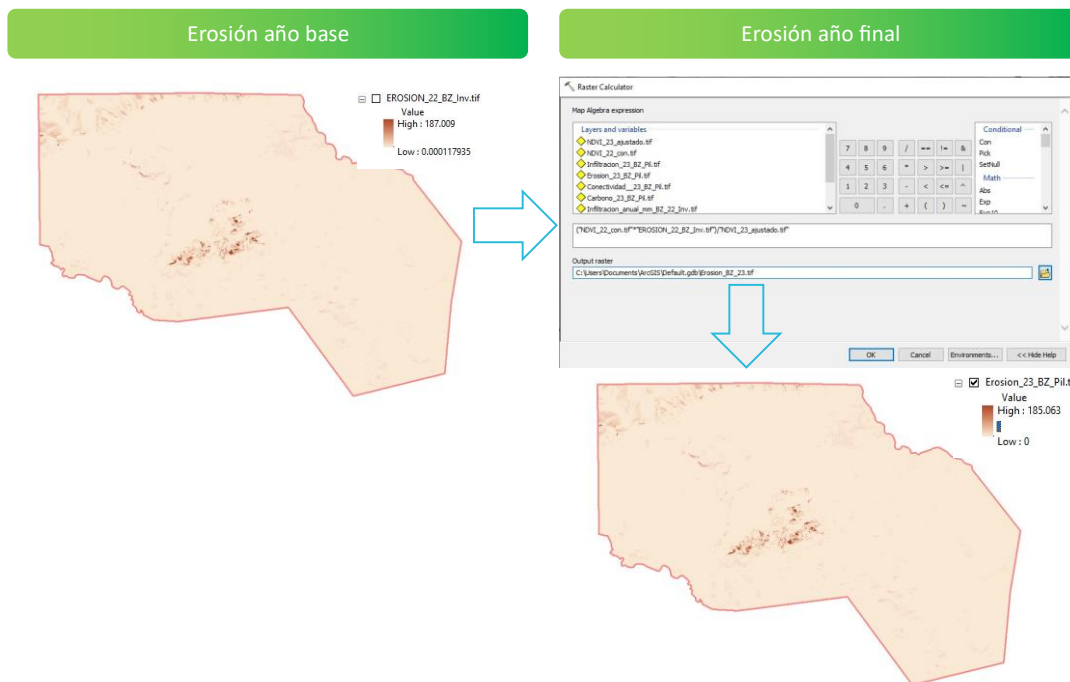


FIGURA 22. ESTIMACIÓN DE EROSIÓN AJUSTADA

3.1.7. MODELO DE INFILTRACIÓN

Para estimar servicio ecosistémico de infiltración en el año de impacto (año final), se aplica el criterio de proporcionalidad utilizando 3 valores conocidos:

- ❖ Mapa de infiltración de Línea Base
- ❖ NDVI de Línea Base ajustado
- ❖ NDVI del periodo final ajustado

A continuación, se describe la ecuación aplicada para dicho proceso:

$$Infiltración_{t2} = \left(\frac{NDVI_{t2} \times Infiltración_{t1}}{NDVI_{t1}} \right)$$

Luego se debe aplicar un ajuste a la ecuación, debido a la desproporción que puede existir en los valores máximos del resultado.

$$Infiltración_{t2} = \min \left(\left(\frac{NDVI_{t1} \times Infiltración_{t1}}{NDVI_{t2}} \right), \min((1 + Tasa_{Incremento}) \times \max(Infiltración_{t1})) \right)$$

La ecuación anterior permite modelar la infiltración del agua en el suelo en un momento determinado t_2 , en función de la infiltración en un momento anterior t_1 , el NDVI en t_1 y t_2 , y la tasa de incremento. La ecuación incluye una función de límite que limita el valor de la infiltración en t_2 a un máximo, que se calcula como la infiltración en t_1 multiplicada por la tasa de incremento más 1.

La ecuación se puede descomponer de la siguiente manera:

$((NDVI_{t1} \times Infiltración_{t1}) / NDVI_{t2})$: Esta parte de la ecuación modela la infiltración esperada en t2 en función de la infiltración en t1 y el NDVI en t1 y t2. Se supone que la infiltración es directamente proporcional al NDVI, por lo que, si el NDVI es mayor en t2 que en t1, se espera una mayor infiltración ¹.

$min((1+Tasa_Incremento) \times max(Infiltración_{t1}))$: Esta es la función de límite que establece un máximo en la infiltración en t2. Se calcula el valor máximo de la infiltración en t2 como la infiltración en t1 multiplicada por la tasa de incremento² más 1. Luego se toma el mínimo entre este valor y otro límite máximos que se establece en la infiltración en t1.

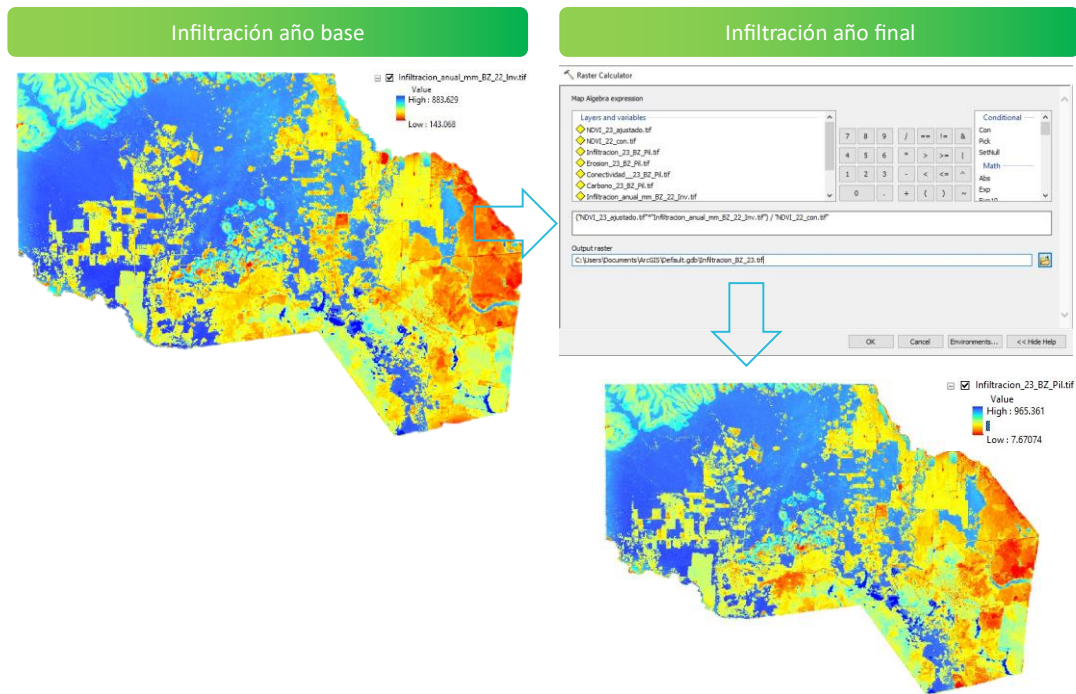


FIGURA 23. ESTIMACIÓN DE INFILTRACIÓN AJUSTADA

3.1.8. MODELO DE CONECTIVIDAD

Para estimar servicio ecosistémico de erosión en el año de impacto (año final), se aplica el criterio de proporcionalidad utilizando 3 valores conocidos:

- ❖ Mapa de Conectividad de Línea Base
- ❖ NDVI de Línea Base ajustado
- ❖ NDVI del periodo final ajustado

A continuación, se describe la ecuación aplicada para dicho proceso:

¹ El NDVI es un índice que mide la cantidad y la salud de la vegetación, y se calcula a partir de la diferencia normalizada entre la reflectancia en el espectro visible y en el infrarrojo cercano. La cantidad y la salud de la vegetación están directamente relacionadas con la cobertura vegetal, que a su vez está relacionada con la infiltración de agua en el suelo (Wang et al., 2012).

Wang, J., Heenan, M., & Clothier, B. (2012). Using NDVI and rainfall to model the spatial variability of pasture growth and soil water content for a hill country farm in New Zealand. *Journal of Hydrology*, 454, 187-198.

² La tasa de incremento hace referencia al % de incremento anual que se otorga el NDVI ajustado según la tabla1.

$$Conectividad_{t_2} = \left(\frac{NDVI_{t_1} \times Conectividad_{t_1}}{NDVI_{t_2}} \right)$$

Si los valores son mayores a 1, la ecuación se determina como:

$$Conectividad_{t_2} = \min \left(\left(\frac{NDVI_{t_1} \times Conectividad_{t_1}}{NDVI_{t_2}} \right), 1 \right)$$

Nota: En esta ecuación, primero se verifica si el valor calculado de Conectividad_t2 excede el límite máximo de 1. Si es así, se establece el valor de Conectividad_t2 en 1 utilizando la función de límite. Si Conectividad_t2 es menor o igual a 1, entonces se utiliza la ecuación de la proporcionalidad original para calcular el valor de Conectividad_t2. Esta ecuación modificada asegura que el valor de Conectividad_t2 no exceda el límite máximo de 1 y sigue siendo proporcional.

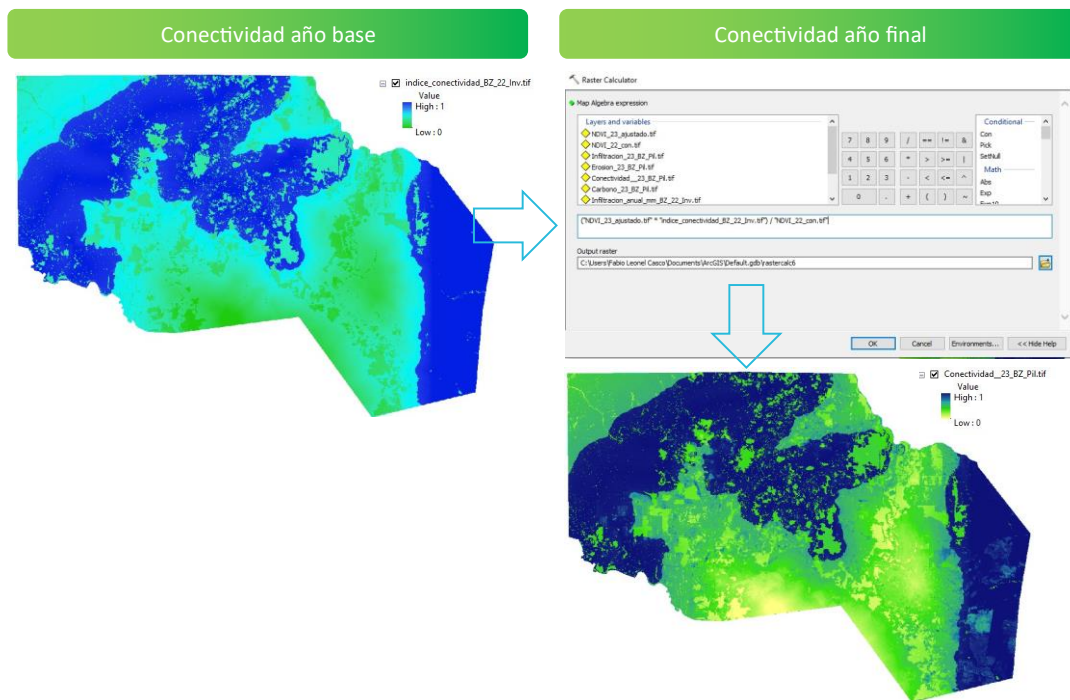


FIGURA 24. ESTIMACIÓN DE CONECTIVIDAD AJUSTADA

3.1.9. CÁLCULO DE ESTADÍSTICAS ZONALES

El propósito del cálculo de estadísticas zonales es lograr construir una tabla completa que contenga los datos de cada Sub-Unidad y las estadísticas zonales de cada servicio ecosistémico.

