

**Título del Proyecto:**

**Desarrollo y despliegue de un Modelo analítico para seguros agrícolas indexados en café en Boyacá**

**Autores:**

Camilo Andrés Flórez Esquivel

Diego Dayan Niño Pérez

Lizeth Daniela Ortiz Perdomo

Miguel Mateo Sandoval Torres

**Grupo:** DSA – G23

**Docente:** Juan Fernando Pérez

**Fecha:** octubre 2025

## **Problema y contexto**

La caficultura colombiana constituye uno de los pilares económicos y culturales más importantes del país, con más de 550 000 familias cafeteras y una destacada participación en el PIB agrícola nacional. Sin embargo, su sostenibilidad enfrenta una amenaza creciente: la variabilidad climática provocada por los fenómenos El Niño y La Niña, así como por las alteraciones en los patrones de lluvia, temperatura y humedad.

Estos fenómenos generan floraciones irregulares, pérdidas de cosecha y una marcada volatilidad en los rendimientos, lo que se traduce en inestabilidad de ingresos para los productores. Entre 2008 y 2013, por ejemplo, la producción nacional de café cayó cerca de un 33 % por efectos climáticos adversos. Estudios recientes advierten que el 80 % de las áreas cafeteras latinoamericanas podrían sufrir pérdidas significativas si las tendencias climáticas actuales continúan.

A pesar de esta vulnerabilidad, la mayoría de los pequeños y medianos caficultores no cuentan con herramientas financieras modernas que les permitan protegerse frente a estos riesgos. En este contexto, los seguros agrícolas indexados surgen como una alternativa innovadora: compensan automáticamente al productor cuando variables medibles como la lluvia, la temperatura o el índice de vegetación NDVI superan o descienden de ciertos umbrales críticos.

No obstante, su implementación efectiva requiere modelos analíticos calibrados al contexto local, que integren fuentes de datos climáticas, satelitales y productivas. Actualmente, Colombia carece de un modelo multivariado que relacione de forma precisa los eventos climáticos con las pérdidas de rendimiento a nivel regional.

Por ello, este proyecto busca **construir una base de datos y un modelo predictivo supervisado** que permita cuantificar el riesgo climático en las zonas cafeteras de **Boyacá**.

Esta herramienta permitirá evaluar la portabilidad regional del modelo y validar su potencial como herramienta de apoyo para la gestión del riesgo agrícola, tanto para aseguradoras como para productores.

En síntesis, la problemática combina riesgo climático, incertidumbre económica y brecha tecnológica, y demanda soluciones de analítica aplicada que vinculen datos ambientales y productivos con mecanismos financieros automatizados, alineados con los objetivos del Fondo Nacional del Café y los planes de sostenibilidad del sector agroindustrial.

## Pregunta de negocio y alcance del proyecto

### Pregunta de negocio

¿Es posible estimar de forma confiable el nivel de riesgo o pérdida esperada de un cultivo de café a partir de variables climáticas y satelitales (NDVI), para respaldar el diseño de un seguro agrícola indexado?

### Objetivo general

Desarrollar un **modelo analítico multivariado** que relacione indicadores climáticos (precipitación, temperatura, humedad) y satelitales (NDVI/EVI) con el rendimiento productivo del café, permitiendo predecir la probabilidad de pérdida y generar índices de activación para seguros agrícolas.

## Alcance del Proyecto

El proyecto abarca el **diseño, desarrollo y despliegue** de un modelo analítico multivariado que permita **estimar el riesgo climático y productivo del cultivo de café** como base para la valoración de **seguros agrícolas indexados** en del departamento de Boyacá, Colombia.

Su desarrollo comprende cinco componentes principales:

### 1. Integración de datos

El desarrollo del modelo analítico requiere integrar diversas fuentes de información que reflejen las condiciones **climáticas, satelitales, productivas y económicas** del sector cafetero colombiano.

Los datos seleccionados garantizan cobertura temporal (2010-2020), espacial (departamental y municipal) y temática suficiente para modelar la relación entre **clima – vegetación – rendimiento** con una granularidad mensual.

