Informe técnico detallado sobre la creación del Mapa Global de Carbono Orgánico del Suelo (SOC)

**1. Introducción**

El Mapa Global de Carbono Orgánico del Suelo (GSOCmap) representa un esfuerzo colaborativo para evaluar y mapear el stock de carbono orgánico en el suelo (SOC) en una capa de 0 a 30 cm de profundidad. Esta herramienta fue desarrollada bajo el liderazgo de la Alianza Global por los Suelos (GSP) de la FAO, con contribuciones de más de 100 países. Es una iniciativa crucial para la cuantificación del carbono almacenado en los suelos y para apoyar los esfuerzos globales en mitigación del cambio climático, gestión sostenible del suelo y seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el indicador 15.3.1.

**2. Recolección de datos**

La recolección de datos para la creación del GSOCmap involucró varias fuentes de información:

* Puntos de muestreo del suelo: Se recopilaron datos de más de un millón de puntos de muestreo en todo el mundo, proporcionados por las autoridades nacionales, instituciones científicas y bases de datos internacionales como WoSIS. Cada punto de muestreo contiene información sobre propiedades físicas y químicas del suelo, incluyendo la concentración de carbono orgánico (SOC), la densidad aparente y la fracción de fragmentos gruesos.
* Covariables ambientales: Se integraron capas de datos ambientales para mejorar la capacidad predictiva del modelo. Estas covariables incluyeron factores topográficos (elevación, pendiente), climáticos (precipitación, temperatura), tipos de uso del suelo, cobertura vegetal y mapas de suelos disponibles. Estas capas fueron generadas principalmente por el Centro Internacional de Información sobre Suelos (ISRIC).
* Datos de suelos heredados: Muchos países también proporcionaron datos históricos de estudios previos de suelos, los cuales fueron revisados, estandarizados y utilizados para aumentar la densidad de puntos de muestreo en áreas donde la información reciente era limitada.

**3. Procesamiento de datos y premodelado**

Antes del modelado del SOC, los datos fueron sometidos a un riguroso proceso de limpieza y estandarización:

* Control de calidad de los datos: Los datos brutos de los puntos de muestreo pasaron por una revisión para garantizar la consistencia y precisión de las mediciones. Se eliminaron o ajustaron los valores atípicos mediante el uso de técnicas estadísticas para evitar que estos datos distorsionaran los modelos predictivos.
* Interpolación de datos faltantes: En áreas con escasez de datos, se utilizaron técnicas de interpolación basadas en la proximidad espacial y las covariables ambientales para estimar valores faltantes. Esto ayudó a cubrir lagunas en la cobertura espacial del SOC en varios países.

**4. Metodologías de modelado**

Se emplearon varios enfoques de modelado para predecir el stock de carbono orgánico del suelo en áreas no muestreadas. Los tres métodos principales aplicados fueron los siguientes:

1. RegresiónKriging (RK):

Este método combina la regresión lineal múltiple con la kriging, una técnica geoestadística que estima valores en ubicaciones no muestreadas a partir de puntos cercanos.

Primero, se ajustó un modelo de regresión utilizando covariables ambientales (topografía, clima, uso del suelo, etc.) para predecir la variación del SOC en función de estos factores. Luego, se aplicó la kriging para modelar la estructura espacial de los residuos del modelo de regresión, lo que permitió ajustar las predicciones para reflejar las dependencias espaciales del SOC.

1. 2. Bosques Aleatorios (Random Forest):

Este es un algoritmo de aprendizaje automático que genera múltiples árboles de decisión para realizar predicciones robustas del SOC.

Cada árbol de decisión fue entrenado con diferentes combinaciones de covariables ambientales y datos de muestreo del suelo, permitiendo al modelo aprender patrones no lineales complejos. Este método es particularmente efectivo en áreas con datos altamente variables o con múltiples factores influyentes.

1. 3. Máquinas de Soporte Vectorial (SVM):

Las SVM son otro enfoque de aprendizaje automático usado para la predicción del SOC en áreas donde la distribución de puntos de muestreo era irregular.