El primer paso es construir una columna con el nombre Cod_ID, dentro de la tabla de atributos de la capa de SUB-UNIDAD a la cual se le asignará un valor único. Este proceso se realiza de la siguiente manera:

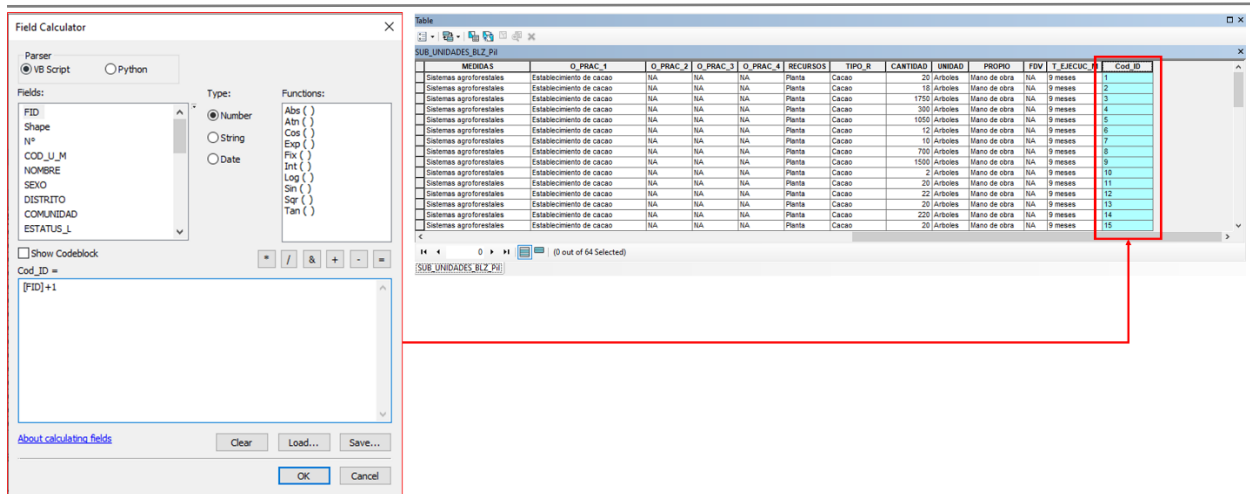


FIGURA 25. DEFINICIÓN DE CÓDIGO ID

Luego se procede a realizar un zonal statistics as Table, de cada capa de generada en los procesos anteriores en función de la tabla de las Sub-Unidades (Utilizando la columna Cod_ID). El estadístico aplicado para los procesos zonales debe ser Media (MEAN).

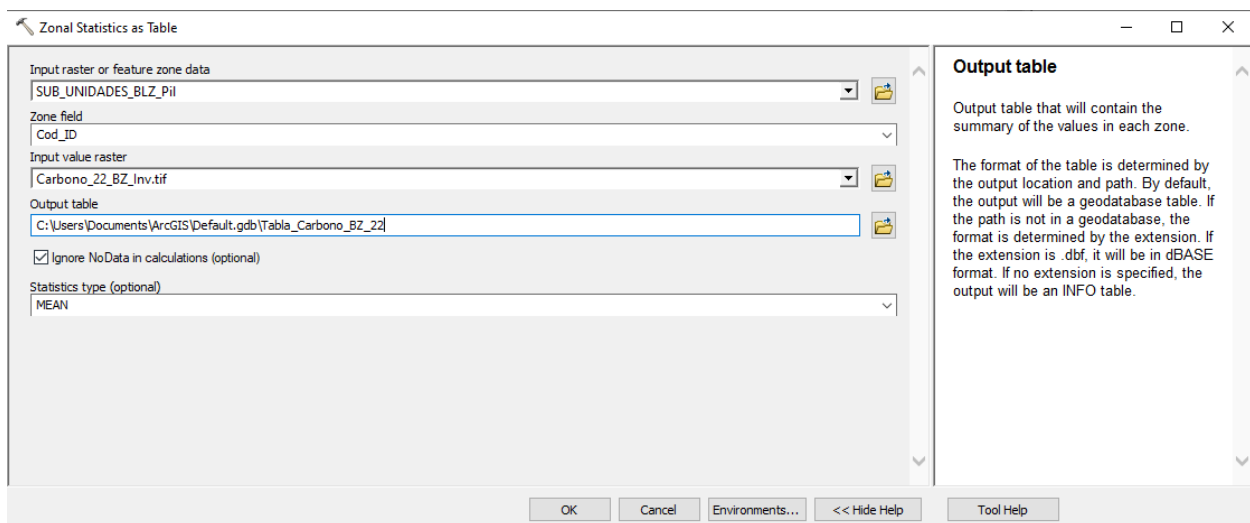


FIGURA 26. ZONAL POR TABLA

Este proceso se debe realizar para todas las capas generadas tanto para el periodo base (Línea Base) como para las capas modeladas de Línea de Impacto (periodo final).

- ❖ Estadísticas por tabla de Carbono Base (Tiempo 1)
- ❖ Estadísticas por tabla de Carbono Línea de Impacto (Tiempo 2)
- ❖ Estadísticas por tabla de Erosión Base (Tiempo 1)
- ❖ Estadísticas por tabla de Erosión de Línea de Impacto (Tiempo 2)
- ❖ Estadísticas por tabla de Infiltración Base (Tiempo 1)

- ❖ Estadísticas por tabla de Infiltración de Línea de Impacto (Tiempo 2)
- ❖ Estadísticas por tabla de Conectividad Base (Tiempo 1)
- ❖ Estadísticas por tabla de Conectividad de Línea de Impacto (Tiempo 2)

Luego cada tabla de cada servicio ecosistémico (tanto de Línea Base como Línea de Impacto) debe ordenarse en una tabla Excel de la siguiente manera.

Primero se deben tener los datos ordenados de la tabla de atributos de las Sub-Unidades.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB										
	SE	SEXO	DISTRITO	COMUNIDAD	ESTATUS	SUB_COD	U	X	Y	AREA	INHA	USO	ACTUAL	USO	FUTURI	MEDIDAS	O	PRAC_1	O	PRAC_2	O	PRAC_3	O	PRAC_4	RECURSOS	TIPO	R	CANTIDAD	UNIDAD	PROPIO	FDV	T_EJECUC	M	Cod_ID
1	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_2	-88.648632	16.590338	3.334	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	20	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	1									
2	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_3	-88.647899	16.584745	2.003	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	18	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	2									
3	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_C	-88.646203	16.583516	2.468	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	1750	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	3									
4	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_C	-88.646353	16.582499	3.257	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	100	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	4									
5	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_C	-88.645066	16.584935	3.23	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	1650	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	5									
6	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_C	-88.645503	16.584129	3.214	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	12	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	6									
7	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_3	-88.646811	16.587328	2.543	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	10	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	7									
8	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_2	-88.646213	16.588088	2.314	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	700	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	8									
9	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_2	-88.647417	16.589369	3.207	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	1500	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	9									
10	M	F	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_3	-88.648322	16.577173	2.284	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	2	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	10									
11	M	M	Toledo	Trio	Concesión	BZ_II_0001_3	-88.657673	16.584923	4.056	Cultivo de fr	Cultivo de fr	Sistemas agr	Establecimie	NA	NA	NA	Planta	Cacao	20	Arboles	Mano de obr	NA	9	meses	11									

FIGURA 27. DEFINICIÓN DE TABLA EN EXCEL

Segundo, se deben ordenar y sistematizar los datos de los cálculos zonales de cada servicio ecosistémicos. Posterior a esto, se debe calcular la diferencia de valores entre cada periodo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Rowid	COD_ID	Carbono 22	Carbono 23	Dif_Carbono	Conectividad	Conectividad	Dif_Conect	Erosion 22	Erosion 23	Dif_Erosion	Infiltracion 22	Infiltracion 23	Dif_Infiltra
52	51	51	63.47	65.87	2.41	0.92	0.92	0.00	0.18	0.17	-0.01	696.80	720.77	23.97
53	52	52	65.30	67.21	1.91	0.91	0.91	0.00	0.30	0.29	-0.01	701.92	722.96	21.04
54	53	53	55.41	56.28	0.87	0.91	0.91	0.01	2.46	2.35	-0.10	662.31	679.20	16.90
55	54	54	61.90	63.31	1.40	0.95	0.96	0.01	0.98	0.96	-0.02	691.67	707.87	16.21
56	55	55	11.44	11.99	0.55	0.69	0.69	0.00	0.54	0.53	-0.01	490.70	496.75	6.05
57	56	56	64.88	66.46	1.58	0.79	0.80	0.01	1.72	1.67	-0.05	646.60	662.65	16.05
58	57	57	50.77	52.71	1.95	0.91	0.90	0.00	1.33	1.27	-0.06	646.60	667.87	21.26
59	58	58	34.17	35.00	0.83	0.38	0.41	0.03	2.93	2.67	-0.25	517.42	553.06	35.64
60	59	59	30.53	31.55	1.02	0.97	0.98	0.00	2.21	2.06	-0.15	567.44	597.65	30.21
61	60	60	8.08	8.87	0.78	0.56	0.64	0.07	24.79	21.71	-3.08	444.52	500.48	55.96
62	61	61	7.15	7.89	0.73	0.96	0.96	0.00	3.22	2.80	-0.42	469.26	521.18	51.92
63	62	62	12.76	12.32	-0.44	0.96	0.92	-0.04	1.12	1.18	0.06	520.75	503.04	-17.70
64	63	63	12.97	12.21	-0.76	0.91	0.86	-0.05	2.22	2.34	0.12	521.20	490.13	-31.08
65	64	64	9.53	9.98	0.46	0.97	0.97	0.00	2.14	2.05	-0.08	492.85	511.93	19.07

FIGURA 28. CÁLCULO DE DIFERENCIAS

Nota: Tomar en cuenta que ambas tablas deberán contar con la Columna Cod_ID, la cual servirá de base para realizar una unión entre ambas tablas.

3.1.10. DEFINICIÓN DE ÁREAS DE IMPACTO DIRECTO Y ÁREAS DE INFLUENCIA

Para cuantificar la superficie impactada directamente por el proyecto y su área de influencia para mejorar los

servicios ecosistémicos, se realiza un análisis del impacto de estas actividades en diferentes áreas como ser: área de impacto directo y área de influencia o también llamadas “área de respuesta ecológica”; en la FIGURA 29, se muestra un esquema gráfico de estas áreas.

