

**Producto N°2: Informe sobre variables ambientales obtenidas para
modelado en formato raster**

**Proyecto CONACYT PINV01-528: “Inteligencia artificial aplicada a la
predicción de la distribución espacio-temporal de vectores de importancia
médica con enfoque de "Salud única”**

Autores:

Ing. Amb. Carlos Giménez,

Dr. Luis Salgueiro

2025.08.26

ÍNDICE

1.	Introducción	6
2.	Actividades realizadas.....	7
2.1.	Desarrollo de aplicación para procesamiento de imágenes satelitales	7
2.2.	Generación de datos de sensores remotos a escala nacional	10
2.2.1.	Parametrización de datos.....	12
2.2.2.	Definición de funciones:.....	12
2.2.3.	Procesamiento de áreas.....	13
2.3.	Resultados	13
2.4.	Generación de variables adicionales	16
2.4.1.	Grilla de subdivisión territorial	16
2.4.2.	Precipitación	18
2.4.3.	Temperatura anual promedio en el periodo 1991-2019	19
2.4.4.	Datos de WorldClimb	20
2.4.5.	Elevación y pendiente	21
2.4.6.	Uso y cobertura del suelo	22
2.4.7.	Formaciones forestales.....	24
2.4.8.	Formaciones forestales de más de 100 hectáreas.....	24
2.4.9.	Áreas protegidas	24
2.4.10.	Áreas certificadas bajo el régimen de servicios ambientales	24
2.4.11.	Comunidades indígenas	25
2.4.12.	Áreas urbanas a partir de manzanas del INE 2022	25
2.4.13.	Áreas urbanas OSM e INE 2022.....	25
2.4.14.	Redes viales	25
2.4.15.	Ecosistemas acuáticos lóticos(ríos y arroyos).....	25
2.4.16.	Taxonomía del suelo.....	26
2.4.16.1.	Taxonomía del suelo en la Región Oriental.....	26
2.4.16.2.	Taxonomía del suelo en la Región Occidental.....	27
2.4.17.	Variables de distancia	28
2.4.17.1.	Distancia a áreas urbanas	28
2.4.17.2.	Distancia a áreas urbanas, comerciales e industriales.....	28
2.4.17.3.	Distancia a formaciones forestales de más de 100 hectáreas.....	29
2.4.17.4.	Distancia al borde dentro de formaciones boscosas de más al menos 1 ha.....	29
2.4.17.5.	Distancia al borde dentro de formaciones boscosas de más de 100 ha	29
2.4.17.6.	Distancia a ecosistemas acuáticos lóticos.....	29

2.4.17.7.	Distancia a la red vial.....	29
2.5.	Próximos pasos	30
2.6.	Bibliografía.....	31
2.7.	Anexos	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz de la aplicación para la generación de datos de sensores remotos.....	7
Figura 2. Procesos principales en la generación de datos de sensores remotos a través de la aplicación.....	9
Figura 3. Grilla de procesamiento de imágenes satelitales de 25km ²	11
Figura 4. Moisaco de datos Sentinel 2 elaborados con una resolución de 500.	14
Figura 5. Moisacos de datos Sentinel 2 de índices de vegetación obtenidos para el primer trimestre de 2019.	15
Figura 6. Grilla de cómputo de datos de 100x100 km.....	17
Figura 7. Precipitación anual promedio en Paraguay en el periodo 1994-2024.....	18
Figura 8. Precipitación anual promedio en Paraguay en el periodo 1991-2019.....	19
Figura 9. Mapa de taxonomía de suelos de la región Oriental.....	27
Figura 10. Mapa de taxonomía de suelos del Chaco	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables generadas a partir de los datos del satélite Sentinel 2.....	7
Cuadro 2. Variables de WorldClimb.....	20
Cuadro 3. Clases de uso y cobertura de la tierra de la colección 2 de MapBiomas Paraguay.....	22

1. Introducción

El proyecto CONACTY PINV1-528: Inteligencia artificial aplicada a la predicción de la distribución espacio-temporal de vectores de importancia médica con enfoque de "Salud única, tiene por objetivo el generar modelos predictivos espaciales y temporales en alta resolución para vectores de importancia médica teniendo en cuenta el enfoque de "Salud Única". En este marco el proyecto busca evaluar y utilizar datos de sensores remotos de media/alta resolución espacial y temporal, como son los datos de la constelación de satélites Sentinel 2.

Es así que, se ha desarrollado una aplicación parametrizada en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para el procesamiento semi-automático de datos satelitales, con la que es posible filtrar imágenes por área de estudio, rango de fechas, cobertura de nubes y aplicar estadísticas espaciales deseadas, agrupaciones temporales y filtros espaciales para la generación de datos a ser utilizados como variables predictoras dentro de modelos de nicho ecológico y otras aplicaciones que ocupen datos de imágenes satelitales.

Adicionalmente, y a fin de generar datos a nivel del territorio de Paraguay para modelados a escala nacional, se ha desarrollado un script en Python que aprovecha la API de GEE para el procesamiento por lotes de una grilla de 25x25km utilizada para la generación de datos. A partir de estos, se han generado conjuntos de datos por trimestres para el periodo 2019-2023. Estos datos constan de 77 bandas que resumen la información de los satélites de Sentinel 2 de manera temporal (media, mediana, máximos, mínimos y desviación estándar) y espacial (Grilla MODIS de 500 metros de resolución)

Finalmente es importante mencionar la generación adicional de datos de variables predictoras a fin de explorar su relevancia en el proceso de modelado. Estas variables fueron obtenidas para toda la extensión territorial de Paraguay, siendo agrupadas en variables climáticas, constantes y variables de distancia. Entre algunas variables generadas se encuentran: temperatura media anual, cobertura de la tierra anual en el periodo 1985 – 2023, áreas urbanas, parches de bosque, áreas protegidas, áreas certificadas por servicios ambientales, comunidades indígenas, distancia a red hídrica, distancia a rutas, distancia al borde del bosque, entre otras.

En el presente informe se describe la generación de las variables adicionales, así como también el uso de la aplicación para la generación de datos de sensores remotos. Finalmente, se presentan los futuros pasos y sugerencias con relación al desarrollo de estas variables, y de la misma aplicación.

2. Actividades realizadas

2.1. Desarrollo de aplicación para procesamiento de imágenes satelitales

Se ha desarrollado una aplicación en la plataforma Google Earth Engine (GEE) la cual combina un catálogo multipetabyte de imágenes satelitales y conjuntos de datos geospaciales con capacidades de análisis a escala planetaria. GEE es una plataforma ampliamente utilizada a nivel global y cuenta con licencia de uso gratuita para proyectos académicos y de investigación (Google, 2025). Así mismo, GEE cuenta con una comunidad muy activa y documentación robusta. Finalmente, GEE cuenta con APIs en JavaScript y Python, así también como paquetes en R lo que permite su aprovechamiento multiplataforma.

La aplicación ha sido desarrollada a través de la API en JavaScript de GEE, lo cual permite la implementación de una interfaz de usuario de manera sencilla y disponible para el uso público sin la necesidad de un desarrollo e implementaciones complejas (Figura 1). La primera versión o versión beta cuenta con su repositorio en git a la cual es posible acceder a través del siguiente [enlace](#).

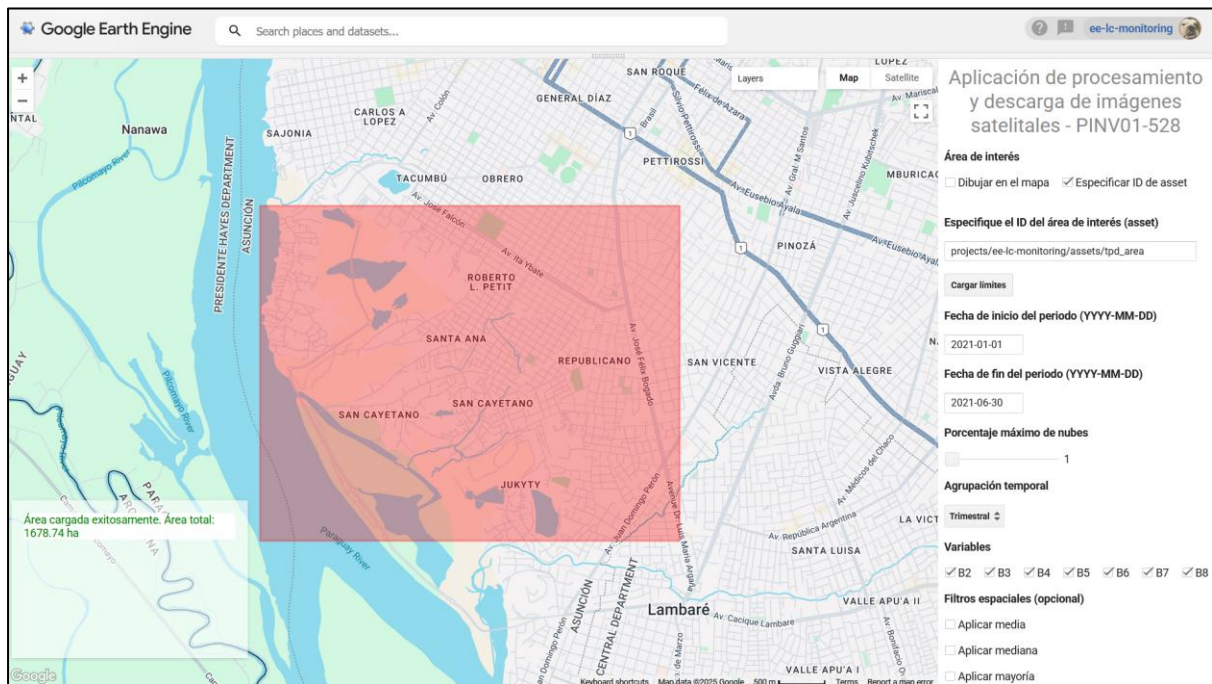


Figura 1. Interfaz de la aplicación para la generación de datos de sensores remotos.

Fuente: Elaboración propia

La aplicación permite la descarga de imágenes formato “.TIF” conteniendo las estadísticas a nivel del píxel de variables obtenidas de imágenes satelitales Sentinel 2 espectrales e índices de vegetación de un periodo de análisis, en una región específica, opcionalmente se pueden generar también imágenes suavizadas o filtradas espacialmente.

En el siguiente cuadro se presentan las variables consideradas:

Cuadro 1. Variables generadas a partir de los datos del satélite Sentinel 2

Variable	Tipo	Rango típico	Resolución nativa	Descripción
Banda 2	Datos espectrales	0 - 0.4	10m	Azul - 496.6nm (S2A)/ 492.1nm (S2B)

Variable	Tipo	Rango típico	Resolución nativa	Descripción
Banda 3	Datos espectrales	0 - 0.4	10m	Verde - 560nm (S2A)/ 559nm (S2B)
Banda 4	Datos espectrales	0 - 0.4	10m	Rojo - 664.5nm (S2A)/ 665nm (S2B)
Banda 5	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Límite del rojo 1 - 703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)
Banda 6	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Límite del rojo 2 - 740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)
Banda 7	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Límite del rojo 3 - 782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)
Banda 8	Datos espectrales	0 - 0.4	10m	Infrarojo cercano - 835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)
Banda 8A	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Límite del rojo 4 - 864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)
Banda 9	Datos espectrales	0 - 0.4	60m	Vapor de agua - 945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)
Banda 11	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Infrarojo de onda corta 1 - 1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)
Banda 12	Datos espectrales	0 - 0.4	20m	Infrarojo de onda corta 2 - 2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)
NDVI	Índice espectral	-1 a +1	10m	Índice de vegetación normalizada
SAVI	Índice espectral	-1 a +1	10m	Índice de vegetación normalizada ajustado al suelo
NDBI	Índice espectral	-1 a +1	20m	Índice de Diferencia Normalizada de Áreas Construidas
NDWI	Índice espectral	-1 a +1	10m	Índice de Diferencia Normalizada de Agua

Fuente: Adaptado de PLANET LABS (2025).