Variable	Descripción	Uso	Fuente
Precipitación	suma de precipitaciones acumuladas en mm	Permiten la identificación de exceso / déficit hídrico y cálculo de índices SPI/SPEI	IDEAM

Variable	Descripción	Uso	Fuente
Temperatura máxima	Valores máximos de temperatura en °C	Identificación de oleadas de calor y periodos de sequía críticos	IDEAM
Temperatura mínima	Valores mínimos de temperatura en °C	Identificación de enfriamientos extremos y periodos de heladas	IDEAM
Humedad relativa	Promedio de humedad en %	Calibración de índices de estrés hídrico y correlación con rendimiento de cultivo	IDEAM
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	Estimación de la biomasa y vigor de la vegetación. [-1,1]	Apoyo para el rendimiento y condición de cultivo	NASA
EVI (Enhanced Vegetation Index)	Variante del NDVI	Seguimiento a la productividad de cultivo y calibración del riesgo base	NASA
Rendimiento	Valor promedio de producción por área cultivada en t/ha	Variable dependiente para modelación de la pérdida	FNC
Producción	Producción total en toneladas	Referencia económica	FNC
Área cultivada	Superficie total de café cultivado y/o en producción en ha	Normalización y cálculo de pérdidas	EVA
PIB agropecuario departamental	Indicador departamental del sector agrícola en MM \$	Indicador de referencia para cálculo de impacto económico del seguro	DANE
Costo fijo de cultivo	Costos asociados a cultivo en \$ / t	Pertinente para el cálculo del costo de aseguramiento relativo	DANE
Índice de precios del café	Variación del precio interno del café en %	Útil para conversión de pérdidas físicas a económicas.	DANE
Productores	Censo Nacional Agropecuario, productores, tipo de productores, tamaños de cultivo.	Caracterización socioeconómica de los potenciales beneficiarios	FNC DANE

\* IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales

\* NASA. National Aeronautics and Space Administration

\* FNC. Fondo Nacional de Cafeteros

\* EVA. Evaluación Agropecuaria Municipal

\* DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.

Los datos serán versionados con **DVC** para garantizar trazabilidad y reproducibilidad.

## 2. Análisis exploratorio

### Tratamiento general de los datos

- **Unificación temporal y espacial:** todos los registros se agregan a nivel mensual por departamento o municipio, usando un identificador geográfico común.
- **Limpieza y normalización:** eliminación de duplicados, control de valores atípicos, interpolación de faltantes y conversión de unidades.
- **Control de versiones:** los conjuntos se almacenan bajo un esquema de **versionamiento con DVC**, lo que permite rastrear modificaciones y garantizar la reproducibilidad del pipeline.

- **Estructura final del dataset:**

Cada fila representa una observación mensual por región, con columnas para variables climáticas, índices NDVI/EVI y rendimiento productivo del café.

El propósito del análisis está en familiarizarse con los datos, identificar patrones, correlaciones y anomalías, que puedan influir sobre la ejecución del proyecto. Estos datos dentro de las posibilidades han sido ajustados al mismo nivel de granularidad establecida (series mensuales en un periodo entre el 2010 y 2020) de tal manera que se pueda manejar uniformidad y correlación entre los mismos.

### **Variables climatológicas.**

Se emplean datos provenientes de las estaciones meteorológicas del IDEAM que se encuentran circundantes a la región cafetera en Boyacá, caracterizada por 11 municipios, se identifican un total de 129 estaciones útiles que se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

Categoría	Cantidad
Pluviométrica	46
Climatológica Principal	27
Limnimétrica	16
Climática Ordinaria	13
Limnigráfica	10
Pluviográfica	9
Meteorológica Especial	6
Agrometeorológica	1
Sinóptica principal	1