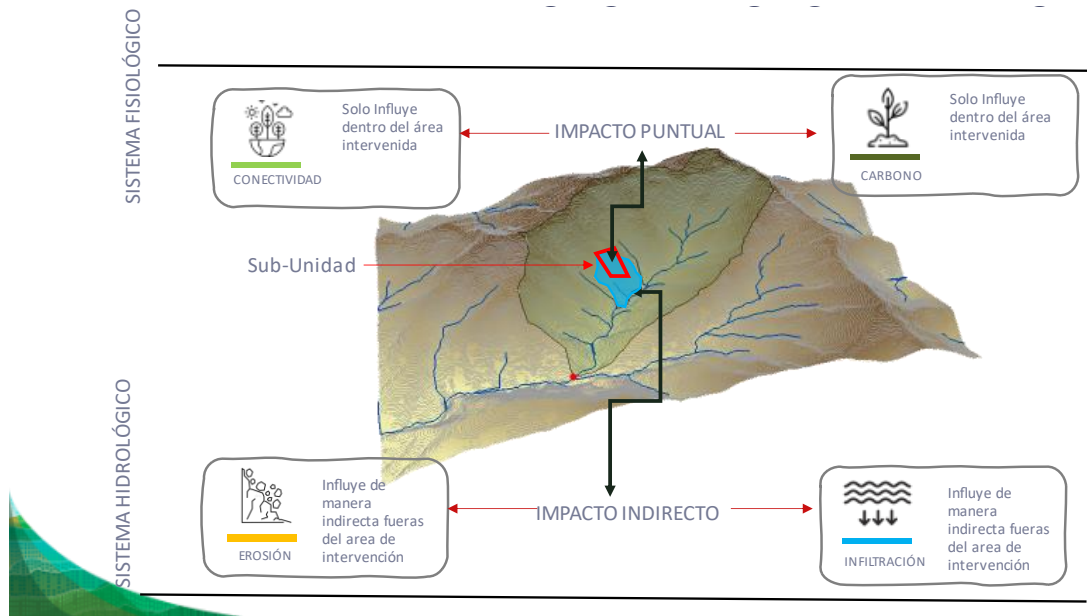


FIGURA 29. CONCEPTUALIZACIÓN DE ÁREA DIRECTAS E INDIRECTAS

3.1.10.1. Áreas de impacto directo

Área de impacto directo: El área de impacto directo (Aid) es el área o espacio geográfico que pueden ser alterados por actividades propias o incidencia directa vinculadas con el proyecto operativo; en el caso particular de los proyectos del FDV del SICA el área de impacto corresponde a aquellas áreas intervenidas denominadas subunidades de manejo; el Aid estará determinada por el polígono que abarca las áreas intervenidas por el Proyecto; en dichas áreas se realizaron diversas actividades de protección y restauración del paisaje como ser:

- Sistemas agroforestales
- Sistemas silvopastoriles
- Protección de bosque
- Restauración de bosque
- Otros

3.1.10.2. Áreas de impacto indirecto

Área de influencia: Se denomina área de influencia o áreas de impacto indirecto, a la superficie impactada indirectamente por las actividades desarrolladas en las subunidades del proyecto (FIGURA 30); estas áreas corresponden a aquellas áreas dentro de la microcuenca que contienen todas las únicas posibles combinaciones de cobertura de tierra, suelo, y pendiente en una microcuenca. Estas áreas son homogéneas en términos de su respuesta hidrológica, geológica y características geo-climáticas.

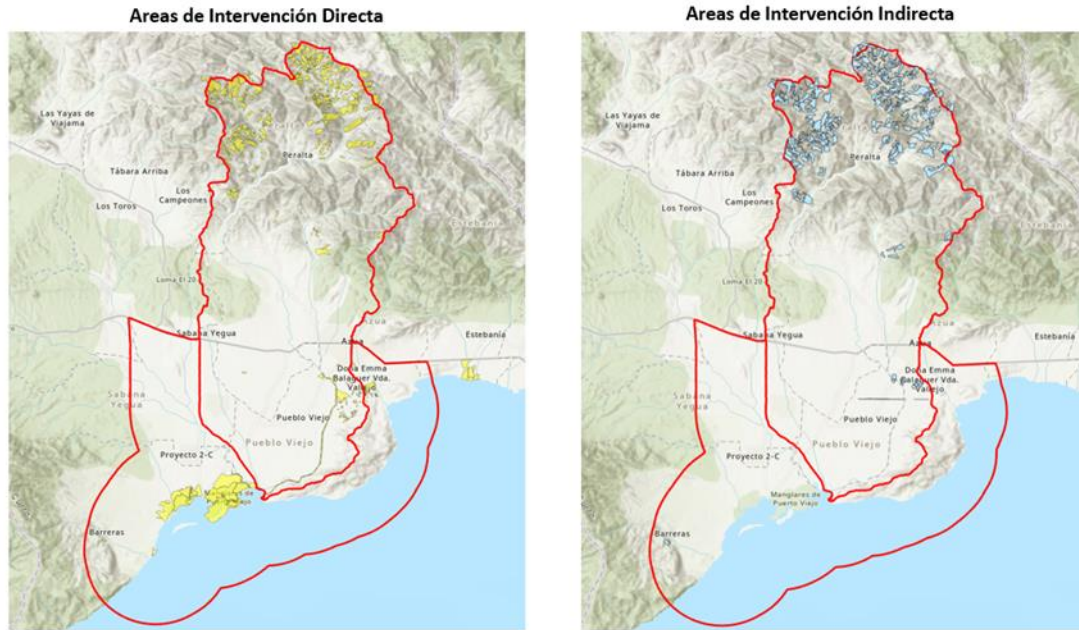


FIGURA 30. ÁREAS DE IMPACTO DIRECTO E INDIRECTO PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

3.1.10.3. Generación de área de intervención indirecta

En este estudio, se parte de la premisa que las acciones directas en protección y restauración influyen ecológicamente en la infiltración y la reducción de erosión de suelo en la microcuenca que se encuentran localizadas las intervenciones realizadas por el proyecto.

El proceso de generación de las áreas de intervención indirecta o de influencia consiste en la aplicación de las siguientes etapas:

- a) Generación de microcuencas de orden 5.
- b) Selección espacial de las microcuencas que se interceptan con las subunidades del proyecto.
- c) Exportar microcuencas seleccionadas y unión espacial de la base de datos de las subunidades con la capa de microcuencas exportadas.
- d) Proceso de filtrados de las microcuencas
- e) Aplicación de la herramienta Erase
- f) Proceso de corrección de áreas de intervención indirectas generadas

a) Generación de microcuencas orden 5

El proceso base consiste en generar las microcuencas de orden 5 para el área de acción del proyecto, para esto se generó un algoritmo hidrológico (FIGURA 31) que contempla: a.) Parámetros de forma, b.) Parámetros de relieve, c.) Parámetros de densidad de drenaje.

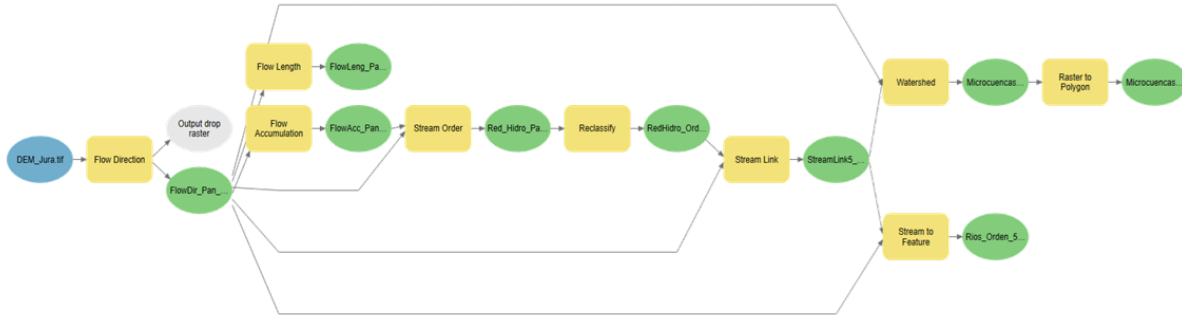


FIGURA 31. MODELO HIDROLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DE MICROCUENCAS ORDEN 5.

El proceso consiste en los siguientes pasos:

- ❖ **Descarga y corrección del modelo de elevación digital del terreno (MDT):** Este proceso se desarrolla basándose en lo estipulado en la Guía metodología para línea base del FDV, Página 17, datos base topografía, parte 3 y 4.
- ❖ **Generación de dirección de flujo (Flow direction):** Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que



FIGURA 32. APLICACIÓN DEL PROCESO FLOW DIRECTION Y CODIFICACIÓN DE SALIDA QUE DETERMINA LA DIRECCIÓN DE FLUJO.

sale de cada celda. Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el modelo de flujo de ocho direcciones (D8) y sigue un acercamiento presentado en Jensen and Domingue (1988) (FIGURA 32).

- ❖ **Generación de la acumulación de flujo (Flow accumulation):** En este proceso se calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen hacia cada celda con pendiente descendente en el ráster de salida (FIGURA 33). Si no se indica ningún peso, se aplica un peso de 1 a cada celda y el valor de las celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluyen hacia cada celda (Jenson, S. K., y J. O. Domingue, 1988).

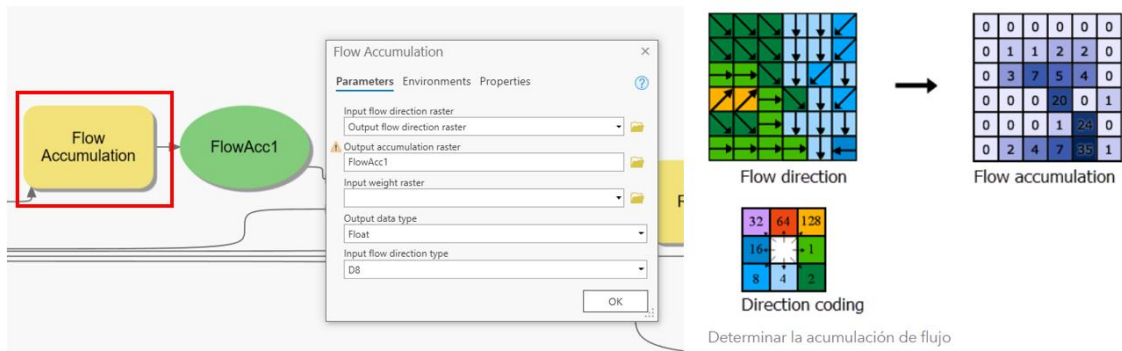


FIGURA 33. PROCESO DE ACUMULACIÓN DE FLUJO Y ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO

- ❖ **Proceso generación del orden de la red hidrológica (Stream order):** Basándonos en el método Strahler, el cálculo de la red hidrológica de órdenes se asigna un orden de 1 a todos los arroyos sin afluentes, conocidos como arroyos de primer orden. Cuando dos arroyos del mismo orden intersecan, su clasificación aumenta; así el arroyo que se forma por unión de dos afluentes de primer orden será un arroyo de segundo orden, la intersección de dos arroyos de segundo orden creará un arroyo de tercer orden, y así sucesivamente. Sin embargo, cuando intersecan dos arroyos de orden distinto el orden no aumenta, sino que se mantiene el orden del arroyo de orden más alto (FIGURA 34).