Esta técnica permitió ajustar modelos de alta precisión al encontrar el hiperplano óptimo que separa las diferentes clases de datos de SOC en el espacio de covariables ambientales

**5. Validación del modelo y análisis de incertidumbre**

El proceso de validación y evaluación del modelo fue un componente crucial para garantizar la fiabilidad del GSOCmap:

* Validación cruzada: Se emplearon técnicas de validación cruzada (crossvalidation) utilizando un conjunto independiente de datos de puntos de muestreo, principalmente provenientes de la base de datos de perfiles de suelo WoSIS. Esta validación ayudó a evaluar la precisión del modelo y ajustar los parámetros de predicción.
* Análisis de incertidumbre: Se realizó un análisis exhaustivo de la incertidumbre asociado con las predicciones de SOC. Se calcularon intervalos de confianza y se crearon mapas de desviación estándar para identificar regiones donde las predicciones mostraban mayor variabilidad o incertidumbre. Las áreas con alta incertidumbre, generalmente ubicadas en zonas con baja densidad de puntos de muestreo, fueron destacadas para futuras campañas de recolección de datos.
* Comparación con productos existentes: Se comparó el GSOCmap con otros productos globales de SOC, como el mapa de carbono del SoilGrids y el HWSD (Harmonized World Soil Database). Las diferencias fueron analizadas espacialmente para identificar discrepancias y mejorar el ajuste del modelo en futuras versiones.

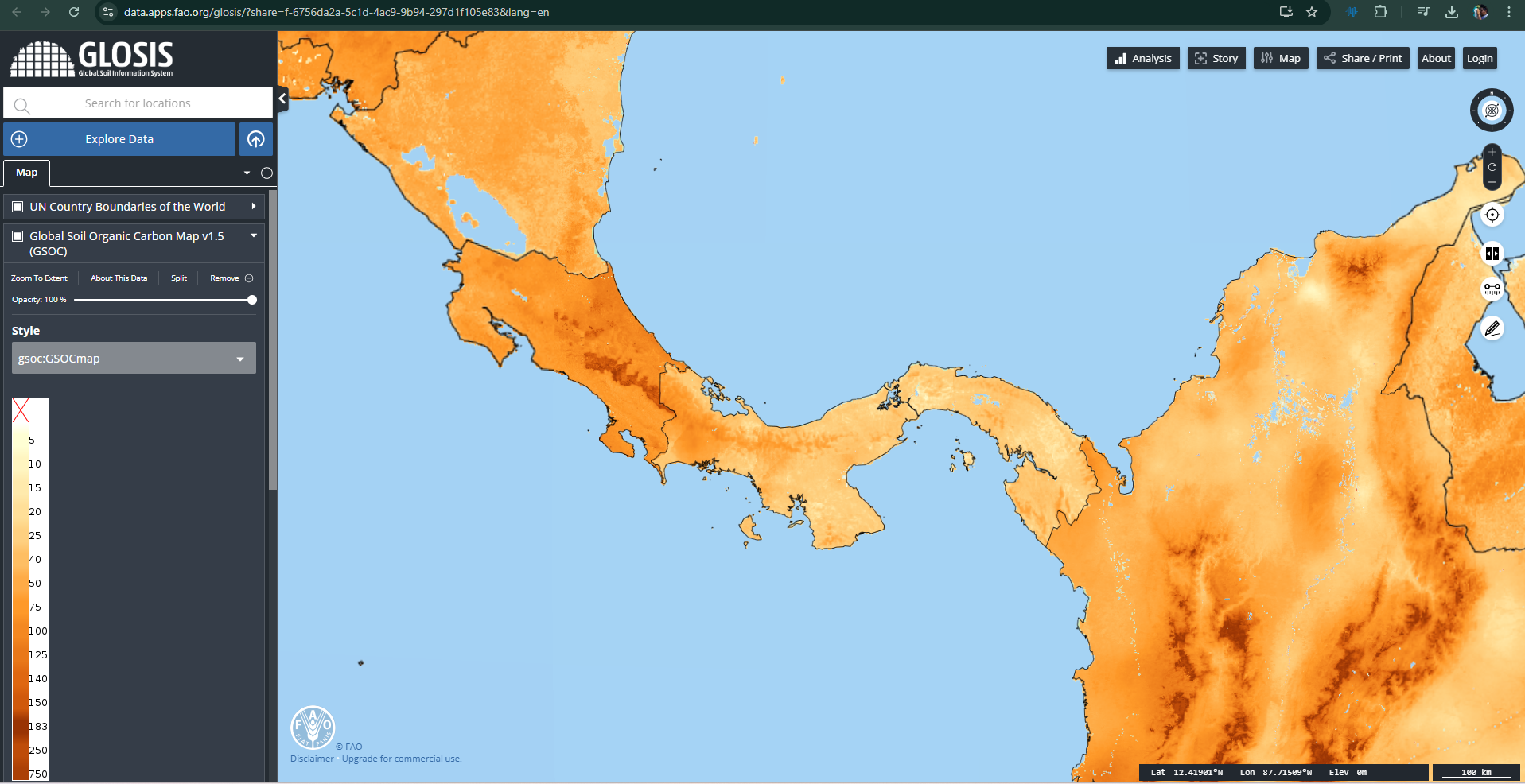
**Reporte Metodológico para la Obtención de Datos de Carbono Orgánico de Suelo en Panamá**