Las variables espectrales mencionadas en la cuadro 1 son generadas para cada unidad temporal definida por el usuario a través de la interfaz. La aplicación toma los parámetros de filtrado proporcionados por el usuario (áreas de estudio, periodo, cobertura de nubes) y genera una colección de imágenes que cumplen con los parámetros establecidos, luego las imágenes dentro de dicha colección son reagrupadas en nuevas colecciones dependiendo de la unidad temporal seleccionada (Semanas ISO, trimestral o el periodo completo). Por ejemplo, si el periodo fuera el año 2024, se generarían 4 colecciones, cada una con las imágenes correspondientes a cada trimestre. Posteriormente, se aplican las funciones de enmascaramiento de nubes y sombras a cada una de las imágenes de cada colección, de acuerdo con la banda de calidad QA60, en donde se enmascaran los datos correspondientes a nubes opacas y cirrus. Los huecos generados

por el enmascaramiento son rellenos por le mediana del trimestre o del periodo completo dependiendo de la unidad temporal seleccionada (Figura 2).

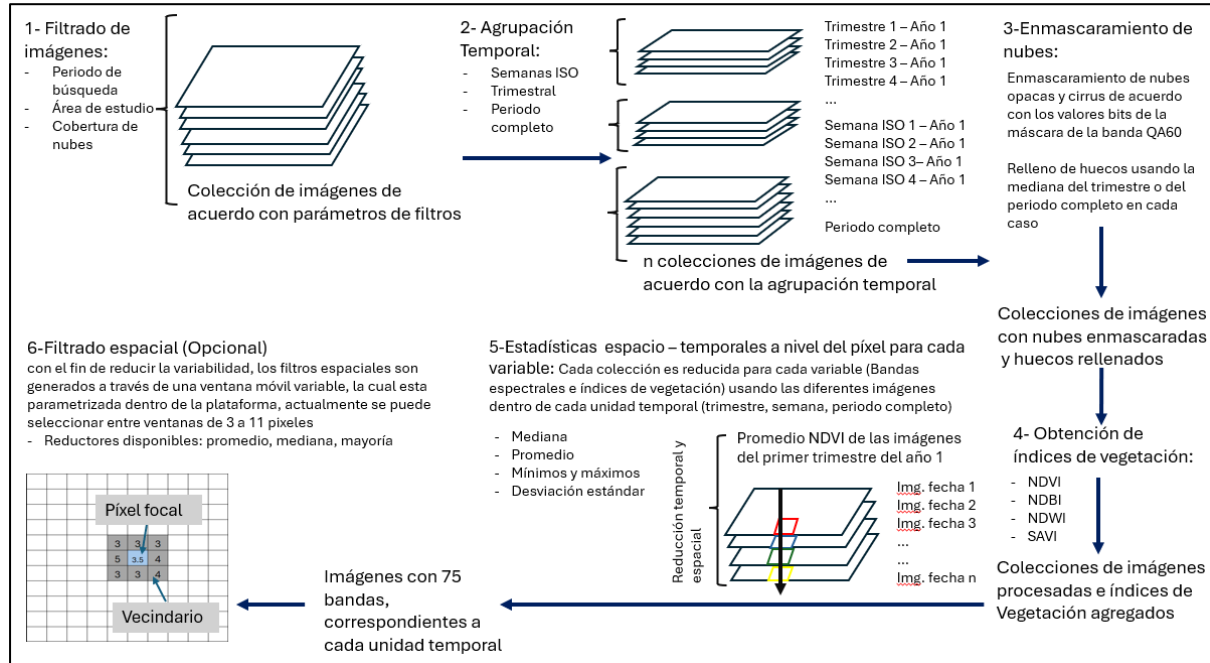


Figura 2. Procesos principales en la generación de datos de sensores remotos a través de la aplicación.

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las colecciones procesadas por nubes, se aplican funciones para la obtención de los índices de vegetación de cada imagen, previamente se realiza un re-escalado de los valores espectrales de las imágenes puesto que estas se encuentran escaladas originalmente por 10.000. Finalmente, se obtienen las medidas de tendencia central de cada variable, dentro de cada colección, a nivel del píxel, es decir, el resultado de cada píxel se compone del valor obtenido para cierta medida de tendencia, por ejemplo, el promedio, de valores de los píxeles de una determinada variable, en esa ubicación. Cada medida de tendencia central de las variables constituye una imagen y finalmente una variable dentro de la pila de imágenes resultante.

Adicionalmente, se pueden generar pilas de imágenes suavizadas utilizando ventanas móviles y tres reductores disponibles (media, mediana y mayoría). Estas ventanas se van aplicando a un píxel focal con el fin de reducir la variabilidad espacial de los datos de cada variable, resultando en una copia suavizada de los resultados originales para cada reductor seleccionado, es decir si se seleccionan los tres reductores se obtendrán cuatro pilas de imágenes: los datos originales procesados, datos filtrados espacialmente usando la media, la mediana y la mayoría.

Procesamiento local con R

Como se ha mencionado anteriormente, la aplicación produce imágenes en formato “.TIF”, las cuales, dependiendo del software utilizado para procesamiento adicionales, pueden ser o no compatibles con dicho software, por lo cual se ha desarrollado un script en R para el procesamiento adicional de estas imágenes, en donde, el objetivo es obtener archivos nombrados de acuerdo con una nomenclatura específica estandarizada.

El script presenta una estructura en donde primeramente se deben definir ciertos parámetros:

- `aoi`: El directorio y nombre del archivo vectorial correspondiente al área de estudio o interés. Esta variable tiene mas que nada fines comparativos.
- `folder_to_load`: Directorio en donde se encuentran los archivos “.tif” generados por la aplicación de Google earth engine
- `folder_to_export`: Directorio en donde se desea se creen los nuevos archivos ascii y tif.
- `raster_stack_to_process_name`: Nombre del archivo .tif descargado, el cual servirá de fuente de datos, es importante incluir el formato del archivo, por ejemplo: "Quarterly_Q3_Year_2024.tif"
- `spatially_filtered_raster_stack_to_process_name`: Nombre del archivo .tif descargado correspondiente a los datos espacialmente filtrados, el cual servirá de fuente de datos para los archivos espacialmente filtrados, es importante incluir el formato del archivo, por ejemplo: "Quarterly_Q3_Year_2024_spf_mean_Filtered.tif".
- `window_size`: Que tamaño de ventana se utilizó para el filtrado espacial. Se ha adoptado la siguiente nomenclatura. Por ejemplo: ventanas de 3x3 píxeles “x3”, ventanas de 5x5 “x5”.
- `filter_type`: Para tipo de filtro espacial, se ha establecido: promedio “mean”, median “median”, mayoría “mode”.
- `period_ini`: Fecha de inicio del periodo de búsqueda de imágenes en el formato DD-MM-YYYY
- `period_end`: Fecha de fin del periodo de búsqueda de imágenes en el formato DD-MM-YYYY
- `temp_aggr`: Unidad temporal de agregación de datos, puede ser “quarter” para trimestres, “iso_week” para semanas ISO, “other” para periodo completo.
- `cc`: valor máximo de cobertura de nubes utilizado dentro de la aplicación en GEE para filtrar las imágenes

Una vez definidos los parámetros, el script generará los nombres de archivos para exportar, creará los directorios indicados en los parámetros, específicamente dos directorios, “geo_stif_stack” para los archivos “.tif” generados y la carpeta “ascii” para los archivos “.ascii” generados, que normalmente comprenden 1 archivo por banda.

Posteriormente, el script cargará a la memoria las fuentes de datos e iniciará el cambio de nombres de banda para cada variable de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- Para datos originales: Variable + medida de tendencia central
 - Ejemplos: "B2_mean", "B3_mean", "NDVI_mean", "NDVI_stdDev"
- Para datos espacialmente filtrados: spf + tamaño del filtro + medida de tendencia utilizada + Variable + medida de tendencia central utilizada en la reducción temporal
 - Ejmplos: "spf_x3_mean_B2_mean", "spf_x3_mean_NDWI_median"

2.2. Generación de datos de sensores remotos a escala nacional

La aplicación desarrollada cuenta con limitaciones al funcionar dentro de la plataforma online de GEE (API de JavaScript), principalmente el procesamiento a escalas muy grandes como lo es la del territorio de Paraguay. Teniendo esto en cuenta, se ha desarrollado un [script en Python](#) a través del cual es posible utilizar la API de GEE para generar los datos. Este script fue específicamente desarrollado para iterar sobre grillas de 25x25km con un solape de 2 km en un periodo de tiempo definido como uno de los parámetros que el usuario debe ingresar.

La ventaja del mismo sobre el uso de la aplicación es principalmente la de la iteración sobre un gran número de polígonos almacenados en una colección, lo que soluciona problemas como capacidades y límites de cómputo y la supervisión continua del usuario.

Es así que se han generado datos trimestrales para el periodo 2019-2023 a una resolución de 500 m basada en la grilla del producto MODIS Land Cover (Friedl & Sulla-Mensahe, 2022). Para la agregación de datos se implementó el promedio de píxeles del satélite Sentinel 2 abarcados por cada píxel de MODIS. Por motivos de optimización del cómputo de datos, se utilizó una grilla de 25x25 km (852 unidades) con una superposición de 2 km para la generación de los datos mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE) y los datos generados fueron escalados multiplicándolos por 10.000.