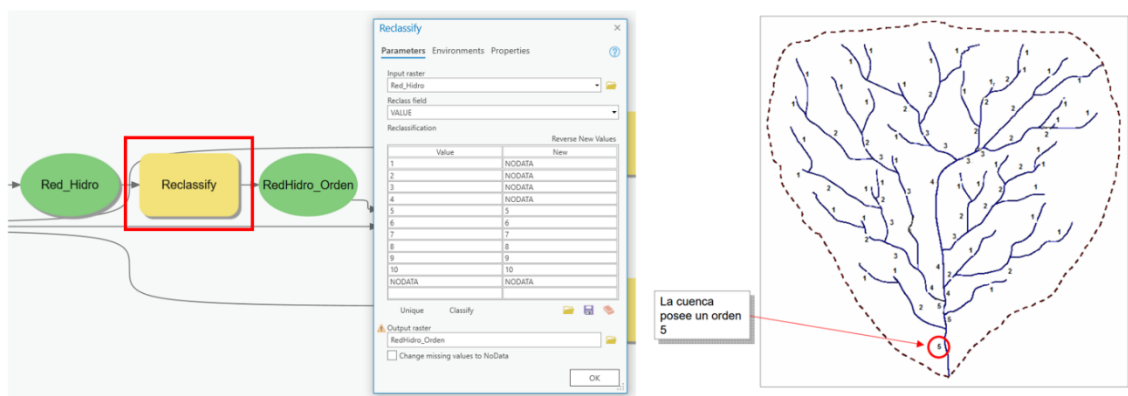


FIGURA 34. PROCESO GENERACIÓN DE LA RED HIDROLÓGICA (STREAM ORDER)

- ❖ **Reclasificación para obtener red hidrológica de orden 5 (Stream order):** Debido a que las intervenciones desarrolladas en las subunidades de los proyectos son a escala pequeña, se reclasifica la salida del paso anterior, para obtener la red hídrica de orden 5 que permitirán detectar cambios sutiles en la infiltración y la erosión que podrían pasar desapercibidos en una escala mayor (FIGURA 35).

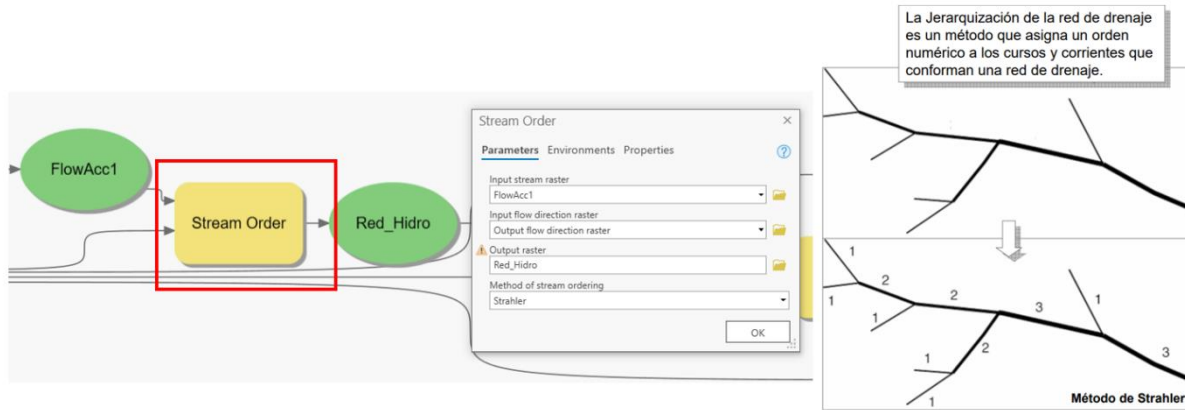


FIGURA 35. PROCESO RECLASIFICACIÓN DE ÓRDENES DE RED HÍDRICA ORDEN 5

Proceso vínculos de curso de agua (Stream link): Los vínculos son las secciones de un canal de arroyo que conecta dos cruces sucesivos, un cruce y la salida o un cruce y la división de drenaje. Un cruce se relaciona con un punto de fluidez y ayuda a delinear el límite de la sub cuenca de la cuenca hidrográfica o del drenaje (FIGURA 36).

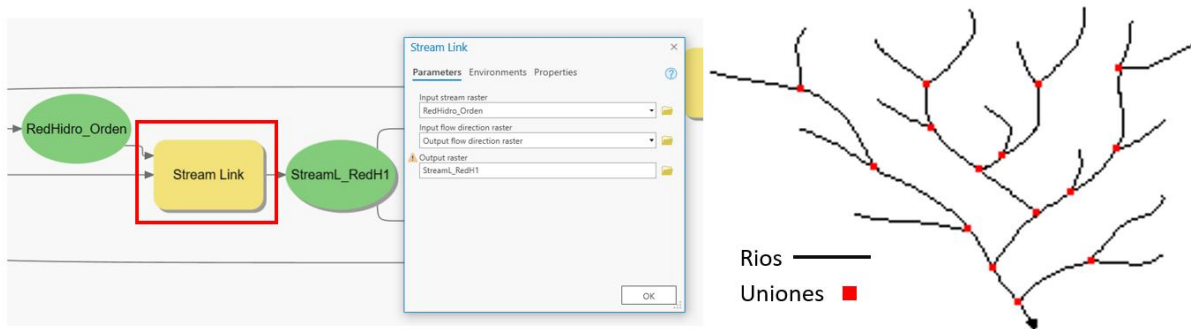


FIGURA 36. PROCESO VÍNCULOS DE CURSO DE AGUA

- ❖ **Proceso generación de cuenca hidrográfica (Watershed):** Una cuenca hidrográfica es el área de pendiente que contribuye con el flujo, generalmente agua, a una salida común como un drenaje concentrado (FIGURA 37). Puede ser parte de una cuenca hidrográfica más grande y también puede contener cuencas hidrográficas más pequeñas, denominadas microcuencas. Los límites entre las cuencas hidrográficas se denominan divisiones de drenaje. La salida, o punto de fluidez, es el punto en la superficie en el que el agua fluye hacia fuera de un área. Es el punto más bajo a lo largo del límite de una cuenca hidrográfica.

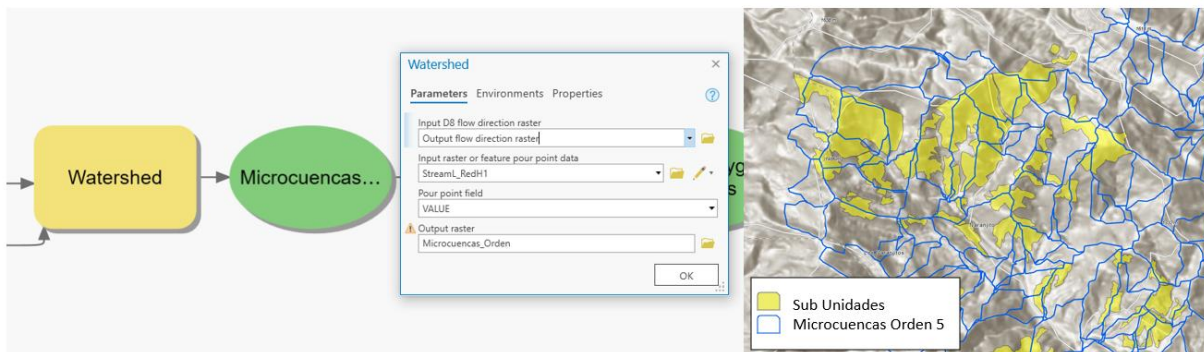


FIGURA 37. PROCESO GENERACIÓN DE MICROCUENCAS

b) Selección espacial de las microcuencas que se interceptan con las subunidades del proyecto

El objetivo principal es identificar y delimitar aquellas microcuencas que tienen un impacto directo en las subunidades definidas previamente (FIGURA 38). Este proceso de selección espacial permite identificar las microcuencas que presentan una mayor intersección o coincidencia con las subunidades del proyecto, lo cual es crucial para el desarrollo y gestión efectiva de las actividades asociadas. Una vez completada esta etapa, se obtiene un conjunto de microcuencas seleccionadas que serán objeto de análisis y evaluación más detallados en las etapas posteriores del proceso.

c) Exportar microcuencas seleccionadas y unión espacial de la base de datos de las subunidades con la capa de microcuencas exportadas.

En esta etapa del proceso, se lleva a cabo la exportación de las microcuencas seleccionadas previamente y se realiza la unión espacial de la base de datos de las subunidades con la capa de microcuencas exportadas. El propósito principal es combinar la información geoespacial de ambas fuentes de datos para obtener una visión integrada y completa de la relación entre las subunidades del proyecto y las microcuencas correspondientes.

Al completar esta etapa, se obtiene un conjunto de datos enriquecido que permite visualizar y analizar la interacción espacial entre las subunidades del proyecto y las microcuencas asociadas, ver FIGURA 38 y FIGURA 39. Esta información integrada es esencial para comprender la distribución geográfica de las subunidades en relación con las características y la delimitación de las microcuencas, lo cual resulta crucial para identificar medidas e impactos relacionadas con las microcuencas.

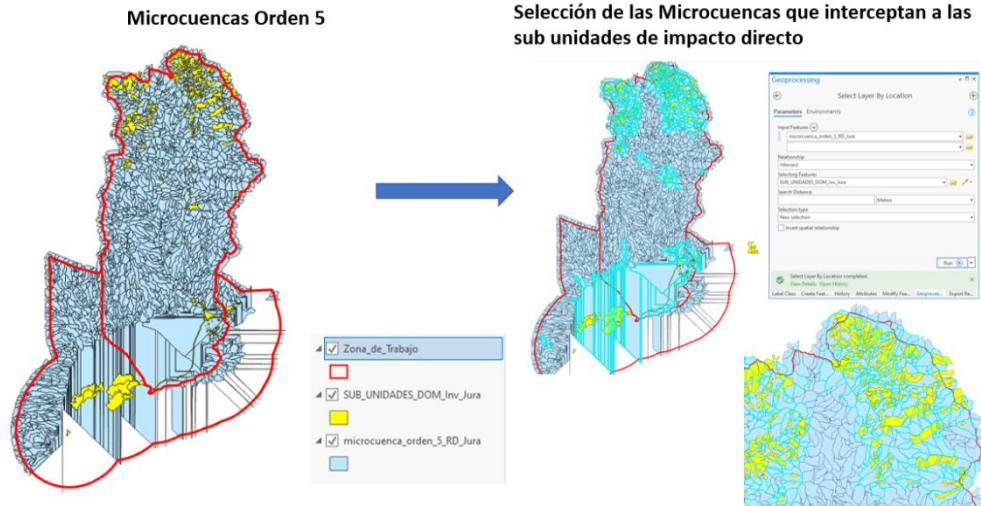


FIGURA 38. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA SELECCIÓN POR LOCALIZACIÓN

d) Proceso de filtrados de las microcuencas

En este proceso, se aplican una serie de criterios para seleccionar y filtrar las microcuencas que serán consideradas en el análisis y la planificación (FIGURA 40).