**1. Objetivo del Análisis**

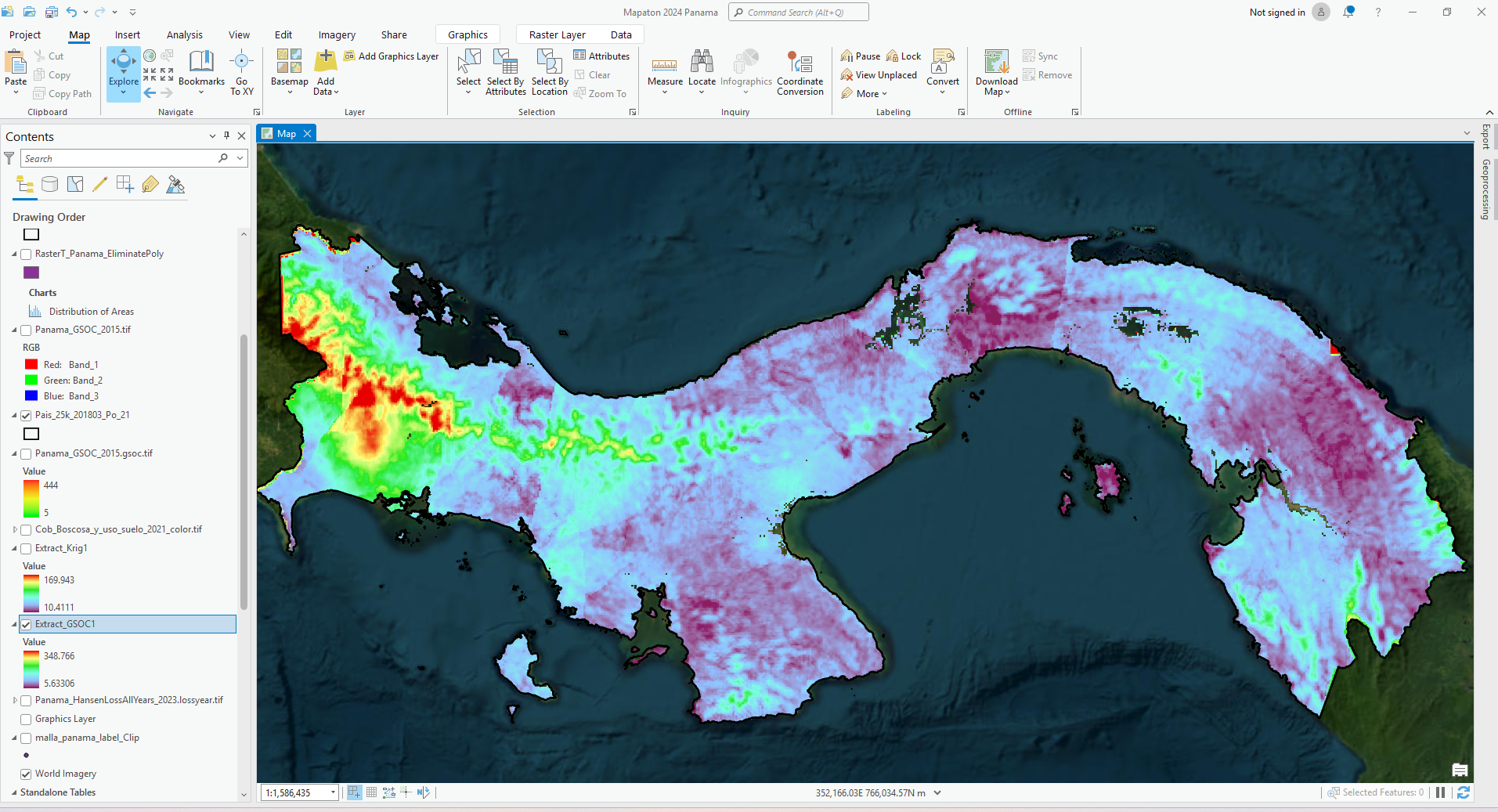
El propósito de este análisis es calcular el promedio de carbono orgánico de suelo (SOC) para diferentes tipos de uso de suelo en Panamá, utilizando el mapa de carbono orgánico de suelo de la FAO (GSOCmap) y datos de parcelas obtenidos durante el Mapatón 2024.