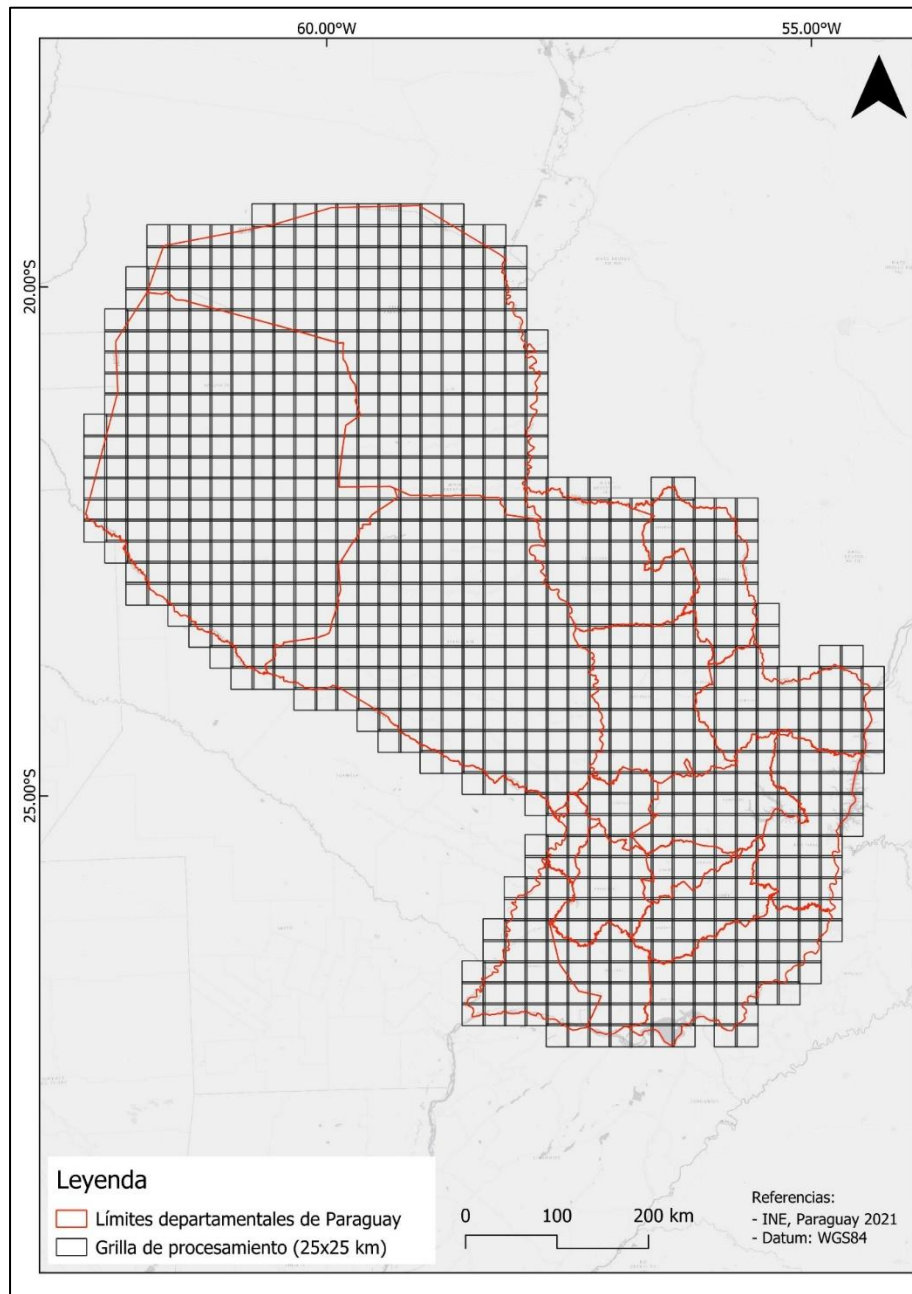


Figura 3. Grilla de procesamiento de imágenes satelitales de 25x25 km con 2km de solapamiento.
Fuente: Elaboración propia

El script cuenta con los siguientes pasos:

2.2.1. Parametrización de datos

El usuario define los parámetros como colecciones de datos a utilizar, grilla sobre la que basar la reproyección, grilla de procesamiento, periodo de análisis, cobertura máxima de nubes, entre otros según se describen abajo:

- collection_name
- cloud_prob_collection_name
- modis_image
- aoi_asset_id
- aoiCollection
- startDate
- endDate
- cloudCoverMax
- CLOUD_PROB_THRESHOLD
- NIR_DARK_THRESHOLD
- CLOUD_PROJECTION_DIST
- cloud_cover_max_fill
- REFERENCE_YEAR_FOR_FILLING
- Available_bands
- Available_indices
- selectedVars
- exportFolder
- exportScale

2.2.2. Definición de funciones:

- rescaleBands: reescala los valores de las bandas correspondientes de cada imagen a valores de reflectancia original teniendo en cuenta que los valores de la colección utilizada se encuentran originalmente reescalados por 10.000
- addDateProperties: Genera propiedades temporales a nivel de cada imagen
- maskCloudsAndShadows: Enmascara las nubes y sombras de la colección Sentinel 2 Surface reflectance utilizando un procesamiento avanzado que incluye el uso de la probabilidad de nubes de la capa Sentinel-2: Cloud Probability la cual es generada utilizando la librería sentinel2-cloud-detector y la capa de clasificación de la escena (SCL por sus siglas en inglés) <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-products>. El proceso incluye (1) la generación de una máscara de nubes a partir de la identificación de píxeles con nubes utilizando la capa SCL y el umbral de probabilidad utilizado para la capa de probabilidad de nubes, una vez identificadas las nubes potenciales se aplica una dilatación de 1 pixel a fin de eliminar efectos de borde. (2) Luego se identifican los píxeles oscuros excluyendo los píxeles de agua identificados a partir de la SCL. El área de identificación de sombras de nubes es proyectado de acuerdo con los datos de la imagen utilizando el parámetro CLOUD_PROJECTION_DIST el cual especifica la distancia en número de píxeles (50). (3) Los píxeles abarcados por la máscara de sombras teórica, son filtrados de acuerdo con el umbral de reflectancia en la región del Infrarrojo cercano (NIR_DARK_THRESHOLD), agua de la SCL y vegetación densa utilizando un umbral de NDVI

de 0.4. (4) Las máscaras de nubes y sombras se combinan y se aplican a la imagen en cuestión, finalmente la máscara combinada se añade como banda adicional.

- `fillVoidsByReferenceYear`: función para rellenar los huecos generados en cada imagen, utilizando la mediana del año de referencia compuesto por imágenes filtradas para el área de estudio con una cobertura máxima de nubes de acuerdo al parámetro `"cloud_cover_max_fill"`.
- `addIndices`: Se añaden los índices de vegetación (NDVI, NDWI, NDBI, SAVI) calculados con los datos reescalados a valores originales.
- `getDerivedBandNames`: Esta función es un generador de nombres automático. Su único trabajo es crear una lista larga de nombres de bandas combinando una lista de nombres base con una lista de sufijos estadísticos.

2.2.3. Procesamiento de áreas

En donde el script ha sido diseñado para iterar sobre un conjunto de áreas, en este caso las grillas en las que se ha dividido a Paraguay. De esta manera, el script toma cada una de las grillas y repite el siguiente proceso

- Filtrado de imágenes según el área de cobertura de la grilla y los datos temporales
- Obtención y combinación de datos de colecciones gemelas para el filtrado de nubes. Aplicación de funciones para el reescalado de bandas y obtención de propiedades temporales a nivel de cada imagen
- Cuenta de imágenes por píxel y contenido total de imágenes para el área en cuestión
- Enmascaramiento de nubes y sombras y rellenado
- Obtención de índices de vegetación
- Cálculo de estadísticas temporales a lo largo de toda la colección y variables
- Combinado de stack de imágenes de cada estadística obtenida y adición de las propiedades temporales
- Obtención de parámetros geográficos de la grilla de MODIS para la reproyección de los datos posteriormente
- Reescalado de bandas por 10000 a fin de optimizar el almacenamiento
- Adición de bandas de conteo de imágenes y máscaras de nubes y sombras del periodo.
- Generación y exportación del listado de imágenes procesadas
- Reproyección y remuestreo (promedio de píxeles) de las imágenes para alineación con grilla de datos MODIS a una resolución de 500m
- Exportación de imágenes de acuerdo con la nomenclatura establecida

Problemas conocidos

Al ser datos agregados espacialmente, es decir de pasar de resoluciones de 10, 20 y 60 metros a 500 m, los datos son promediados de acuerdo con los píxeles cubiertos, por lo que representan estadísticas espaciales de los datos tomados por el satélite.

Cuando se trabaja con un gran número de grillas o unidades espaciales, es importante hacer una verificación de los datos generados, a fin de verificar la ausencia de datos de ciertas grillas (por sobrecarga de la plataforma).

2.3. Resultados

Se han generado un total de 852 rasters de 25x25km con un solape de 2km y 77 bandas para cada trimestre del periodo 2019-2023 a una resolución de 500 metros, adicionalmente se generó un mosaico por trimestre totalizando esto 17.060 rasters (17.055 grillas y 5 mosaicos).

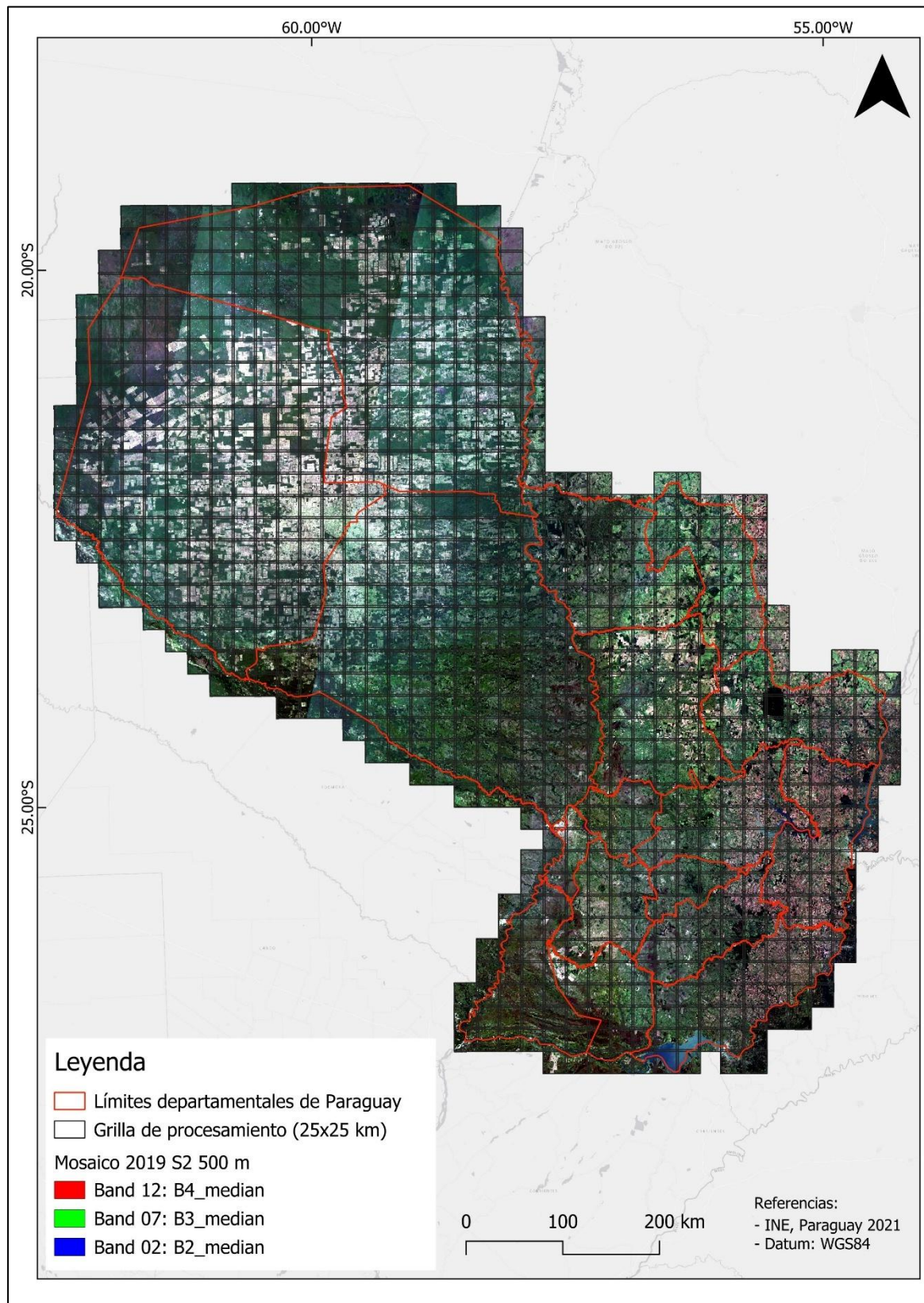


Figura 4. Mosaic de datos Sentinel 2 elaborados con una resolución de 500.
Fuente: Elaboración propia.

Se pusieron a disposición ambos formatos (conjuntos de grillas y mosaicos), teniendo en cuenta las potenciales diferentes escalas de análisis (nacional, departamental, distrital, entre otros).