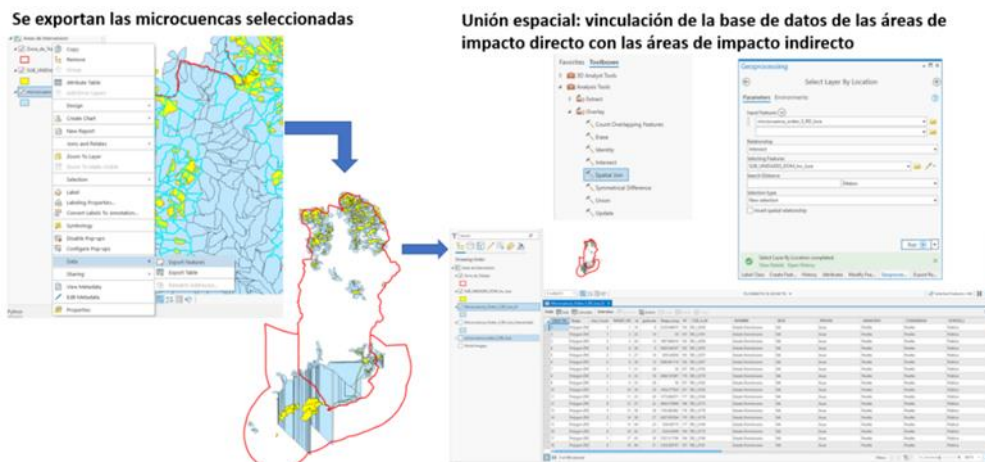


FIGURA 39. RESULTADO DE REALIZAR LA UNIÓN ESPACIAL DE LA BASE DE DATOS DE LAS CAPAS.

Visión general del pre y post proceso de filtrado

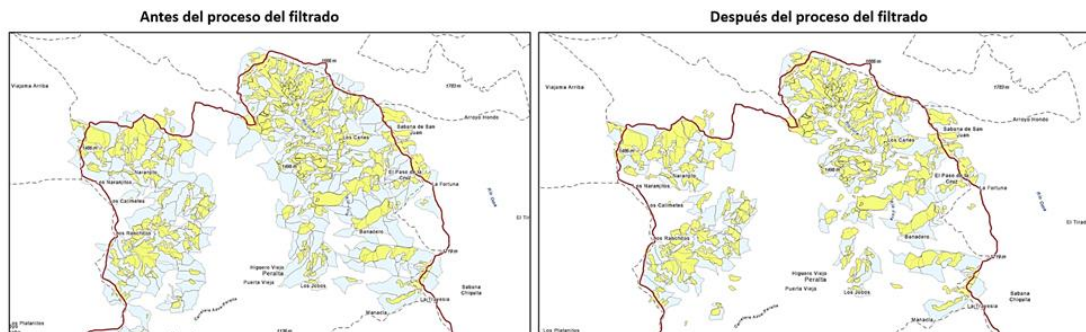


FIGURA 40. VISIÓN GENERAL DEL PRE Y POSTPROCESO DE FILTRADO

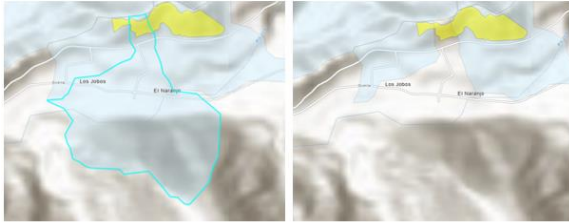
Estos criterios se han establecido con el objetivo de garantizar una selección precisa y relevante de las microcuencas que tendrán un impacto directo e indirecto en el proyecto. A continuación, se detallan los criterios de filtrado utilizados (FIGURA 41):

- ❖ Eliminación de microcuencas que son afectadas por las áreas de acción directa solo en la su cuenca baja: En este primer criterio, se excluyen las microcuencas cuyo impacto se limita únicamente a la zona baja de la cuenca.
- ❖ Eliminación de microcuencas con menos del 30 % de su territorio interceptado por subunidades de impacto indirecto: En este segundo criterio, se descartan las microcuencas en las que menos del 30 % de su territorio se vea afectado por las subunidades de impacto indirecto. Esta medida asegura que las microcuencas seleccionadas tengan una conexión significativa con las subunidades del proyecto.
- ❖ Eliminación de microcuencas no generadas correctamente en áreas de relieve plano: En este criterio, se excluyen aquellas microcuencas que no pudieron ser generadas correctamente debido a la naturaleza plana del relieve. Esto se debe a que en estas áreas no se pueden identificar con precisión los límites de las microcuencas.
- ❖ Permanencia de microcuencas afectadas en su zona alta: Por último, se conservan las microcuencas que experimentan impacto en su zona alta. Estas microcuencas son especialmente relevantes debido a su influencia en la generación y el flujo de recursos hídricos, lo cual puede tener un impacto significativo en el proyecto.

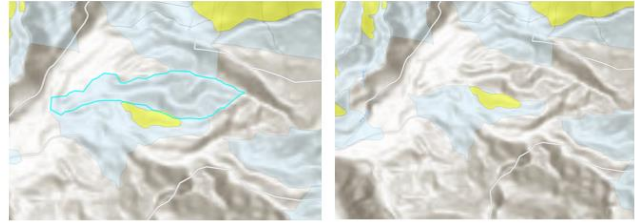
Al aplicar estos criterios de filtrado, se logra una selección rigurosa y precisa de las microcuencas que serán consideradas en el análisis y la toma de decisiones.

Proceso de filtrado de microcuencas

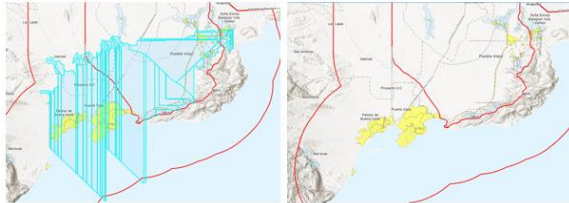
a. Se eliminan microcuencas que solo son afectadas en la zona baja por las áreas de acción directa



b. Se eliminan microcuencas en las que menos del 30% de su territorio es interceptado por sub unidades de impacto indirecto



c. Se eliminan microcuencas en las que el algoritmo no logro generarlas correctamente debido a que son lugares con un relieve plano



d. Se mantienen microcuencas que son afectadas en su zona alta



FIGURA 41. ESQUEMA GRÁFICO DE LOS CRITERIOS DE FILTRADO DE MICROCUENCAS

e) Aplicación de la herramienta Erase

El proceso implica aplicar la herramienta "Erase" a cada microcuenca seleccionada, utilizando las subunidades como área de eliminación. Al completar la aplicación de la herramienta "Erase" para eliminar el área de las subunidades en las microcuencas, se obtiene una capa de datos que se denomina áreas de intervención indirectas o áreas de influencia (FIGURA 42).

Aplicación de la herramienta "Erase" para eliminar el área de las subunidades de intervención directa con las microcuencas

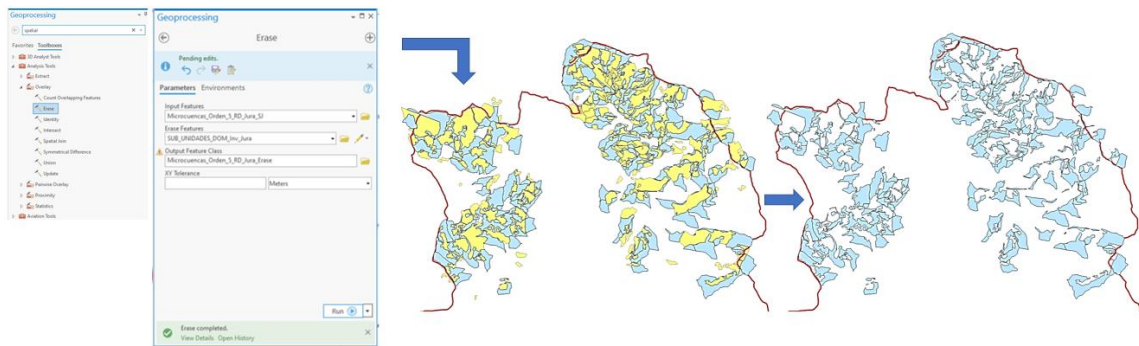


FIGURA 42. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA ERASE

f) Proceso de corrección de áreas de intervención indirecta

En este proceso se aplican criterios específicos para corregir y mejorar la precisión de las áreas de intervención indirecta identificadas previamente. Estos criterios se han establecido con el objetivo de garantizar una delimitación precisa y consistente de dichas áreas. A continuación, se describen los tres criterios utilizados en este proceso (FIGURA 43):

- ❖ **Corrección de picos:** En este criterio, se lleva a cabo la corrección de los picos que pueden haber surgido durante el proceso de delimitación de las áreas de intervención indirecta. Los picos son pequeñas áreas que sobresalen y no están directamente relacionadas con el impacto indirecto del proyecto. Se realiza una revisión detallada de estas áreas y se procede a su corrección o eliminación, asegurando que la delimitación sea coherente y se ajuste a la distribución geográfica y topográfica real de las subunidades y microcuencas.
- ❖ **Corrección de espacios huecos:** En este criterio, se aborda la corrección de los espacios huecos, que pueden haber quedado entre las áreas de intervención indirecta delimitadas. Estos espacios huecos pueden generar inexactitudes y afectar la integridad de las áreas de intervención indirecta. Se efectúa un análisis exhaustivo para identificar y corregir estos espacios, asegurando que las áreas de intervención indirecta estén completamente conectadas y no existan brechas o discontinuidades.
- ❖ **Eliminación de píxeles sueltos o polígonos pequeños:** En este último criterio, se procede a eliminar los píxeles sueltos o polígonos que tienen una superficie menor a 0.06 hectáreas y que puedan haber surgido después de aplicar el proceso de "erase". Estos píxeles sueltos o polígonos pequeños pueden ser artefactos no deseados y no representan áreas significativas de intervención indirecta.

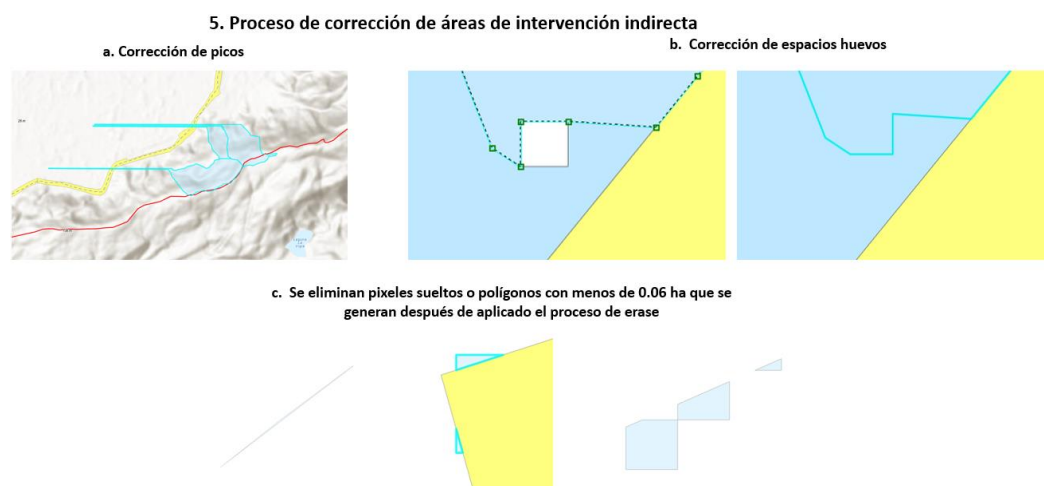


FIGURA 43: DEMOSTRACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO DE CORRECCIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN INDIRECTA