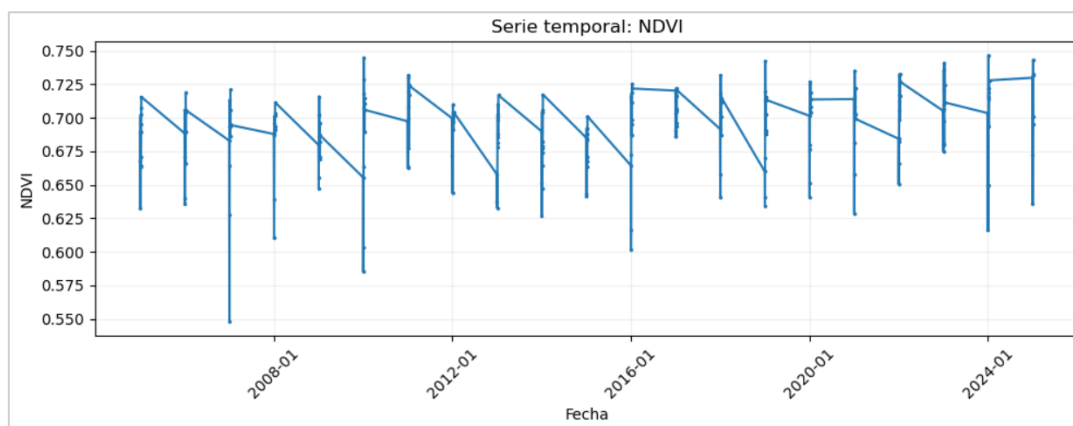
- Precipitación. La región cafetera de Boyacá presenta precipitaciones promedio mensuales de 155 mm/mes. Suelen presentar un comportamiento climatológico bimodal, es decir dos picos estacionales de altas precipitaciones (abril-mayo y octubre-noviembre) intercalado con periodos secos (enero-febrero y mayo-agosto).
- Temperatura máxima. La región de estudio cuenta con una temperatura máxima promedio de 24.8 °C ( $\pm 2.0$  °C).
- Temperatura mínima. La región de estudio cuenta con temperaturas mínimas promedio de 14.2° C ( $\pm 1.8$  °C). Principalmente marcadas entre julio y septiembre. Lo que puede representar un riesgo de heladas en las zonas de mayores elevaciones.
- Humedad relativa. Se presenta una humedad relativa de 78% ( $\pm 9\%$ ). Con un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura máxima.

### **Índices de vegetación.**

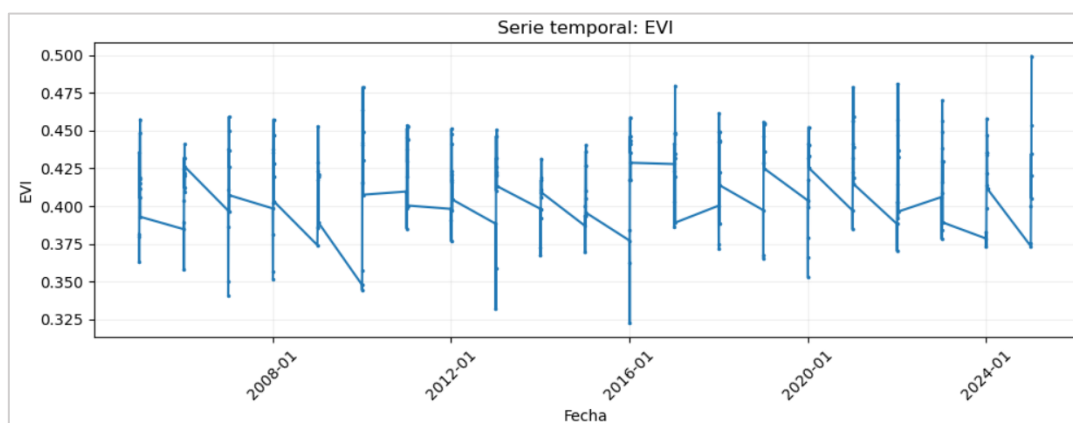
Se extrajeron las series temporales OD13Q1 (250 m) para zonas cafeteras de Boyacá, analizadas a escala mensual.

- Series NDVI. Se establece dentro de un rango (0.54 – 0.74), un valor promedio de 0.69; evidencia un régimen bimodal, con valores máximos entre abril-mayo y

octubre-noviembre. Indica la degradación progresiva del vigor del cultivo o efectos causados por estrés hídrico acumulado.



- Series EVI. Se establece dentro de un rango (0.32 – 0.50), un valor promedio de 0.42; mostrando mayor estabilidad interanual. Permite detectar episodios de estrés vegetativo moderado especialmente en los años 2015-2016 y 2019-2020.