Para el caso de los datos en formato grilla, la nomenclatura de cada grilla es la siguiente:

Periodo_YYYY_MM_DD_to_YYYY_MM_DD_GRID_ID

Por ejemplo, para el primer trimestre del año 2019 y la grilla con id 20J_24_01, el nombre del archivo sería “Periodo_2019-01-01_to_2019-03-31_20J_24_01”, mientras que para el caso de los mosaicos se siguió el siguiente formato:

PRY_S2_500m_YYYY_trimestre

Por ejemplo, “PRY_S2_500m_2019_Q4” corresponde al mosaico de los datos generados para el cuarto trimestre de 2019.

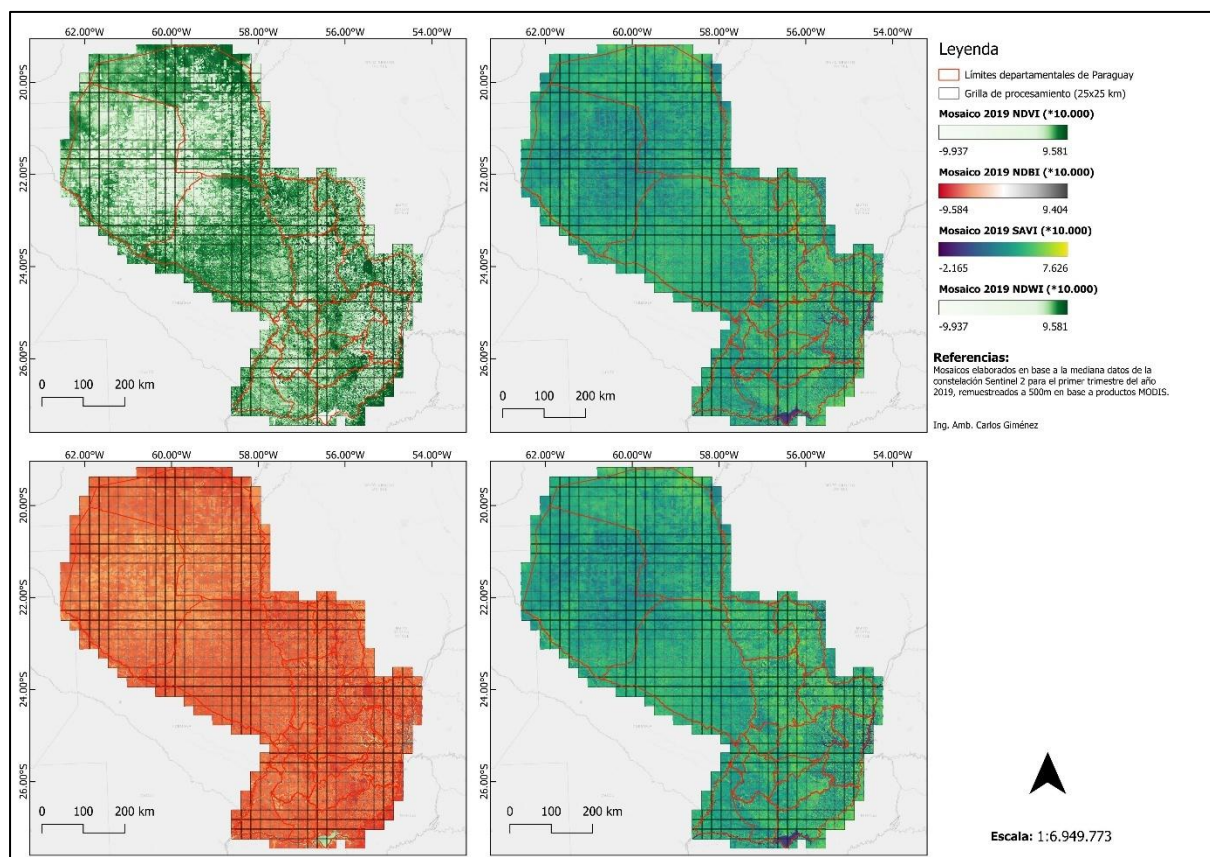


Figura 5. Mosaicos de datos Sentinel 2 de índices de vegetación obtenidos para el primer trimestre de 2019.

En la figura 5 se observa los valores del índice de NDVI, NDBI, NDWI y SAVI obtenidos, utilizando la reducción de mediana sobre los datos del primer trimestre del 2019.

2.4. Generación de variables adicionales

Es común la utilización de fuentes de datos descriptivos del medioambiente durante el modelado nichos ecológicos (ENM por sus siglas en inglés), estos conjuntos de datos describen las características de el espacio geográfico a través de diferentes variables ambientales (climáticas, topográficas, de suelo, uso del suelo, etc.). Es así que los diferentes métodos de modelado de nicho ecológico utilizan estas variables descriptivas en conjunto con los datos de ocurrencia (en algunos casos también ausencia) para establecer el nivel de similitud de las condiciones en los sitios de ocurrencia de las especies con el resto del espacio geográfico (Peterson y Soberón, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior se ha acopiado y procesado una gran variedad de conjuntos de datos de variables ambientales a escala del territorio de Paraguay, a fin de que puedan ser utilizados en conjunto con los datos generados por las imágenes satelitales y los datos de ocurrencia para el modelado de nicho ecológico en el marco del proyecto y como aporte del mismo para la comunidad científica. En el anexo 1 se presenta un listado detallado de las variables generadas.

2.4.1. Grilla de subdivisión territorial

A fin de contar con conjuntos de datos que puedan ser fácilmente procesados, se generó una grilla de subdivisión espacial, a través de la cual se procesaron varias variables y según la cual también se nombraron y almacenaron datos principalmente variables raster. La grilla consiste en cuadrados de 100x100 km con un solapamiento de 1 km, sumando un total de 61 cuadrantes cubriendo el territorio de la República de Paraguay y un área de influencia de 2 km de dichos límites (Figura 6).

Esta grilla permite obtener resultados que son almacenados como colecciones de imágenes, que pueden ser consultadas y procesadas, lo que optimiza el volumen de datos consultados y procesados al momento de consultar estos datos.

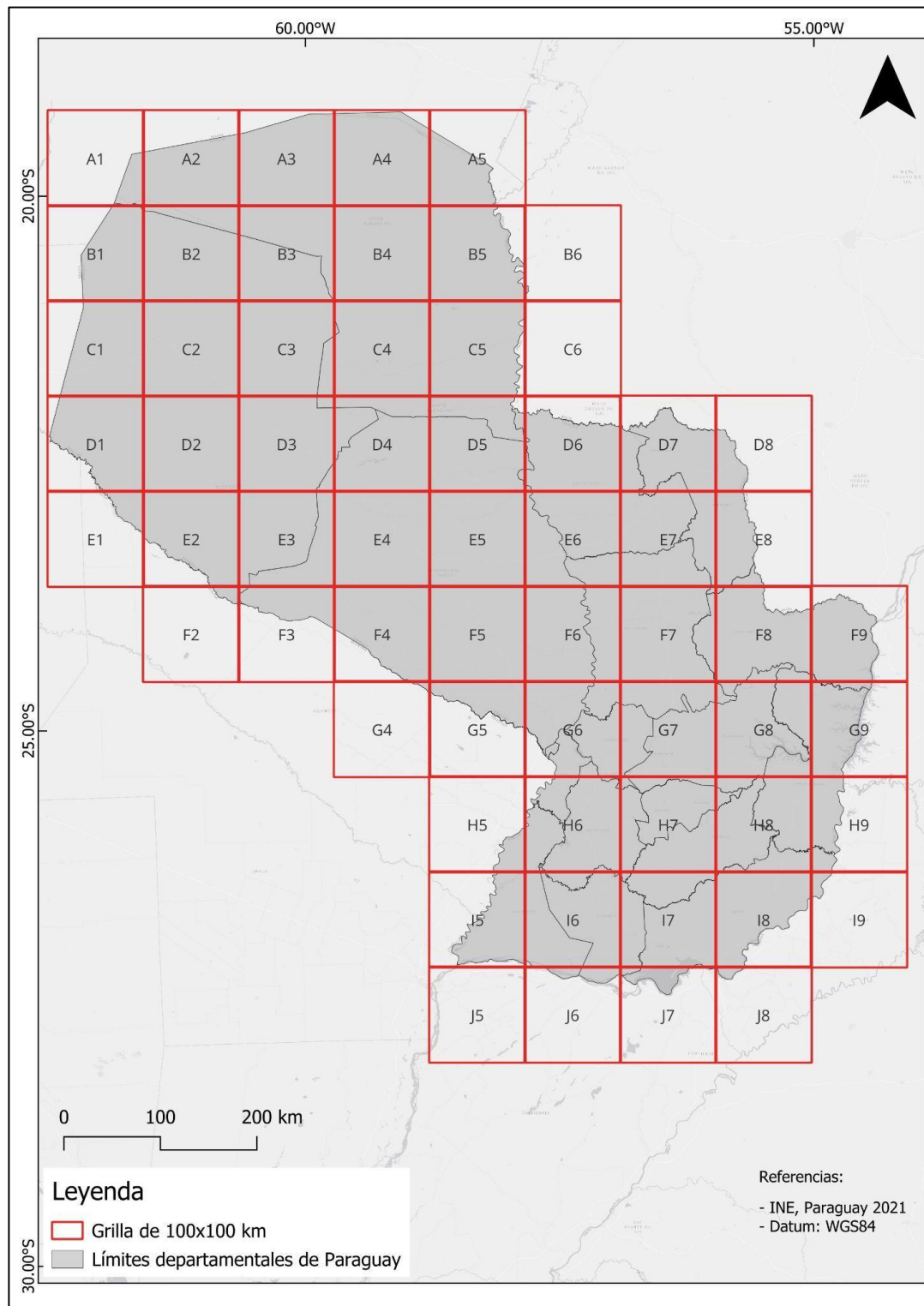


Figura 6. Grilla de cómputo de datos de 100x100 km
Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Precipitación

Los datos de precipitación fueron calculados utilizando la base de datos “CHIRPS Pentad: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data” dentro de la plataforma Google Earth Engine abarcando el periodo 01-01-1994 a 01-01-2024. Los datos resultantes corresponden al promedio anual de precipitación acumulada en milímetros.