g) Justificación de microcuencas de orden 5

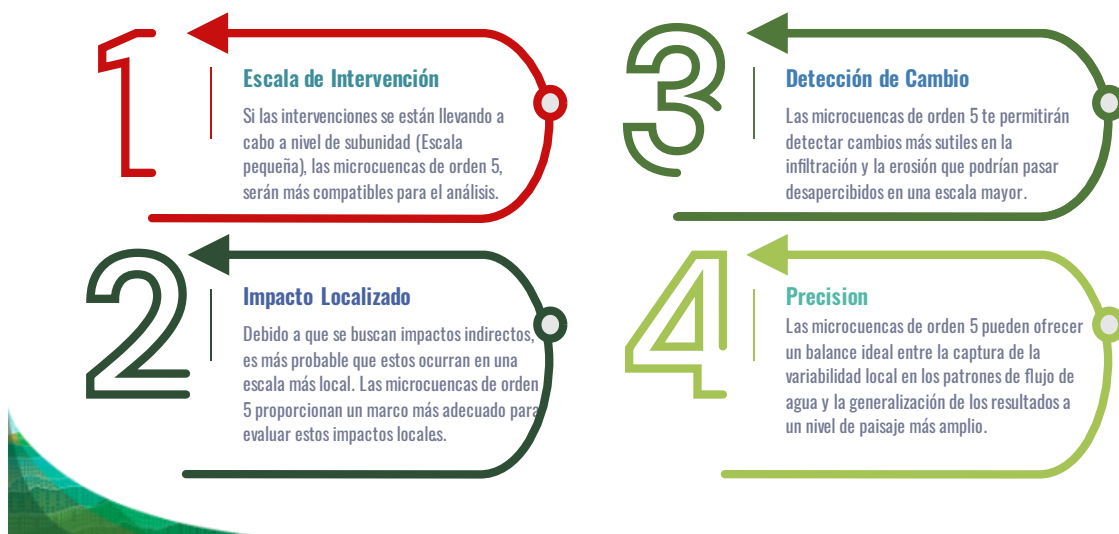


FIGURA 44: DEMOSTRACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO DE CORRECCIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN INDIRECTA

3.2. METODOLOGÍA DE LÍNEA IMPACTO MEDIANTE USO DE FACTORES DE INCREMENTO

Los factores de incremento se utilizan para las tierras de cultivo y/o cría de ganado en donde los índices espectrales derivados de la imagen Planet (NDVI por ejemplo) no logra detectar de manera precisa cambios en la vegetación debido a que muchas prácticas efectuadas en la implementación de Sistemas Silvopastoriles (SSP) no tiene un efecto a corto plazo en la cobertura. Además, cuando la evaluación de una práctica es para un periodo corto (2 a 3 años, por ejemplo) el uso de técnicas de teledetección no presenta resultados robustos como para medir el impacto para ciertas actividades silvoagropecuarias.

En otras tierras, el carbono se almacena en vegetación leñosa perenne que incluye, pero no está limitada a monocultivos como huertos frutales y policultivos como sistemas agroforestales (IPCC, 2019). Si bien en los Sistemas Agroforestales (SAF) debido a su cobertura leñosa, el NDVI puede ser utilizado para el monitoreo de la cobertura, en los SSP donde la cobertura leñosa puede estar limitada a cercas vivas, el NDVI no es la mejor opción para detectar cambios de cobertura.

Las prácticas realizadas en tierras ganaderas que se vinculan con cultivos no leñosos, como incorporación de pasto mejorado o labranza cero, no tienen un impacto directo en el Carbono, pero sí tienen un efecto en la calidad de la cobertura y estructura del suelo, por lo tanto, impacta en la infiltración hídrica y la erosión del suelo. Asimismo, la medida de restauración de Conservación de suelos y manejo de agua están principalmente dirigidas a cultivos anuales y acuicultura y maricultura (trazos de curva a desnivel, sistemas de riego, barreras muertas, terrazas

individuales y acequias de ladera a desnivel) que no tienen un impacto en Carbono, pero sí en infiltración hídrica y erosión del suelo.

También existen prácticas que no se vinculan con biomasa (herbácea o leñosa) como división de potreros (con cercos no vivos), construcción de corral y galerones e instalaciones de lombricompost en SSP, que no tienen un impacto directo ni en el Carbono de biomasa aérea ni en la cobertura del suelo y por ende tampoco impactan la infiltración y erosión del suelo. Aun así, estas prácticas tienen un efecto indirecto en los servicios ecosistémicos mediante la degradación evitada y reducción de insumos en la producción agrícola y ganadera.

Considerando lo anterior, los pasos para la definición de los factores de incremento de las medidas de restauración SPP y Obras de Conservación de suelos y manejo de agua se describen a continuación.

1. Clasificación de la medida de restauración en categoría según las prácticas implementadas. Para Carbono las categorías deben reflejar si se introduce o no vegetación leñosa perenne, mientras que para infiltración hídrica y erosión las categorías dan cuenta del tipo de cobertura, labranza y obras de conservación de suelo y agua. Considerando que en las Obras de conservación de suelo y manejo de agua no existe introducción de especies leñosas, éstas se integran dentro de una sola categoría que es Carbono 0 (TABLA 4).
2. Para Carbono, cada categoría de los SSP se le asigna un factor de crecimiento según lo reportado en la Tabla 5.2 del IPCC 2019. La categoría SSP corresponde a los datos reportado para “silvopasture” mientras que la categoría SSP+ corresponde a silvopasture + hedgerow³. Todas las prácticas realizadas que no integran introducción de especies leñosas se agrupan en la categoría denominada Manejo de SSP (TABLA 4).

En caso de infiltración hídrica y erosión del suelo, para cada categoría se utilizan los datos base ajustados del programa de FDV (GIZ, 2017) que corresponden a un incremento anual de infiltración hídrica de 4 mm/ha y una reducción de erosión del 9 % anual. El factor de ajuste de cada categoría se derivó de un metaanálisis que integró 89 estudios que relacionan la infiltración hídrica con cobertura (Basche y DeLonge 2019) que a su vez se correlaciona con erosión. Este metaanálisis definió que los cultivos de cobertura incrementan la infiltración el 58 % de la introducción de plantas leñosas, mientras que la labranza reducida incrementa la infiltración solo un 10 % de la introducción de plantas leñosas. Estas relaciones fueron utilizadas para definir los factores de ajustes de cada categoría según los siguientes supuestos:

- a. La práctica que más incrementa la infiltración corresponde a la introducción de plantas leñosas. En esta categoría el factor de ajuste correspondió a 2 (4 mm/ha*2) (el doble de la meta general de todo el proyecto) por ser la práctica que incrementa más la infiltración (Basche y DeLonge 2019) (Tabla 3).
- b. La labranza cero incrementa la infiltración 10 % de la introducción de especies leñosas (Basche y DeLonge 2019), entonces el factor de ajuste corresponde al 10 % de la introducción de especies leñosas (4 mm/ha*2*0.1 o 4 mm/ha *0.2). Esta misma relación se utilizó para las obras de conservación de suelo y agua dentro de SSP (Tabla 3).

³ Cercas vivas

- c. Los cultivos de cobertura incrementan la infiltración 58 % de la introducción de plantas leñosas. En esta categoría el factor de ajuste corresponde a 4 mm/ha*2*0.58 o 4 mm/ha ***1.16** (Tabla 3).
- El factor de crecimiento (Carbono) con base al IPCC (2019) y los Fi de infiltración hídrica y erosión del suelo se ajustan multiplicándolo por el factor de permanencia del programa del FDV que corresponde a 0.6 bajo la premisa que el 60 % de la superficie intervenida permanece en el tiempo.
 - El factor de incremento de la medida de restauración corresponde a la media ponderada (según superficie intervenida por cada categoría) de los Fi de cada una de las categorías en la medida). Por ejemplo, para la medida de SSP el Fi se calcula según la siguiente relación.

$$Fi_{SSP} = \frac{(Superficie\ (ha) * F_{issp}) + (Superficie\ (ha) * F_{issp+}) + (Superficie\ (ha) * F_{iman.\ ssp})}{Superficie\ total\ (ha)}$$

Medida	Categoría Carbono	Descripción	Crecimiento tC/ha año	Fi Carbono	Fuente
SSP	SSP	Se introduce al menos un tipo de planta leñosa.	2.91	1.75	Tabla 5.2 IPCC, 2019
	SSP+	Integra al menos dos prácticas que consideran la incorporación de especies leñosas (en general una de estas son cercos vivos).	3.38	2.03	
	Manejo SSP	No se introducen plantas leñosas	0	0	
Obras de conservación de suelo y manejo de agua	Conservación	Trazos de curva a desnivel, sistemas de riego, barreras muertas, terrazas individuales y acequias de ladera a desnivel	0	0	

TABLA 3. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA CARBONO POR CATEGORÍA. CON BASE EN IPCC 2019

Por su parte, las prácticas que no tiene un impacto directo en la cobertura arbustiva o herbácea y su permanencia en el tiempo se agrupan dentro de la categoría de “Manejo de SSP”.

En el marco de este proyecto piloto para determinar los Factores de Incremento (Fi), de los SSP, estos se clasificaron en 3 categorías para carbono: i) SSP (donde la intervención consideró la incorporación de especies leñosas), ii) SSP+ (la intervención considera al menos dos prácticas de incorporación de especies leñosas como bancos forrajeros mixtos, árboles dispersos y establecimiento de cercas vivas) y iii) Manejo de SSP (prácticas que no tienen impacto directo en

la cantidad de vegetación leñosa o herbácea).

Para definir el factor de incremento (Fi) para Carbono se utilizó como base el crecimiento medio reportado por IPCC en su Tabla 5.2 (IPCC, 2019). Este valor se multiplicó por el factor de permanencia empleado por el proyecto FDV el cual equivale a 60 %. La TABLA 4 muestra el Factor de Incremento (Fi) para cada categoría de SSP.

MEDIDA	Categoría	Descripción	Crecimiento tC/ha año	Fi Carbono	Fuente
SSP	SSP	Se introduce al menos un tipo de planta leñosa	2.91	1.75	Tabla 5.2 IPCC 2019
	SSP+	Integra al menos dos prácticas que consideran la incorporación de especies leñosas.	3.38	2.03	
	Manejo SSP	No se introducen plantas leñosas	-	-	

TABLA 4. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA CARBONO POR CATEGORÍA. CON BASE EN IPCC 2019

Para definir el Factor de incremento (Fi) para las medidas de restauración, se utilizó el promedio ponderado (según superficie) de las categorías de la acción de restauración. Por ejemplo, para la estimación de la medida SSP se utilizó la siguiente relación.

$$Fi_{SSP} = \frac{(Superficie\ (ha) * F_{issp}) + (Superficie\ (ha) * F_{issp+}) + (Superficie\ (ha) * F_{iman.ssp})}{Superficie\ total\ (ha)}$$

Donde:

F_{issp}: Factor de incremento de SSP

F_{issp+}: Factor de incremento de SSP +

F_{iman.ssp}: Factor de incremento de Manejo de SPP

Para el Fi para Conectividad del paisaje se utilizó la misma relación de Carbono en SSP en porcentaje. Es decir que el porcentaje de incremento de Carbono en SPP fue utilizado como Fi en Conectividad para esta medida de restauración.

Para infiltración hídrica y erosión se utilizó la misma clasificación debido a la relación inversamente proporcional de estas variables. En este contexto, la infiltración hídrica y consecuentemente la erosión son afectadas por diversos factores como ser labranza, cubierta vegetal, porosidad y densidad del suelo, cantidad de carbono orgánico, estructura del suelo y contenido de agua en el suelo (Almeida et al. 2018).