### Rendimiento, producción y áreas cultivadas.

Información departamental, anual y semestral para el departamento de Boyacá, reportados por la Federación Nacional de Cafeteros y los informes de Evaluación Agropecuaria Municipal.

- Rendimiento. El rendimiento anual promedio de los cultivos de café en Boyacá está entre 11.5 % y 15.2 %, un rango amplio, caracterizado por un promedio de 13.8 % ( $\pm 8\%$ ). Con caídas marcadas durante los años 2010 (posiblemente periodos de altas precipitaciones y de saturación de los suelos dado el máximo en 2009) y en año 2015 (relacionable con el periodo de estrés vegetativo y de altas temperaturas – Sequía)
- Producción. El reporte proporcionado, proporciona esta información en sacos (60 kg) en periodos anuales, en la que se tiene un promedio de 205.000 sacos (12300 toneladas) de café ( $\pm 12\%$ ).

- Área cultivada. El área cultivada en café de Boyacá muestra una alta estabilidad, con leves expansiones y se ha mantenido con una baja variabilidad a lo largo del tiempo, con un promedio de 14500 ha ( $\pm 7\%$ ).

### Contexto económico y agropecuario

- PIB agropecuario departamental. En promedio los cultivos de café en Boyacá representan 1.450.000 millones de pesos/año, lo que es equivalente a  $\approx 28\%$  del PIB agrícola de Boyacá. Se evidencia un leve crecimiento que puede estar por el orden de  $1.8\%$  / año.
- Costo fijo. El costo fijo aumenta la vulnerabilidad financiera de los cultivos. Para el caso se evidencia una estabilidad (crecimiento lento) en el periodo que va entre el 2010 y el año 2021. En el periodo 2022-2024, se evidencia un salto en el costo (incremento del  $32\%$ ).
- Índices de precios del café. En promedio este sector se mueve en un  $6\%$ . Mostrando gran estabilidad a lo largo del precio. Sin embargo, dado sus recientes incrementos en el costo de producción, puede esto impactar directamente en el valor asegurado y la estimación del valor de las primas.
- Productores de café. En Boyacá, se identifican alrededor que 13 mil productores de café, que se encuentran distribuidos principalmente en pequeñas parcelas y fincas ( $< 5$  ha) quienes representan el  $82\%$  de los beneficiarios.

## 3. Modelado predictivo

Entrenamiento de un **modelo supervisado multivariado** (p. ej., Random Forest o Gradient Boosting) que relacione las condiciones climáticas con los rendimientos del café. Evaluación mediante métricas como **MAE**, **RMSE** y **R<sup>2</sup>** para estimar la pérdida esperada y definir un **índice de riesgo climático**.