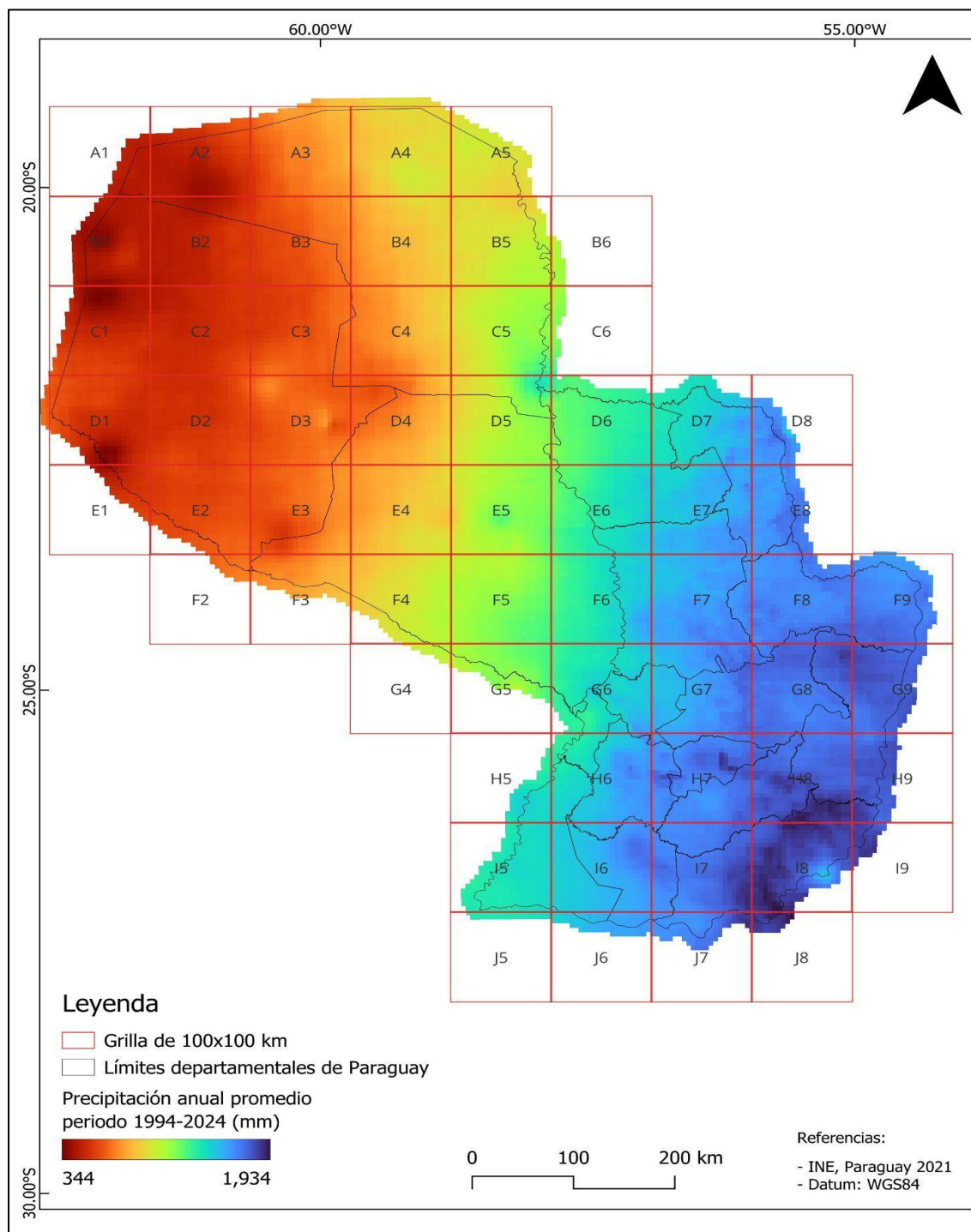


Figura 7. Precipitación anual promedio en Paraguay en el periodo 1994-2024

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Temperatura anual promedio en el periodo 1991-2019

Para la generación de datos de temperatura se utilizó el set de datos de ERA 5 - Land¹, el cual es un reanálisis climático desarrollado por el ECMWF (Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo). Concretamente, se utilizó la banda de temperatura del aire (2m) en Kelvin, la cual fue convertida a grados centígrados mediante la sustracción de 273,15.

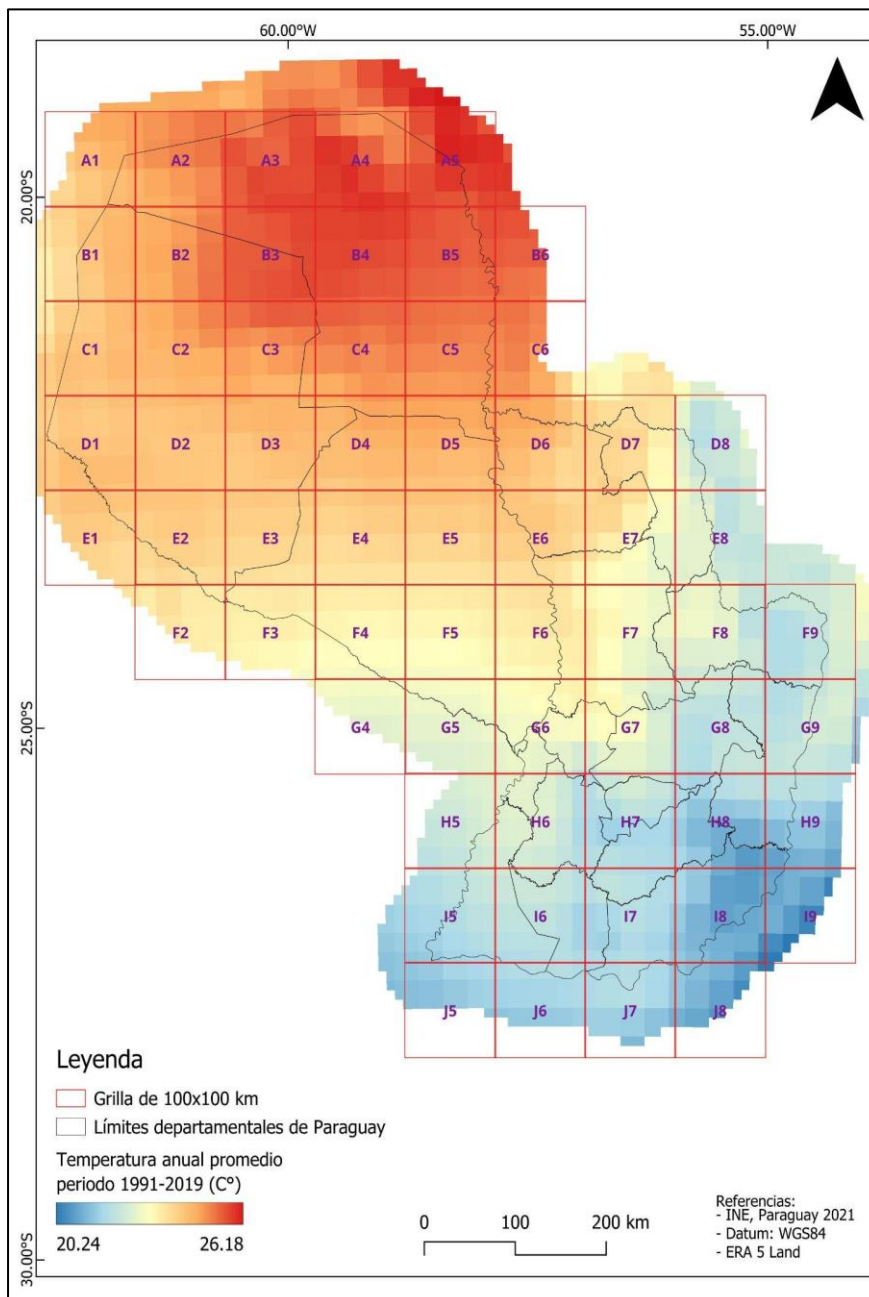


Figura 8. Precipitación anual promedio en Paraguay en el periodo 1991-2019

Fuente: Elaboración propia

¹ https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY?hl=en

2.4.4. Datos de WorldClim

Así mismo el conjunto de datos climáticos históricos de WorldClim versión 2.1² abarcando el periodo de 1970-2000, ha sido procesado cubriendo el área de Paraguay. Se incluyen datos climáticos mensuales de temperatura mínima, media y máxima, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, presión de vapor de agua y precipitación total. También se incluyen 19 variables bioclimáticas.

Las variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables con mayor relevancia biológica. Estas se utilizan a menudo en la modelización de la distribución de especies y técnicas de modelización ecológica relacionadas. Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales (p. ej., temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (p. ej., amplitud térmica anual) y factores ambientales extremos o limitantes (p. ej., temperatura del mes más frío y más cálido, y precipitación de los trimestres húmedo y seco). Un trimestre es un período de tres meses (1/4 del año) (Worldclimb, 2020).

En el siguiente cuadro se presenta el conjunto de variables utilizadas:

Cuadro 2. Variables de WorldClim

No	Variable	Descripción
1	prec	Precipitación mensual
2	tavg	Temperatura promedio mensual
3	tmax	Temperatura máxima mensual
4	tmin	Temperatura mínima mensual
5	wind	Velocidad del viento
6	vapr	Presión del vapor de agua
7	srad	radiación solar
8	BIO1	Temperatura Media Anual
9	BIO2	Rango Diurno Medio (Media mensual (temp. máxima - temp. mínima))
10	BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
11	BIO4	Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar $\times 100$)
12	BIO5	Temperatura Máxima del Mes Más Cálido
13	BIO6	Temperatura Mínima del Mes Más Frío
14	BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
15	BIO8	Temperatura Media del Trimestre Más Húmedo

² <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>

No	Variable	Descripción
16	BIO9	Temperatura Media del Trimestre Más Seco
17	BIO10	Temperatura Media del Trimestre Más Cálido
18	BIO11	Temperatura Media del Trimestre Más Frío
19	BIO12	Precipitación Anual
20	BIO13	Precipitación del Mes Más Húmedo
21	BIO14	Precipitación del Mes Más Seco
22	BIO15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
23	BIO16	Precipitación del Trimestre Más Húmedo
24	BIO17	Precipitación del Trimestre Más Seco
25	BIO18	Precipitación del Trimestre Más Cálido
26	BIO19	Precipitación del Trimestre Más Frío

2.4.5. Elevación y pendiente

Se añadieron 2 fuentes de datos de elevación: el SRTM v4 de 90 m y el TanDEM-X - Edited Digital Elevation Model (EDEM) - Global de 30m. De esta manera es posible para el usuario decidir qué fuente de datos utilizar dependiendo esto de sus preferencias.

El SRTM Digital Elevation Data Version 4 (SRTM v4) es un producto de datos de elevación digital desarrollado por la NASA y el USGS como parte de la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), lanzada en el año 2000. Este producto proporciona un modelo digital de elevación (DEM) con una resolución espacial de aproximadamente 90 metros (3 arc-seconds) para todo el mundo y de 30 metros (1 arc-second) para los Estados Unidos. El mismo utiliza datos obtenidos por radar interferométrico a bordo del transbordador espacial Endeavour.

Por su parte TanDEM-X (complemento TerraSAR-X para mediciones digitales de elevación) es una misión de radar de observación de la Tierra que consta de un interferómetro SAR integrado por dos satélites prácticamente idénticos que vuelan en formación cerrada. Con una separación típica entre los satélites de entre 120 y 500 m, se ha generado un Modelo Digital de Elevación (MDE) global.

El EDEM TanDEM-X de 30 m es una variante del Modelo Digital de Elevación (MDE) global, adquirido en el marco de la misión alemana TanDEM-X entre 2010 y 2014, y presenta una separación entre píxeles reducida de 1 segundo de arco (arsec), lo que corresponde a 30 m en el ecuador. El Instituto de Microondas y Radar del Centro Aeroespacial Alemán (DLR) desarrolló una edición automatizada para obtener una cobertura completa y nítida de todas las masas continentales de la Tierra de polo a polo (DLR, 2024).

2.4.6. Uso y cobertura del suelo

Se utilizó el conjunto de datos MapBiomias colección 5 (<https://paraguay.mapbiomas.org/mapas-de-la-coleccion/>), el cual proporciona mapas anuales de cobertura y uso del suelo a nivel nacional, con una resolución espacial de 30 metros y una cobertura temporal que abarca desde el año 1985 hasta el 2023, lo que permite analizar espacialmente y cuantificar cambios en la cobertura, tendencias de conversión de uso y patrones de dinámica territorial a lo largo del tiempo.

MapBiomias Paraguay cuenta con once clases en el nivel 2, el cual es el de mayor detalle en términos de cantidad de clases, a su vez estas clases son agrupadas en el nivel 1 el cual cuenta con 6 clases que describen la cobertura y el uso de la tierra de manera más general.