**2. Fuentes de Datos**

* **GSOCmap de la FAO**: Mapa global de carbono orgánico de suelo, que proporciona valores estimados de SOC en la capa superficial del suelo a nivel global y es descargable en formato compatible con SIG (Sistema de Información Geográfica).



* **Parcelas del Mapatón 2024**: Conjunto de 33,485 parcelas georreferenciadas en Panamá, cada una con información de tipo de uso de suelo.



**3. Procesamiento de los Datos**

A continuación, se describen los pasos seguidos para procesar los datos y obtener los promedios de SOC para cada tipo de uso de suelo:

**3.1. Descarga y Preparación de Datos**

1. **Descarga del GSOCmap**: Se descargó el mapa GSOCmap correspondiente al área de interés, en este caso, Panamá. Este mapa contiene datos en formato raster con valores de SOC estimados en la capa superficial del suelo.
2. **Carga en ArcGIS Pro**: Se importaron los datos de GSOCmap a ArcGIS Pro para su visualización y análisis espacial.

**3.2. Asignación de Valores de SOC a las Parcelas**

1. **Cargar las parcelas del Mapatón 2024**: Se importó el shapefile correspondiente a las 33,485 parcelas en ArcGIS Pro.
2. **Uso de la herramienta Extract Values to Points**: Utilizando la herramienta "Extract Values to Points" del módulo Spatial Analyst de ArcGIS, se asignó el valor de SOC de la capa raster del GSOCmap a cada una de las parcelas. Esta herramienta permite extraer el valor de SOC del raster en la ubicación exacta de cada parcela y adjuntar dicho valor como un nuevo atributo en el archivo de puntos.

**3.3. Exportación y Filtrado de Resultados**

1. **Exportación de datos a Excel**: Los datos resultantes, ahora con el valor de SOC asociado a cada parcela, se exportaron a Excel para su análisis.
2. **Filtrado por Tipo de Uso de Suelo**: En Excel, los datos se filtraron según el tipo de uso de suelo, lo que permitió agrupar los valores de SOC por categorías específicas de uso.

**3.4. Cálculo de Promedios**

1. **Cálculo de promedios**: Se calcularon los promedios de SOC para cada tipo de uso de suelo, proporcionando una estimación representativa del contenido de SOC según el uso del suelo en el área de estudio.