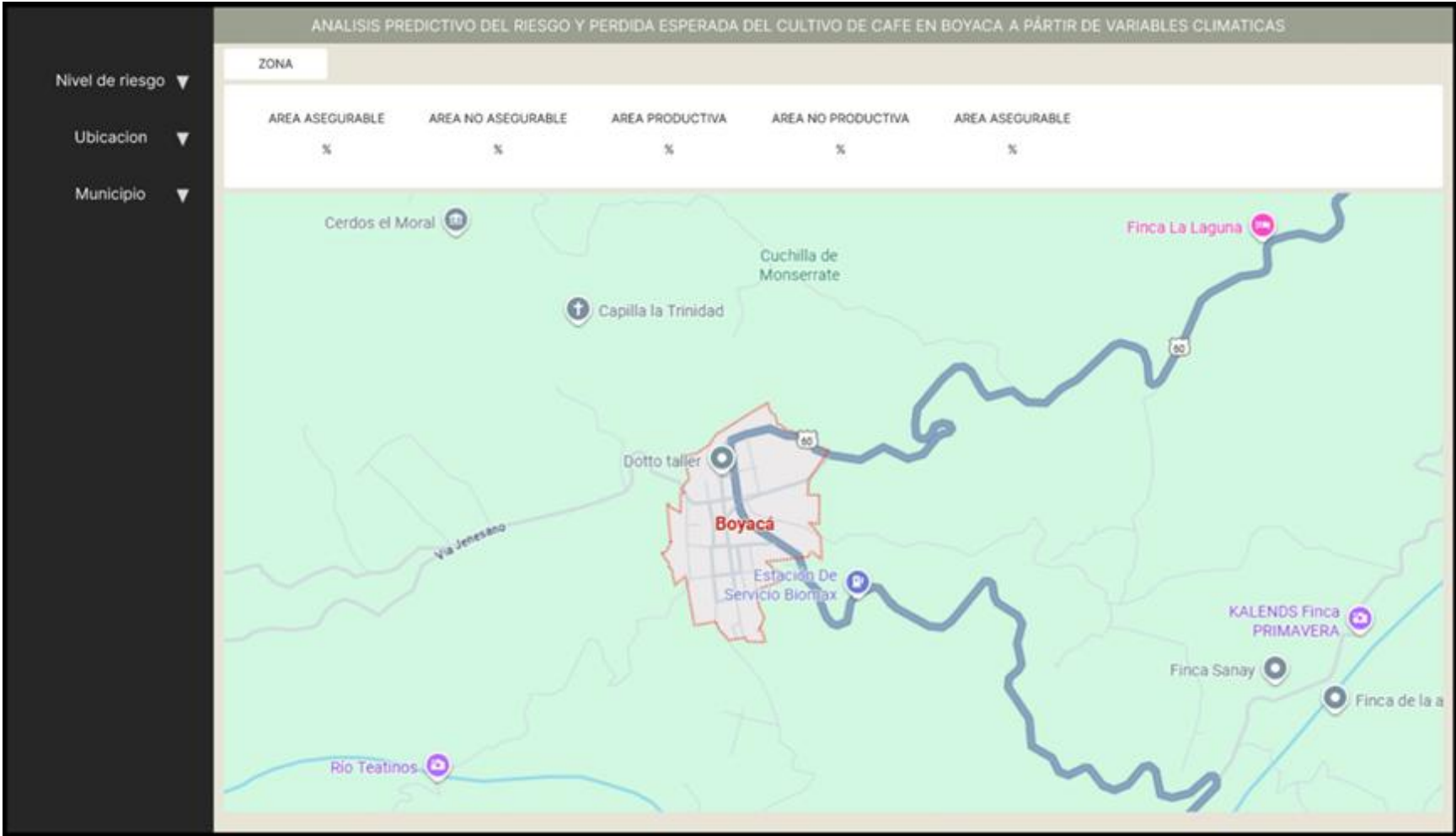
## 4. Empaquetamiento y despliegue

Empaquetamiento del modelo entrenado, desarrollo de una **API** para consultas y un **tablero interactivo** (Streamlit/AWS) para visualizar resultados y métricas. Todo el código será gestionado en **GitHub** y los datos en **DVC**.

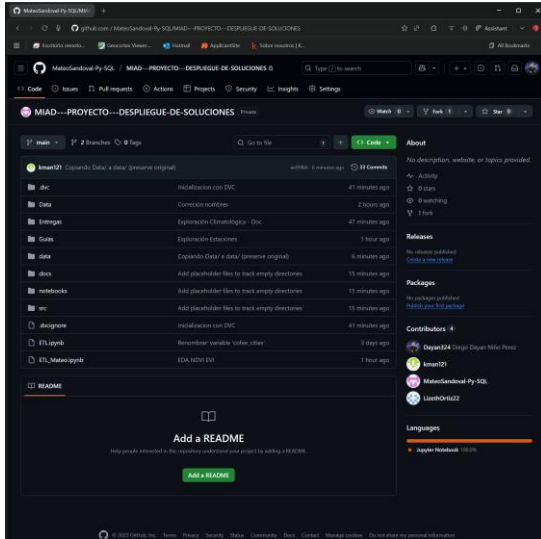
## 5. Validación y documentación

Elaboración de un **informe técnico** con resultados, métricas y recomendaciones para su aplicación práctica en aseguradoras y cooperativas agrícolas.

MockUp



# Reporte de trabajo en equipo



## Contribuciones.

Camilo Flórez (kman121).