En lo específico, el cambio de uso y cambio de cobertura de la tierra afecta grandemente la infiltración y erosión por su influencia en la intercepción de la gota de lluvia. Entonces, incrementando la cobertura leñosa (canopia) y herbácea (cultivos de cobertura), o mediante cobertura mediante mulch (uso de residuos como en cero labranzas) se incrementa aspereza del suelo y la evapotranspiración que a su vez incrementan la tasa de infiltración al inicio de las lluvias (reduciendo así la erosión mediante escorrentía)

(Almeida et al., 2018; Haruna et al., 2018). Carvalho (2015) asoció esta disminución de infiltración en suelos desnudos debido a la disminución de la porosidad de estos, lo que a su vez incrementa el proceso de erosión del suelo.

Para definir el Factor de incremento (Fi) de infiltración hídrica se utilizó como base la meta definida por el programa FDV de un incremento de 4 mm/ha por año con; este factor se obtiene de los datos obtenidos del Proyecto Bosques y Agua de GIZ-Trifinio. Las categorías de SSP para evaluar el impacto de las medidas de restauración en los servicios ecosistémicos, infiltración hídrica y erosión del suelo son:

- Introducción de plantas leñosas.
- Labranza
- Cultivos de cobertura (pastos mejorados)
- Obras de conservación de suelo y agua

Para definir el Factor de incremento (Fi) de cada categoría se utilizó un metaanálisis que integró 89 estudios que relacionan la infiltración hídrica con cobertura (Basche y DeLonge 2019) que a su vez se correlaciona con erosión. Este metaanálisis definió que los cultivos de cobertura incrementan la infiltración 42 % menos que la introducción de plantas leñosas, mientras que la labranza reducida incrementa la infiltración 90 % menos que la introducción de plantas leñosas. Estas relaciones fueron utilizadas para definir los factores de ajustes de cada categoría según los siguientes supuestos:

- La práctica que más incrementa la infiltración corresponde a la introducción de plantas leñosas. En esta categoría el factor de ajuste correspondió a 2 (4 mm/ha*2) (el doble de la meta general de todo el proyecto) por ser la práctica que incrementa más la infiltración (Basche y DeLonge 2019).
- La labranza cero incrementa la infiltración 90 % menos de la introducción de especies leñosas (Basche y DeLonge 2019), entonces el factor de ajuste corresponde al 10 % de la introducción de especies leñosas (4 mm/ha*2*0.1 o 4 mm/ha *0.2). Esta misma relación se utilizó para las obras de conservación de suelo y agua.
- Los cultivos de cobertura incrementan la infiltración 42 % menos de la introducción de plantas leñosas. En esta categoría el factor de ajuste corresponde al 58 % de la introducción de especies leñosas (4 mm/ha*2*0.58 o 4 mm/ha *1.16).

El detalle de los datos base y factores de ajuste y permanencia del proyecto se presentan en la *TABLA 5*.

Categorías	Descripción	Base (mm/ha año)	Ajuste	Permanencia	Fi Infiltración
Labranza cero	Labranza cero o labranza reducida.	4.00	*0.2	0.60	0.48
Introducción de plantas leñosas	Incorporación de plantas leñosas	4.00	*2	0.60	4.80
Cultivos de cobertura	Introducción de pastos mejorados, no quema	4.00	*1.16	0.60	2.80

Obras de conservación de suelo y agua		4.00	*0.2	0.60	0.48
Manejo de SSP	División de potreros, construcción de galpones e instalaciones de lombricompost entre otros.	4.00		-	0

TABLA 5. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA INFILTRACIÓN HÍDRICA POR CATEGORÍA. CON BASE EN BASCHE Y DELONGE 2019 Y GIZ, 2017

Para el Factor de incremento (Fi) de erosión se empleó el dato del proyecto obtenido de la experiencia del Proyecto Bosques y Agua de GIZ-Trifinio, que indica que se logró una reducción de 27 % de erosión al pasar de un sistema de granos básicos a un sistema agroforestal en tres años (reducción de 9 % anual). Para definir el Fi por categoría se utilizaron los mismos supuestos utilizados para de infiltración hídrica debido a la alta correlación de estas dos variables. La TABLA 6 presenta el Fi de Erosión para cada categoría.

Categorías	Descripción	Base	Ajuste	Permanencia	Fi (%)
Labranza cero	Labranza cero o labranza reducida.	0.09	*0.2	0.60	0.01
Introducción de plantas leñosas	Incorporación de plantas leñosas	0.09	*2	0.60	0.11
Cultivos de cobertura	Introducción de pastos mejorados, no quema	0.09	*1.16	0.60	0.06
Obras de conservación de suelo y agua		0.09	*0.2	0.60	0.01
Manejo de SSP	División de potreros, construcción de galpones e instalaciones de lombricompost entre otros.	0.09		-	0

TABLA 6. ESTIMACIÓN DE FACTORES DE INCREMENTO (Fi) PARA EROSIÓN POR CATEGORÍA. CON BASE EN BASCHE Y DELONGE 2019 Y GIZ, 2017

Finalmente, en los SSP para evaluar el impacto en el área de influencia se utilizan los Fi de infiltración hídrica y erosión multiplicados por 0.5, bajo la premisa que el impacto indirecto (en el área de influencia) corresponde a la mitad del impacto directo de las medidas de restauración en estos servicios ecosistémicos. Los pasos para la definición de los Fi por categoría y medida de restauración del paisaje se resumen en la FIGURA 45.

Pasos metodológicos para estimación Factores de Incremento (Fi) en tierras ganaderas

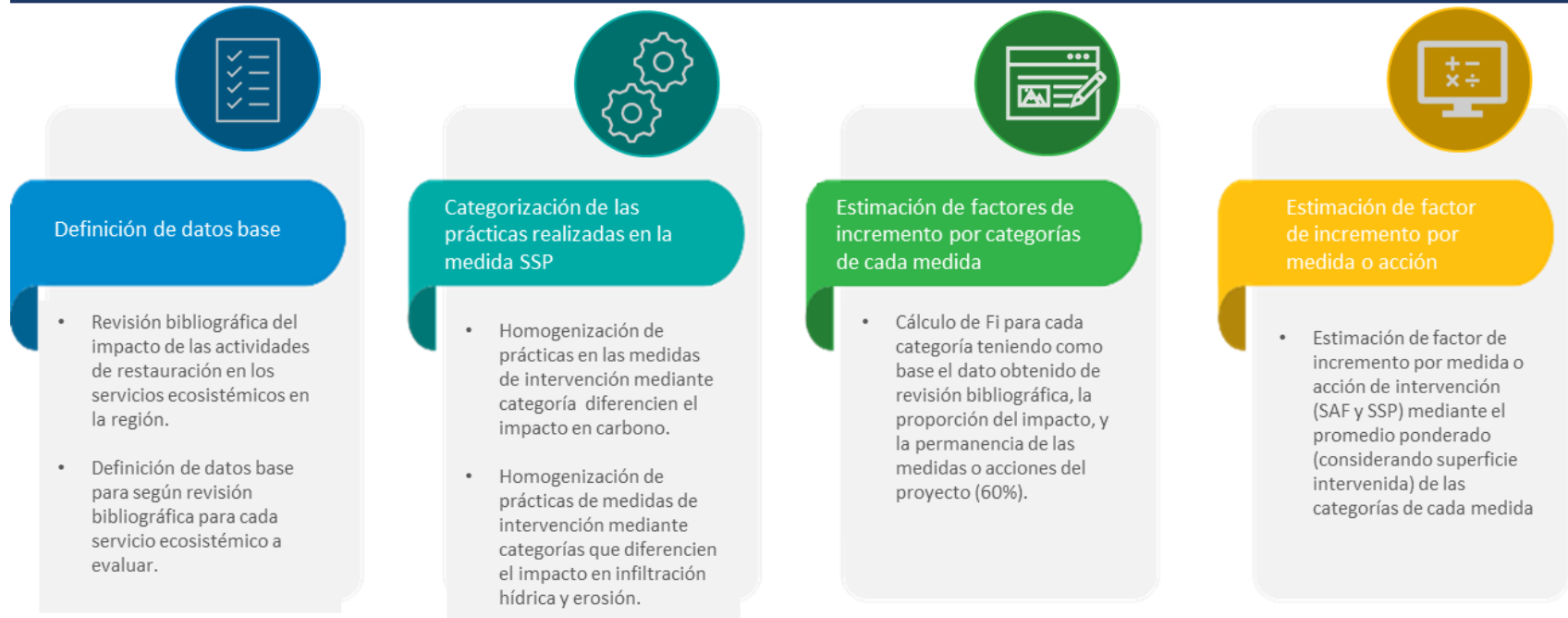


FIGURA 45. SUPERFICIE INTERVENIDA POR MEDIDA DE RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS Y PAISAJES

3.3. INTEGRACIÓN METODOLÓGICA

3.3.1. ESTIMACIÓN DE LÍNEA IMPACTO POR SERVICIO ECOSISTÉMICOS

Mediante el análisis geoespacial se generan los zonal de área intervenida y el área de influencia. En este las zonas contienen los datos de la línea base y línea de impacto para cada sub-unidad. Con base en el zonal que contiene los resultados y la tabla de atributos de cada unidad se consolida una base de datos que tenga la caracterización de cada sub-unidad y el impacto en cada servicio ecosistémicos. Para la consolidación es fundamental contar con la identificación de cada sub-unidad mediante un código único (Cod_ID) (Figura 46).



FIGURA 46. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS SUB-UNIDADES DE CADA PROYECTO

Específicamente para las medidas de restauración de SSP y Obras de conservación de suelo y manejo de agua que utilizan factores de incremento es necesario integrar la clasificación de Carbono, infiltración hídrica y erosión en la base de datos consolidada. Las categorías para carbono, infiltración y erosión hídrica se completan según descripción en sección anterior resumidas en la Figura 47

Factor de incremento SSP: Carbono

Medida	Categoría	Descripción	Crecimiento tC/ha año	Fi Carbono	Fuente
SSP	SSP	Se introduce al menos un tipo de planta leñosa	2.91	1.75	Tabla 5.2 IPCC, 2019
	SSP+	Integra al menos dos prácticas que consideran la incorporación de especies leñosas.	3.38	2.03	
	Manejo SSP	No se introducen plantas leñosas	-	-	

El factor de permanencia del proyecto es del 60%.

Factor de incremento SSP: Erosión

Categorías	Base	Ajuste	FP	Fi erosión
Labranza cero	0.09	*0.2	0.60	1.08%
Introducción de plantas leñosas	0.09	*2	0.60	10.80%
Cultivos de cobertura	0.09	*1.16	0.60	6.30%
Obras de conservación de suelo y agua	0.09	*0.2	0.60	1.08%
Manejo de SSP	0.09		-	0

[Basche y DeLonge 2019](#)

Dato Base: 9 % anual (GIZ, 2017)

Premisas:

1. Cobertura arbórea duplica la reducción de erosión. $(0.09*2)$
2. Labranza cero incrementa infiltración 10% de la cobertura arbórea. $(0.09*2*0.1 [0.2])$.
3. Los cultivos de cobertura incrementan la infiltración un 58% de la cobertura arbustiva $0.09*2*0.58 [1.16]$.