Los datos corresponden a rasters en formato “TIFF”, en donde los píxeles corresponden a enteros que representan las clases según se describe en el cuadro 2.

Cuadro 3. Clases de uso y cobertura de la tierra de la colección 2 de MapBiomias Paraguay.

NIVEL 1	NIVEL 2	Código de los píxeles	Descripción	Clasificación FAO (2012)
1. Vegetación Leñosa Natural	1.1 Leñosas cerradas	3	Coberturas dominadas por árboles y/o arbustos, no haciendo una distinción entre ellos y englobándolos en la categoría leñosa. Incluye solamente las cubiertas vegetales naturales o seminaturales con un estrato leñoso superior al 65% de cobertura del dosel.	FEP, FEM, FSP, FSM
	1.2 Leñosas abiertas	4	Coberturas dominadas por árboles y/o arbustos, no haciendo una distinción entre ellos y englobándolos en la categoría leñosa. Incluye solamente las cubiertas vegetales naturales o seminaturales con un estrato leñoso entre 65% y 15% de cobertura del dosel.	FSP
	1.3 Leñosas inundables	6	Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la napa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por árboles, arbustos y sabanas palmares o una transición entre éstas está influenciada significativamente	

NIVEL 1	NIVEL 2	Código de los píxeles	Descripción	Clasificación FAO (2012)
			por el agua y/o depende de inundaciones.	
2. Vegetación Herbácea Natural	2.1 Pastizales inundables	11	Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la napa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por herbáceas está influenciada significativamente por el agua y/o depende de inundaciones (ej.: esteros, bañados, cañadas, pantanos y lechos acuáticos).	OM
	2.2 Pastizal	12	Áreas con vegetación natural formada por herbáceas. En esta categoría se admite la presencia de leñosas, pero las mismas deben encontrarse en coberturas comprendidas entre el 1-5 y 20%.	OG, WG
3. Agropecuario	3.1 Pastura	15	Áreas con cultivos de especies herbáceas con destino forrajero (producción animal)	OP
	3.2 Agricultura	18	Dentro de esta categoría se incluyen cultivos de herbáceas anuales principalmente cereales y leguminosas para la producción de grano o fibras	OCA
	3.3. Forestaciones	9	Áreas con cultivos de árboles (ej: forestaciones de pinos, eucaliptos, plantaciones de cítricos y frutales).	FPB, FPC, FPM
4. Área sin vegetación		22	Son áreas con una cobertura artificial como por ejemplo construcciones, caminos, canteras. También incluye, áreas sin cobertura vegetal y que no presentan una cobertura artificial.	OB

NIVEL 1	NIVEL 2	Código de los píxeles	Descripción	Clasificación FAO (2012)
5. Cuerpos de agua		26	Esta clase corresponde a las áreas cubiertas por agua naturales (ríos, lagos) o artificiales (reservorio, canales, lagos artificiales, etc.)	IRP, IRS, IL, ID
6. No observado		27	Se atribuye a valores faltantes u otros errores que puedan surgir del proceso de clasificación.	

Fuente: Adaptado de Mapbiomas (2024)

2.4.7. Formaciones forestales

Esta capa consiste en los parches de formaciones forestales correspondientes a “Leñosas cerradas” y “leñosas inundables” de la capa de MapBiomas Paraguay colección 2 correspondiente al año 2023, cuyo tamaño es mayor o igual a 1 ha.

2.4.8. Formaciones forestales de más de 100 hectáreas

Esta capa consiste en los parches de formaciones forestales correspondientes a “Leñosas cerradas” y “leñosas inundables” de la capa de MapBiomas Paraguay colección 2, cuyo tamaño es mayor a 100 ha.

2.4.9. Áreas protegidas

Las áreas silvestres protegidas (ASPs) representan un estatus diferente de restricción de uso lo que deriva en una oferta potencial de recursos naturales y hábitat dependiendo del estado de conservación de estas. Los datos utilizados corresponden a la base de datos espacial de áreas silvestres protegidas del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) (MADES, 2022). Este conjunto de datos cuenta con 113 áreas protegidas y 3 áreas de reserva de biosfera distribuidas por todo el territorio de Paraguay.

Los datos fueron procesados a fin de obtener una capa raster binaria, donde el valor “1” corresponde a píxeles cubiertos por áreas protegidas y 0 a áreas no cubiertas por áreas protegidas. En la versión raster de los datos se excluyeron las reservas de biosfera.

2.4.10. Áreas certificadas bajo el régimen de servicios ambientales

Así como las ASPs, las áreas certificadas bajo el régimen de servicios ambientales (ACSA) presentan un estatus distinto de restricción de uso. Los datos utilizados corresponden a la base de datos espacial de áreas certificadas del MADES (MADES, 2022b).

Los datos fueron procesados a fin de obtener una capa raster binaria, donde el valor “1” corresponde a píxeles cubiertos por ACSAs.

2.4.11. Comunidades indígenas

Así como las ASPs, las comunidades indígenas se encuentran bajo un régimen distinto de restricción de uso. En este caso se cuenta con dos bases de datos distintas: INDI 2017 y FAPI 2024 (INDI, 2017; FAPI, 2024).

Los datos fueron procesados a fin de obtener una capa raster binaria, donde el valor “1” corresponde a píxeles cubiertos por comunidades indígenas y 0 a áreas no cubiertas por dichas áreas de acuerdo con ambas bases de datos.

2.4.12. Áreas urbanas a partir de manzanas del INE 2022

Esta capa representa las áreas urbanas de Paraguay concebidas como el área cubierta por la capa de manzanas de Paraguay generadas por el INE (2022). La capa de manzanas fue editada a fin de eliminar geometrías inválidas, posteriormente se aplicó un buffer de 200 m y se eliminaron los huecos residuales, finalmente se aplicó un buffer negativo de 200m

Los datos fueron procesados a fin de obtener una capa raster en donde el valor “1” corresponde a píxeles cubiertos por áreas urbanas y “no data” a áreas no cubiertas por áreas urbanas.

2.4.13. Áreas urbanas OSM e INE 2022

Esta capa representa las áreas urbanas de Paraguay concebidas como el área cubierta por la capa de manzanas de Paraguay generadas por el INE (2022) y áreas urbanas, industriales y comerciales extraídas de Open Street Map a junio de 2025. La capa de manzanas fue editada a fin de eliminar geometrías inválidas, posteriormente se aplicó un buffer de 200 m y se eliminaron los huecos residuales, finalmente se aplicó un buffer negativo de 150m

En relación con los datos de OSM, los polígonos obtenidos fueron verificados, se corrigieron geometrías inválidas y se calculó el área de cada polígono. Al analizar el área de los polígonos, se observó que el 25 % de los datos se encuentra por debajo de 0.63 ha, el 50 % de los datos 3.14 ha y el 75 % de los datos por debajo 16.3 ha. Este alto número de polígonos de menor tamaño se debe en gran medida a la granulación de los datos de OSM, y debe ser tomada en cuenta dependiendo de las aplicaciones

Los datos fueron procesados a fin de obtener una capa raster en donde el valor “1” corresponde a píxeles cubiertos por áreas urbanas y “no data” a áreas no cubiertas por áreas urbanas.

2.4.14. Redes viales

Para la incorporación de infraestructura lineal en los análisis espaciales, se utilizaron los datos oficiales de la red vial nacional disponibles en el Geoportal del Instituto Nacional de Estadística (INE) de Paraguay. Este conjunto de datos vectoriales incluye la cartografía de caminos, carreteras y vías de comunicación terrestre a nivel nacional, clasificados por tipo y jerarquía (rutas nacionales, caminos departamentales, caminos vecinales, entre otros).

2.4.15. Ecosistemas acuáticos lóticos(ríos y arroyos)

Se utilizaron los datos de hidrografía vectorial disponibles en el Geoportal del Instituto Nacional de Estadística (INE). Este conjunto de datos incluye la cartografía oficial de redes hidrográficas, compuesta por ríos, arroyos, lagos, lagunas y otros cuerpos de agua, en formato vectorial (polilíneas y polígonos), con cobertura nacional.

2.4.16. Taxonomía del suelo

Para la caracterización edáfica del territorio, se utilizaron datos oficiales de tipos de suelo proporcionados por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES). Estos conjuntos de datos representan la clasificación taxonómica de suelos a nivel nacional, elaborada conforme a metodologías reconocidas en estudios pedológicos y adaptada a las condiciones edafoclimáticas del país.

En Paraguay se han llevado a cabo dos estudios de suelos a gran escala abarcando cada uno regiones distintas del país y utilizando sistemas de clasificaciones distintos. En el caso de la región Oriental, el proyecto Racionalización de Uso de la Tierra PRUT (1995) Banco Mundial – Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG / Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEERNMA) – Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA), proporciona datos basados en el sistema USDA Soil Taxonomy con una escala de trabajo 1:100.000 y datos a 1:500.000. Por otro lado, el proyecto Sistema Ambiental del Chaco (PSACH) BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – Hannover / Rca. Federal de Alemania Cooperación Técnica y el MAG/SEERNMA-DOA generó datos para la región Occidental basados en el sistema del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1990) con una escala de trabajo de 1:250.000 y publicación de 1:750.000.

2.4.16.1. Taxonomía del suelo en la Región Oriental

El proyecto Racionalización de Uso de la Tierra PRUT (1995) Banco Mundial – Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG / Subsecretaría de Estado de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEERNMA) – Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA), utiliza el sistema de clasificación jerárquica USDA Soil Taxonomy, que busca agrupar suelos similares en categorías cada vez más generales. Fue diseñada para apoyar los levantamientos de suelos en EE. UU., específicamente la correlación de series de suelos y la provisión de nombres de unidades cartográficas con diversos niveles de detalle cartográfico (FAOa, 2025).

Los datos fueron curados en su formato vectorial y posteriormente rasterizados al nivel de subgrupos, utilizando como grilla de referencia el dataset de MapBiomás Paraguay colección 2. Se generó así mismo un diccionario de datos el cual incluye los códigos raster y descripción de acuerdo con la leyenda FAO 1990 (Figura 9, Anexo A1).