- Definición y alcance del proyecto
- Recolección de información de índices de vegetación.
- DVC
- Aportes a informe final.

Diego Niño (Dayan324).

- Estandarización de información
- Recolección de información climatológica.
- Análisis Exploratorio de Datos.
- Aportes a informe final.

Lizeth Ortiz (LizethOrtiz22).

- Recolección de información económica y de contexto agrícola.
- Aportes a informe final.

Mateo Sandoval (MateoSandoval-Py-SQL).

- Creación y coordinación de repositorio GitHub
- Integración de datos.
- Análisis exploratorio de datos
- Mockup
- Aportes a informe final.

## Repositorio en GitHub

<https://github.com/MateoSandoval-Py-SQL/MIAD---PROYECTO---DESPLIEGUE-DE-SOLUCIONES>

```
MINGW64 ~/DATA ANALIST/Git/Proyecto Despliegue/MIAD---PROYECTO---DESPLIEGUE-DE-SOLUCIONES
commit 17a3d780a922c99f99e463850d03b52ab63fb2b8 (HEAD -> main)
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 21:40:02 2025 -0500

    Exploración Climatológica - Doc

commit 031fca438c7d0e89b98300de182be92b6cd71e
Merge: a734dd3 3a61c84
Author: MateoSandoval-Py-SQL <mat.sandoval@gmail.com>
Date: Mon Oct 27 21:29:50 2025 -0500

    EDA NDVI EVI

commit 3a61c84b54caa1889970be7d1c4cd3134b0b51a0
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 21:14:31 2025 -0500

    Exploración Estaciones

commit e2b277f1a514cb930cfe96b666322f2d736334b
Merge: 047d431 df386e8
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 20:44:55 2025 -0500

    Form y Datos

commit 17a3d780a922c99f99e463850d03b52ab63fb2b8 (HEAD -> main)
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 21:40:02 2025 -0500

    Exploración Climatológica - Doc

commit 031fca438c7d0e89b98300de182be92b6cd71e
Merge: a734dd3 3a61c84
Author: MateoSandoval-Py-SQL <mat.sandoval@gmail.com>
Date: Mon Oct 27 21:29:50 2025 -0500

    EDA NDVI EVI

commit 3a61c84b54caa1889970be7d1c4cd3134b0b51a0
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 21:14:31 2025 -0500

    Exploración Estaciones

commit e2b277f1a514cb930cfe96b666322f2d736334b
Merge: 047d431 df386e8
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 20:44:55 2025 -0500

    Merge branch 'main' of https://github.com/MateoSandoval-Py-SQL/MIAD---PROYECTO---DESPLIEGUE-DE-SOLUCIONES

commit 047d431c05fc9860c5c9e9749e357072a0045
Author: Diego Dayan Niño Pérez <i71620887@dayan324users.noreply.github.com>
Date: Mon Oct 27 20:44:46 2025 -0500

    Forma y Datos

commit df386e8ed3871f59193d825a02708dccc9f26b45
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 20:30:44 2025 -0500

    Corrección nombres

commit a734dd3a2d2305c9b9726968b66d9d2dc5da516
Author: MateoSandoval-Py-SQL <mat.sandoval@gmail.com>
Date: Mon Oct 27 20:14:32 2025 -0500

    MOCK UP

commit 70af99b7464b6c780c597a703756b96cde432b0e
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 16:01:37 2025 -0500

    Datos Satelitales NVDI y EVI BOYACA. 2005-2025

commit ca71def8e26df0231720659f732749750d1c93
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 15:51:34 2025 -0500

    Descripción de los conjuntos de datos a emplear

commit 44c6cb108eb8ab277871f95f71dc621f15d570
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 15:45:54 2025 -0500

    Alcance Proyecto

commit 06da94a968000e499acc94bc794e23eaa5e8ceb1
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 15:38:58 2025 -0500

    Entrega 1 Doc

commit 81e062aa2b2f21a77af2f31f48816baa30f46c9e
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
Date: Mon Oct 27 14:38:48 2025 -0500

    Eliminación Documento No necesario

commit 488593f2b3af5208c15f1a94a18b5f52e1cb8076
Author: kman121 <camiloandresfelu@ups.edu.co>
```