Factor de incremento SSP: Infiltración hídrica

Categorías	Base (mm/ha año)	Ajuste	FP	Fi Infiltración
Labranza cero	4.00	*0.2	0.60	0.48
Introducción de plantas leñosas	4.00	*2	0.60	4.80
Cultivos de cobertura	4.00	*1.16	0.60	2.80
Obras de conservación de suelo y agua	4.00	*0.2	0.60	0.48
Manejo de SSP	4.00		-	0

[Basche y DeLonge 2019](#)

Dato Base: 4 mm/ha año (GIZ, 2017)

Premisas:

1. Cobertura arbórea duplica infiltración. $(4mm/ha*2)$
2. Labranza cero incrementa infiltración 10% de la cobertura arbórea. $(4mm/ha*2*0.1 [0.2])$.
3. Los cultivos de cobertura incrementan la infiltración un 58% de la cobertura arbustiva $4mm/ha*2*0.58 [1.16]$.

FIGURA 47. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN DE CATEGORÍA (CLASIFICACIÓN) DE CARBONO, INFILTRACIÓN HÍDRICA Y EROSIÓN DE SSP

En este contexto, es necesario conocer las prácticas que se realizan para definir la clasificación. Por ejemplo, en la Figura 48 se muestra una captura parcial de la clasificación de carbono, infiltración y erosión. En el caso de Carbono, las sub-unidades son clasificadas como SSP+ por tener dos prácticas que integran especies leñosas (cercas vivas y árboles de sombra en potreros) y en Manejo de SSP en donde solo se realizó pastoreo con rastrojo e incorporación de pasto mejorado. Para este mismo ejemplo, en el caso de infiltración y erosión las categorías corresponden a introducción de especies leñosas y cultivos de cobertura respectivamente (Figura 48)

MEDIDAS	O_PRAC_1	O_PRAC_2	O_PRAC_3	O_PRAC_4	Clasificación Carbono	Clasificación Infiltración y Erosión
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Árboles de sombra en potreros	Cercas vivas	Incorporación de pasto mejorado	NA	SSP+	Introducción de plantas leñosas
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching
Sistemas silvopastoriles	Pastoreo con rastrojos	Incorporación de pasto mejorado	NA	NA	Manejo de SSP	Cultivos de cobertura y/o mulching

FIGURA 48. INTEGRACIÓN DE CATEGORÍA DE CARBONO, INFILTRACIÓN HÍDRICA Y EROSIÓN EN BASE DE DATOS CONSOLIDADA

Una vez clasificadas las sub-unidades de SSP a estas se les asigna el valor respectivo de Fi según Figura 47. Debido a que cada sub-unidad tiene una superficie muy variable, el promedio simple no es representativo del proyecto y debe utilizarse el promedio ponderado según la superficie de cada medida de intervención. Es decir que el resultado de cada sub-unidad debe multiplicarse por la superficie de esta y la sumatoria del producto de todas las sub-unidades dividirse por el área total del proyecto. El uso de tablas dinámicas es recomendado para la estimación del impacto en los servicios ecosistémicos. En este contexto se debe estimar el impacto en cada servicio ecosistémicos utilizando las medias ponderadas de la línea base y la línea de impacto. La diferencia entre la línea de impacto y la línea base corresponde al impacto en el período, por lo que el impacto anual se estima dividiendo el impacto del período por el número de años (entre línea base y línea de impacto). Es fundamental estimar además la línea base promedio (ponderado) de todas las medidas de restauración que se reporta a nivel de proyecto. En la Figura 49 se presenta el detalle de las estimaciones que se deben realizar por cada servicio ecosistémico.

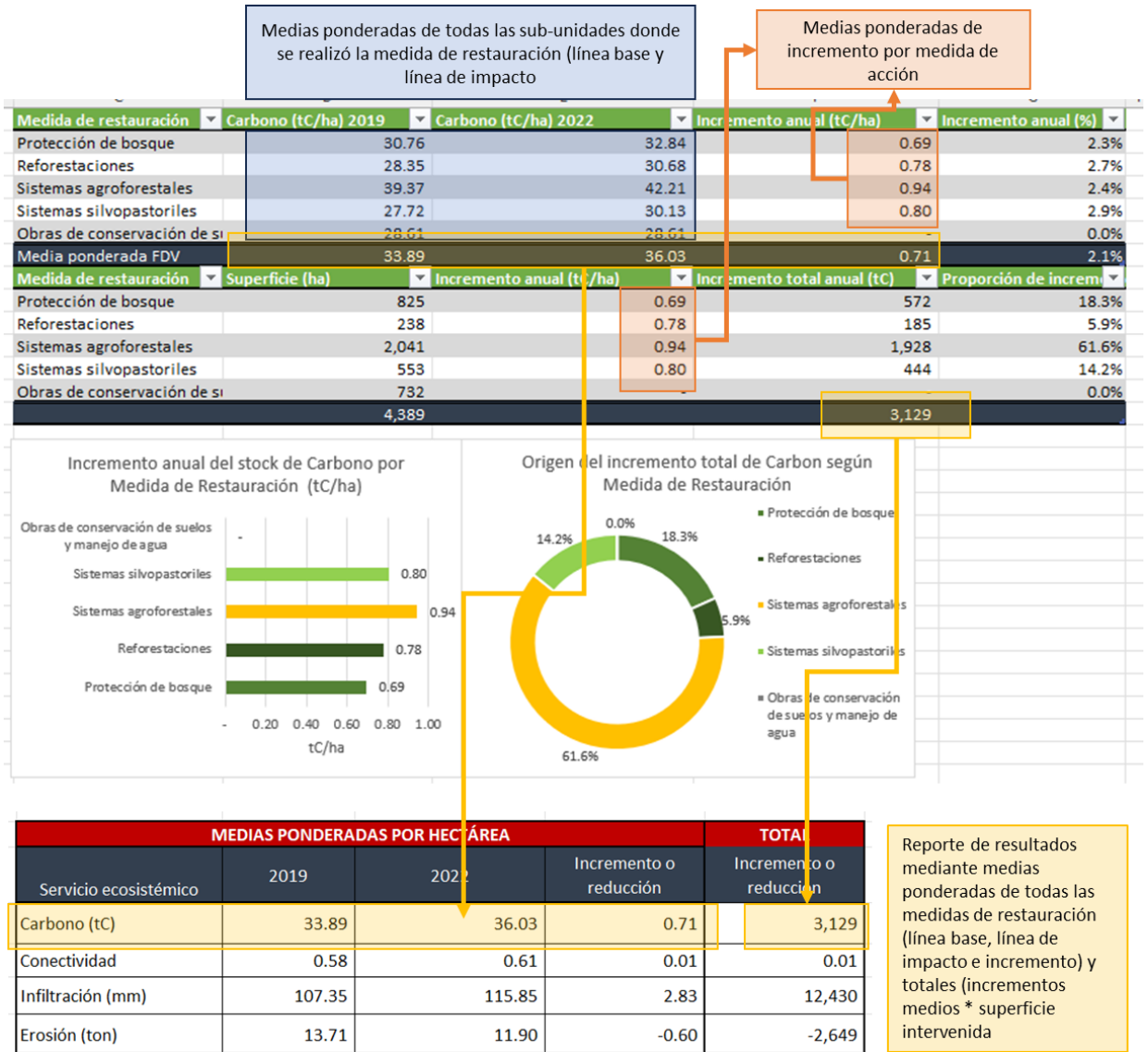


FIGURA 49. ESTIMACIÓN DE RESULTADOS A NIVEL DE PROYECTO.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert et al. 2016. Applying ecosystem services indicators in Landscape planning and management: The ES- in-Planning framework. *Ecological Indicators*, 61:100-116. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X15001533>
- Almeida W.S., Panachuki, E., et al., 2018. Efecto of soil tillage and genetal cove ron soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*. 175: 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>
- Ameray, A., Bergeron, Y., Valeria, O. et al. Forest Carbon Management: a Review of Silvicultural Practices and Management Strategies Across Boreal, Temperate and Tropical Forests. *Curr Forestry Rep* 7, 245–266 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00151-w>
- Basche, A., DeLonge, M. 2019. Comparin infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods. A meta-analysis. *Plos One*.14:9. e0215702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
- Carvalho, d.F. E.N. Eduardo, W.S. Almeida, L.A.F. Santos, T. Alves Sobrinho Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems *Rev. Bras. de Eng. Agric. e Ambiental*, 19 (2015), pp. 1076-1082
- CEPAL, 2009. Guía Metodológica para Desarrollar Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sostenible en Países de América Latina y el Caribe. 129 p. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/8_manual-61-cepal_formatoserie_color.pdf
- Egoh. B. et al. 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. JRC Publications Repository. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC73016>
- Feld et al. 2009. Indicators of biodiversity and ecosystem services: a synthesis across ecosystems and spatial scales. *Oikos*, 118: 1862-1871. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0706.2009.17860.x>
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Sons.
- Gertler, Paul J., Sebastián Martínez, Patrick Premand, Laura B. Rawlings y Christel M. J. Vermeersch. 2017. *La evaluación de impacto en la práctica*, Segunda edición. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo y Banco Mundial. doi:10.1596/978-1-4648-0888-3. Licencia de atribución: Creative Commons CC BY 3.0 IGO. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/la-evaluacion-de-impacto-en-la-practica-segunda-edicion>
- 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. Programa del Fondo de Desarrollo Verde (FDV) para la región SICA/REDD+. Elaborado por: Flores, E; Jiménez A; Duarte E.. San Salvador, El Salvador. 2020

- GIZ. 2017- Conservación de Bosques Tropicales y Manejo de Cuencas en la Región del Trifinio. Proyecto Bosques y Agua. Disponible en: https://www.giz.de/en/downloads/Informacion_Bosques_y_Agua.pdf
- Gurovich, L. A. (1985). Infiltración de agua en el suelo y su influencia en la economía del agua de riego. Agricultura técnica, 45(2), 89-96
- Haruna. S.I., Nkongolo, N.V., Anderson, S.H., Eivazi, F., y Zaibon, S 2018.. In situ infiltration as influences by covercrop and tillage. Journal of Soil and Water Conservation March 2018, 73 (2) 164-172; DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.73.2.164>
- Harrison, P.A., Dunford, R., Barton, D.N., Kelemen, E., Martín-López, B., Norton, L., Termansen, M., Saarikoski, H., Hendriks, K., Gómez-Baggethun, E., Czúcz, B., García- Llorente, M., Howard, D., Jacobs, S., Karlsen, M., Kopperoinen, L., Madsen, A., Rusch, G., van Eupen, M., Verweij, P. and Zulian, G. 2018. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach. Ecosystem Services 29, pp. 481–498.
- Hilty, J. A., Lidicker, W. Z., & Merenlender, A. M. (2006). Corridor ecology: Linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press.
- IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva, Switzerland. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html
- Jiménez-Moreno et al. 2019. Analysis of space-time environmental indicators of water, soil and vegetation. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10:7. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n7/2007-0934-remexca-10-07-1641-en.pdf>
- Pandapotan S., et al., 2016. Estimation of Carbon Stock Stands using EVI and NDVI vegetation index in the production foresto f lembah Seulawah sun-district, Aceh Indonesia. Aceb. Int. J. Sci. Technol., 5:3, 126-139.
- OPR, 2021. División de Políticas y Resultado Operacionales. Directrices de evaluación de los indicadores básico de efectos directos (COI).
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Wu, J., & David, J. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. Ecological Modelling, 153(1-2), 7-26.
- Jenson, S. K., y J. O. Domingue. 1988. "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593–1600.