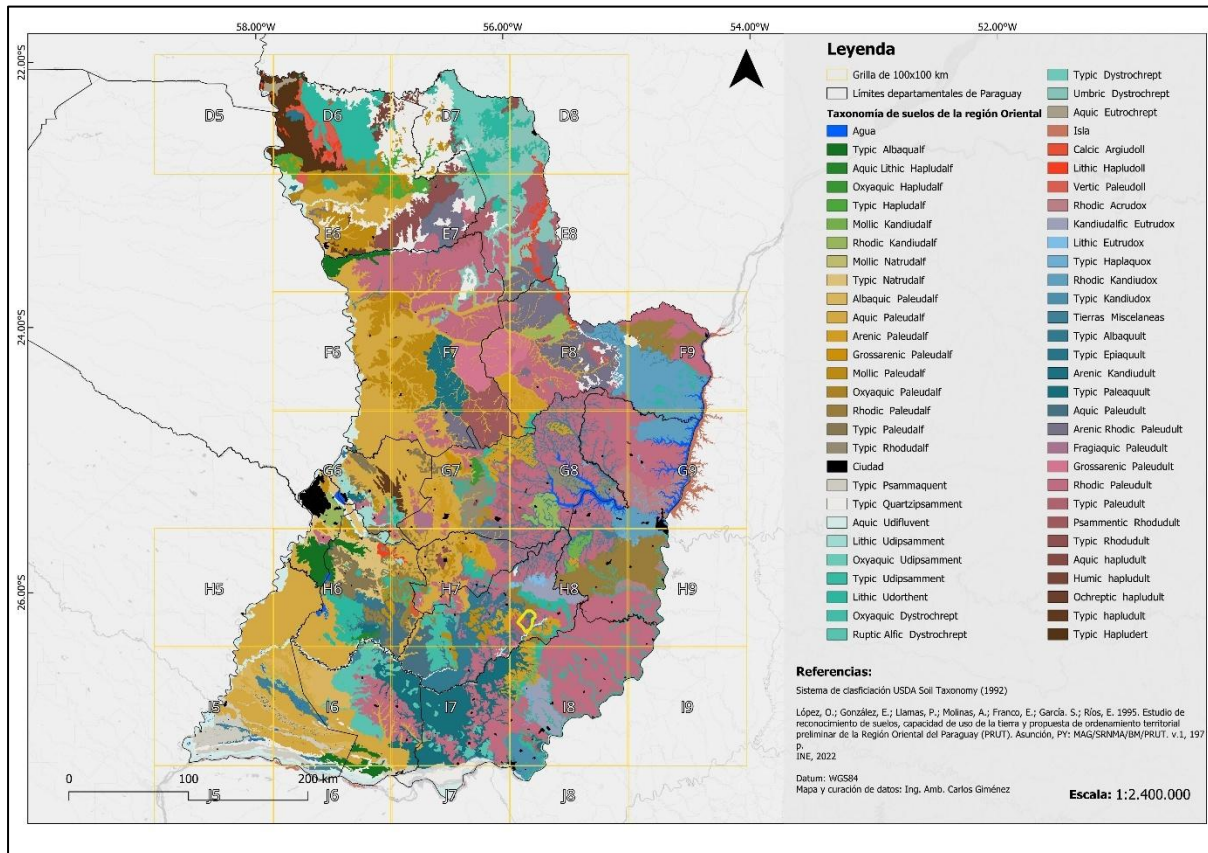


Figura 9. Mapa de taxonomía de suelos de la región Oriental
Fuente: Elaboración propia

2.4.16.2. Taxonomía del suelo en la Región Occidental

El proyecto Sistema Ambiental del Chaco (PSACh) BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – Hannover / Rca. Federal de Alemania Cooperación Técnica y el MAG/SSERNMA-DOA generó datos para la región Occidental basados en el sistema del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1990) con una escala de trabajo de 1:250.000 y publicación de 1:750.000.

Los datos fueron curados en su formato vectorial y posteriormente rasterizados al nivel de subtipos, utilizando como grilla de referencia el dataset de MapBiomias Paraguay colección 2. Se generó así mismo un diccionario de datos el cual incluye los códigos raster y descripción de acuerdo con la leyenda FAO 1990 (Figura 10, Anexo A2).

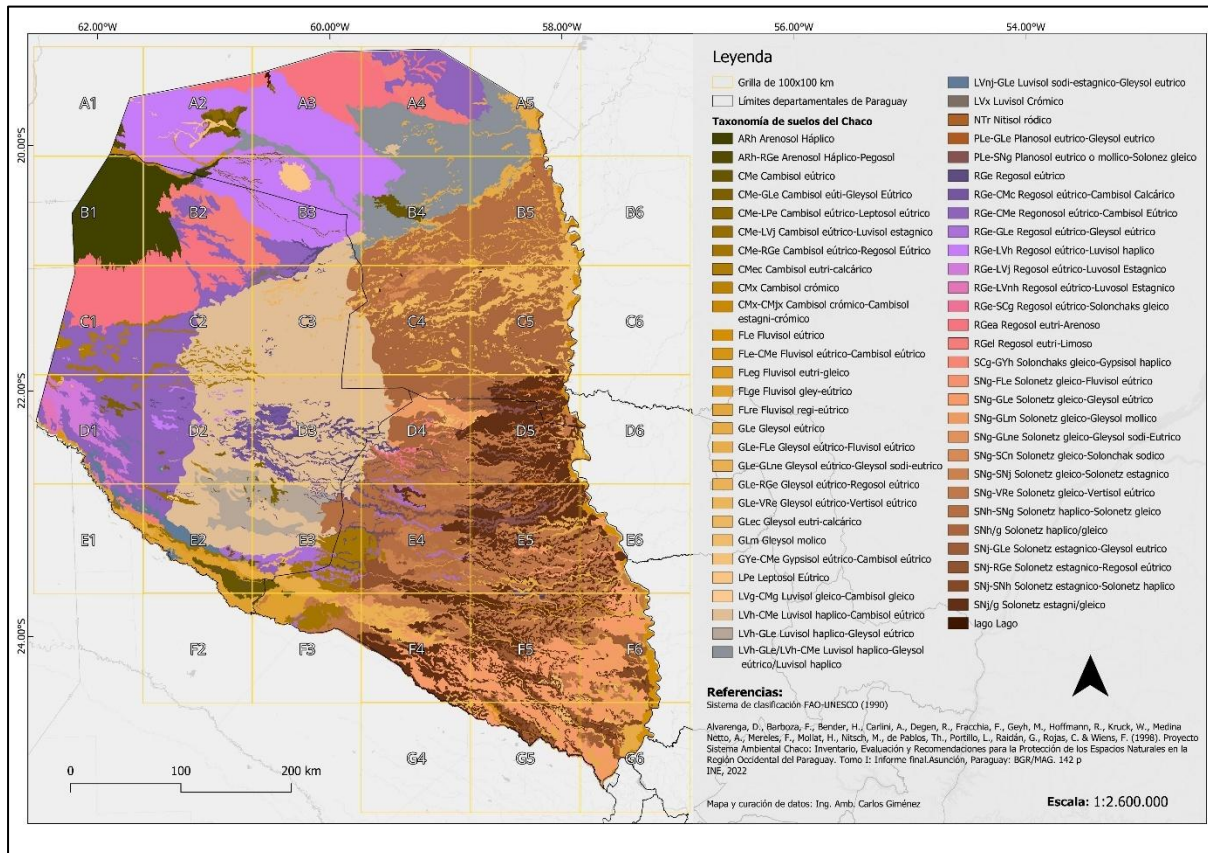


Figura 10. Mapa de taxonomía de suelos del Chaco

Fuente: Elaboración propia.

2.4.17. Variables de distancia

2.4.17.1. Distancia a áreas urbanas

Esta capa representa la distancia en metros a áreas urbanas. Las áreas urbanas fueron generadas a partir de la capa de manzanas del censo 2022 del INE. La capa de manzanas fue editada a fin de eliminar geometrías inválidas, posteriormente se aplicó un buffer de 200 m y se eliminaron los huecos residuales. Finalmente se aplicó un buffer negativo de 200m y se calculó la distancia de los píxeles a las manzanas utilizando la proyección WGS84 UTM 21S.

2.4.17.2. Distancia a áreas urbanas, comerciales e industriales

Esta capa representa la distancia más cercana a áreas urbanas, comerciales e industriales calculada utilizando la proyección WGS84 UTM 21S. Para la identificación y delimitación de zonas urbanizadas, comerciales e industriales se utilizaron los datos oficiales de manzanas del año 2022 del Instituto Nacional de Estadística (INE) de Paraguay. Así como también se incluyeron las áreas comerciales, industriales, residenciales y ciudades de acuerdo con Opens Street Maps (OSM) del año 2025.

Primeramente, se realizó la preparación de la capa de manzanas, en donde se editó la capa a fin de eliminar geometrías inválidas, posteriormente se aplicó un buffer de 200 metros y se eliminaron los huecos generados, finalmente se aplicó un buffer negativo de 150m, generando así un área urbana más homogénea con un buffer de 50 metros como área de influencia directa.

Finalmente, esta capa fue fusionada con la capa de polígonos obtenida de OSM, se verificaron y corrigieron geometrías inválidas y se calculó el área de cada polígono. Al analizar el área de la capa generada, se observó que el 25 % de los datos se encuentra por debajo de 0.63 ha, el 50 % de los datos 3.14 ha y el 75 % de los datos por debajo 16.3 ha. Este alto número de polígonos de menor tamaño se debe en gran medida a la granulación de los datos de OSM, y debe ser tomada en cuenta dependiendo de las aplicaciones. Debido a lo anterior, el directorio de esta capa también contiene los archivos intermedios utilizados para su generación, estos son la capa corregida de manzanas de Paraguay al año 2022 y la capa consulta de OSM a junio de 2025.

2.4.17.3. Distancia a formaciones forestales de más de 100 hectáreas

Esta capa representa los valores de distancia en metros a parches de formaciones forestales obtenidas del procesamiento de la capa de MapBiomias Paraguay colección 2. Específicamente, se tomaron los valores correspondientes a formaciones leñosas cerradas y formaciones leñosas inundables, se filtraron los parches mayores a 100 ha y se calculó la distancia mínima al píxel no enmascarado. Debido al tamaño del dataset, se utilizó la grilla de división de Paraguay.

2.4.17.4. Distancia al borde dentro de formaciones boscosas de más al menos 1 ha

Esta capa representa la distancia al borde del bosque, en donde se calcula la distancia del píxel a píxel del borde más cercano de los fragmentos o parches boscosos de al menos 1 ha. Para su elaboración, se consideró una unidad mínima de áreas no boscosas de 5 píxeles, esto a fin de evitar que pequeños grupos de píxeles (menores a 0.45 ha) influyeran el cómputo de distancia al borde de los píxeles de cada parche de bosque. La distancia de los píxeles fue calculada utilizando la proyección UTM correspondiente, es decir UTM21S O 20S.

2.4.17.5. Distancia al borde dentro de formaciones boscosas de más de 100 ha

Esta capa representa la distancia al borde del bosque, en donde se calcula la distancia del píxel a píxel del borde más cercano de los fragmentos o parches boscosos de más de 100 ha. Para su elaboración, se consideró una unidad mínima de áreas no boscosas de 5 píxeles, esto a fin de evitar que pequeños grupos de píxeles (menores a 0.45 ha) influyeran el cómputo de distancia al borde de los píxeles de cada parche de bosque. La distancia de los píxeles fue calculada utilizando la proyección UTM correspondiente, es decir UTM21S O 20S.

2.4.17.6. Distancia a ecosistemas acuáticos lóticos

Esta capa representa los valores de distancia en metros a ecosistemas acuáticos lóticos obtenidas del Geoportal del Instituto Nacional de Estadística (INE). Debido al tamaño del dataset, se utilizó la grilla de división de Paraguay.

2.4.17.7. Distancia a la red vial

Como se ha mencionado anteriormente, se ha optado por utilizar los datos de la red vial de Paraguay provenientes de la cartografía del Censo de 2012, si bien existen otras fuentes como la de la red vial del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del MOPC del año 2022, luego de una comparación en la extensión de las redes de ambas capas, se ha determinado que la del año 2012 ofrece mayor cobertura. Por lo que la capa de distancia a la red vial, representa la distancia en metros de un píxel a dicha red, calculada utilizando la proyección UTM correspondiente.

2.5. Próximos pasos

Desarrollo de un script en R o Python para el consumo de los datos generados en el marco de el modelado de nicho ecológico

Realizar una prueba piloto con los datos disponibles de ocurrencias y el conjunto de datos de Paraguay utilizando el paquete ENM de R. Con esto genera un script que integre la utilización de estos datos, y posiblemente un marco de trabajo a escala nacional.

2.6. Bibliografía

- CGIAR-CSI. (2008). SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1. International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Disponible en: <https://srtm.csi.cgiar.org/>
- Deutsche Zentrum für Luft - und Raumfahrt (DLR). 2024. TanDEM-X - Edited Digital Elevation Model (EDEM) - Global, 30m. https://download.geoservice.dlr.de/TDM30_EDEM/#details
- FAOa. 2025. USDA Soil Taxonomy. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/usda-soil-taxonomy/en/>
- FAOb. 2025. FAO/UNESCO legend of the Soil Map of the World. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/fao-legend/en/>
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315.
- Funk, Chris, Pete Peterson, Martin Landsfeld, Diego Pedreros, James Verdin, Shraddhanand Shukla, Gregory Husak, James Rowland, Laura Harrison, Andrew Hoell &
- Federación por la autodeterminación de los Pueblo Indígenas (FAPI). 2024. Base de datos de tierras indígenas de Paraguay. Disponible en: <https://tierras-indigenas-2024-fapi.hub.arcgis.com/datasets/cbce905f55af4d508f775a0ee39b9cec/about>
- Google LLC. 2025. *Google Earth Engine*. <https://earthengine.google.com/>
- Instituto Nacional del Indígena – Paraguay (INDI). 2017. Base de datos de comunidades indígenas del Paraguay. Disponible en <https://informacionpublica.paraguay.gov.py/#!/ciudadano/solicitud/63421>
- Instituto Nacional de Estadística. (2022). Cartografía Digital 2022. Disponible en: <https://www.ine.gov.py/microdatos/cartografia-digital-2022.php>
- Joel Michaelsen. "The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes". Scientific Data 2, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66 2015. Disponible en: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_PENTAD?hl=en#citations
- López, O.; González, E.; Llamas, P.; Molinas, A.; Franco, E.; García. S.; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay (PRUT). Asunción, PY: MAG/SRNMA/BM/PRUT. v.1, 197 p.
- Mark Friedl, Damien Sulla-Menashe . 2022. MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 . Sioux Falls, South Dakota, USA: NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>.
- MapBiomias Paraguay. (2024). MapBiomias Paraguay colección 2. Disponible en: <https://paraguay.mapbiomas.org/>
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible – Paraguay (MADES). 2015. Mapa de Suelos del Paraguay – Clasificación taxonómica nacional basada en Soil Taxonomy (USDA). Asunción, Paraguay. Disponible bajo solicitud o acceso institucional.
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible – Paraguay (MADES). 2022. Base de datos espacial de áreas silvestres protegidas de Paraguay. Disponible en: <https://informacionpublica.paraguay.gov.py/#!/ciudadano/solicitud/63421>

Ing. Carlos Giménez Larrosa
Científico de datos espaciales
Consultor Ambiental

Teléfono: +49 176 86472504
carlos.gimenez@showmewhere.com
Freiburg im Breisgau, Germany

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible – Paraguay (MADES). 2022b. Base de datos espacial de áreas silvestres protegidas de Paraguay. Disponible en: <https://informacionpublica.paraguay.gov.py/#!/ciudadano/solicitud/73850>

OpenStreetMap contributors (OSM). 2015. OpenStreetMap [Datos de polígonos de áreas residenciales, comerciales e industriales]. Recuperado de <https://www.openstreetmap.org/copyright>

Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza & Conservação*, 10(2), 1-6. <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>

PLANET LABS. 2025. Sentinel Hub: Sentinel-2 L2A Data. Disponible en: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/>

Worldclim. 2020. Historical climate data. Disponible en: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>

2.7. Anexos

Anexo A1. Clasificación de suelos de la región Oriental de Paraguay

Orden	Grupo	Subgrupo	Cantidad de Polígonos	Código
Agua	Agua	Agua	2027	1
Alfisol	Albaqualf	Typic Albaqualf	12	2
Alfisol	Hapludalf	Aquic Lithic Hapludalf	2	3
Alfisol	Hapludalf	Oxyaquic Hapludalf	2	4
Alfisol	Hapludalf	Typic Hapludalf	3	5
Alfisol	Kandiudalf	Mollic Kandiudalf	2	6
Alfisol	Kandiudalf	Rhodic Kandiudalf	12	7
Alfisol	Natrudalf	Mollic Natrudalf	2	8
Alfisol	Natrudalf	Typic Natrudalf	23	9
Alfisol	Paleudalf	Albaquic Paleudalf	21	10
Alfisol	Paleudalf	Aquic Paleudalf	81	11
Alfisol	Paleudalf	Arenic Paleudalf	30	12
Alfisol	Paleudalf	Grossarenic Paleudalf	2	13
Alfisol	Paleudalf	Mollic Paleudalf	118	14
Alfisol	Paleudalf	Oxyaquic Paleudalf	1	15
Alfisol	Paleudalf	Rhodic Paleudalf	77	16
Alfisol	Paleudalf	Typic Paleudalf	22	17
Alfisol	Rhodudalf	Typic Rhodudalf	14	18
Ciudad	Ciudad	Ciudad	236	19
Entisol	Psammaquent	Typic Psammaquent	19	20
Entisol	Quartzipsamment	Typic Quartzipsamment	76	21
Entisol	Udifluent	Aquic Udifluent	189	22
Entisol	Udipsamment	Lithic Udipsamment	31	23
Entisol	Udipsamment	Oxyaquic Udipsamment	7	24
Entisol	Udipsamment	Typic Udipsamment	1	25
Entisol	Udorthent	Lithic Udorthent	309	26
Inceptisol	Dystrochrept	Oxyaquic Dystrochrept	4	27
Inceptisol	Dystrochrept	Ruptic Alfic Dystrochrept	34	28
Inceptisol	Dystrochrept	Typic Dystrochrept	20	29
Inceptisol	Dystrochrept	Umbric Dystrochrept	54	30
Inceptisol	Eutrochrept	Aquic Eutrochrept	2	31
Isla	Isla	Isla	51	32
Mollisol	Argiudoll	Calcic Argiudoll	2	33
Mollisol	Hapludoll	Lithic Hapludoll	37	34
Mollisol	Paleudoll	Vertic Paleudoll	5	35
Oxisol	Acrudox	Rhodic Acrudox	7	36

Orden	Grupo	Subgrupo	Cantidad de Polígonos	Código
Oxisol	Eutradox	Kandiudalfic Eutradox	8	37
Oxisol	Eutradox	Lithic Eutradox	2	38
Oxisol	Haplaquox	Typic Haplaquox	45	39
Oxisol	Kandiudox	Rhodic Kandiudox	29	40
Oxisol	Kandiudox	Typic Kandiudox	2	41
Tierras Miscelaneas	Miscelaneas	Tierras Miscelaneas	90	42
Ultisol	Albaquult	Typic Albaquult	13	43
Ultisol	Epiquult	Typic Epiquult	2	44
Ultisol	Kandiudult	Arenic Kandiudult	3	45
Ultisol	Paleaquult	Typic Paleaquult	16	46
Ultisol	Paleudult	Aquic Paleudult	7	47
Ultisol	Paleudult	Arenic Rhodic Paleudult	19	48
Ultisol	Paleudult	Fragiaquic Paleudult	2	49
Ultisol	Paleudult	Grossarenic Paleudult	4	50
Ultisol	Paleudult	Rhodic Paleudult	230	51
Ultisol	Paleudult	Typic Paleudult	82	52
Ultisol	Rhodudult	Psammentic Rhodudult	1	53
Ultisol	Rhodudult	Typic Rhodudult	32	54
Ultisol	hapludult	Aquic hapludult	1	55
Ultisol	hapludult	Humic hapludult	27	56
Ultisol	hapludult	Ochreptic hapludult	3	57
Ultisol	hapludult	Typic hapludult	10	58
Vertisol	Hapludert	Typic Hapludert	4	59

Anexo A2. Clasificación de suelos de la región Occidental de Paraguay

Subtipo	code	Descripción
ARh	1	Arenosol Háplico
ARh-RGe	2	Arenosol Háplico-Pegoso
CMe	3	Cambisol eútrico
CMe-GLe	4	Cambisol eútri-Gleysol Eútrico
CMe-LPe	5	Cambisol eútrico-Leptosol eútrico
CMe-LVj	6	Cambisol eútrico-Luvisol estagnico
CMe-RGe	7	Cambisol eútrico-Regosol Eútrico
CMec	8	Cambisol eutri-calcárico
CMx	9	Cambisol crómico
CMx-CMjx	10	Cambisol crómico-Cambisol estagni-crómico
FLe	11	Fluvisol eútrico
FLe-CMe	12	Fluvisol eútrico-Cambisol eútrico

Subtipo	code	Descripción
FLeg	13	Fluvisol eutri-gleico
FLge	14	Fluvisol gley-eútrico
FLre	15	Fluvisol regi-eútrico
GLe	16	Gleysol eútrico
GLe-FLe	17	Gleysol eútrico-Fluvisol eútrico
GLe-GLne	18	Gleysol eútrico-Gleysol sodi-eutrico
GLe-RGe	19	Gleysol eútrico-Regosol eútrico
GLe-VRe	20	Gleysol eútrico-Vertisol eútrico
GLec	21	Gleysol eutri-calcárico
GLm	22	Gleysol molico
GYe-CMe	23	Gypsisol eútrico-Cambisol eútrico
LPe	24	Leptosol Eútrico
LVg-CMg	25	Luvisol gleico-Cambisol gleico
LVh-CMe	26	Luvisol haplico-Cambisol eútrico
LVh-GLe	27	Luvisol haplico-Gleysol eútrico
LVh-GLe/LVh-CMe	28	Luvisol haplico-Gleysol eútrico/Luvisol haplico
LVnj-GLe	29	Luvisol sodi-estagnico-Gleysol eutrico
LVx	30	Luvisol Crómico
NTr	31	Nitisol ródico
PLe-GLe	32	Planosol eutrico-Gleysol eutrico
PLe-SNg	33	Planosol eutrico o mollico-Solonez gleico
RGe	34	Regosol eútrico
RGe-CMc	35	Regosol eútrico-Cambisol Calcárico
RGe-CMe	36	Regonosol eútrico-Cambisol Eútrico
RGe-GLe	37	Regosol eútrico-Gleysol eútrico
RGe-LVh	38	Regosol eútrico-Luvisol haplico
RGe-LVj	39	Regosol eútrico-Luvosol Estagnico
RGe-LVnh	40	Regosol eútrico-Luvosol Estagnico
RGe-SCg	41	Regosol eútrico-Solonchaks gleico
RGea	42	Regosol eutri-Arenoso
RGel	43	Regosol eutri-Limoso
SCg-GYh	44	Solonchaks gleico-Gypsisol haplico
SNg-FLe	45	Solonetz gleico-Fluvisol eútrico
SNg-GLe	46	Solonetz gleico-Gleysol eútrico
SNg-GLm	47	Solonetz gleico-Gleysol mollico
SNg-GLne	48	Solonetz gleico-Gleysol sodi-Eutrico
SNg-SCn	49	Solonetz gleico-Solonchak sodico
SNg-SNj	50	Solonetz gleico-Solonetz estagnico
SNg-VRe	51	Solonetz gleico-Vertisol eútrico
SNh-SNg	52	Solonetz haplico-Solonetz gleico
SNh/g	53	Solonetz haplico/gleico
SNj-GLe	54	Solonetz estagnico-Gleysol eutrico

Subtipo	code	Descripción
SNj-RGe	55	Solonetz estagnico-Regosol eútrico
SNj-SNh	56	Solonetz estagnico-Solonetz haplico
SNj/g	57	Solonetz estagni/gleico
lago	58	Lago