

**MIM | Modelos Matemáticos en Economía de los Recursos Naturales****Práctica 4: Análisis espacial de sostenibilidad de recursos naturales**Participante: [Ivan Mamani Condori](#)

Fecha: 01/02/2026

**Instrucciones: Producto esperado:**

- Mapas temáticos
- Tablas de áreas afectadas
- Interpretación económico–ambiental

**Análisis espacial de sostenibilidad de recursos naturales****1. Objetivo**

Evaluar de manera espacial la sostenibilidad de los recursos naturales en Bolivia, utilizando imágenes satelitales de alta resolución y herramientas de análisis geoespacial para identificar patrones, relaciones y tendencias que contribuyan a la gestión sostenible del territorio.

**2. Fundamentación teórica**

El análisis espacial constituye una herramienta fundamental para el estudio de los sistemas territoriales, permitiendo identificar patrones y tendencias en variables ambientales y productivas a escala local y regional. A través de la integración de información geográfica, datos satelitales y métricas cuantitativas, es posible evaluar la distribución de la vegetación, la humedad del suelo, la cobertura del agua y otros indicadores críticos para la gestión sostenible de los recursos. Este enfoque permite comprender cómo factores naturales y antropogénicos interactúan, facilitando la detección de áreas con riesgo de degradación o con alto potencial productivo.

En el contexto agrícola, el análisis espacial aporta información clave para la planificación de cultivos, la optimización de insumos y la toma de decisiones estratégicas orientadas a la sostenibilidad. Al relacionar indicadores ambientales con actividades económicas y productivas, es posible establecer correlaciones entre el uso del suelo, la disponibilidad de agua, el rendimiento de los cultivos y las prácticas de manejo. Esta fundamentación teórica sustenta el presente estudio, proporcionando un marco conceptual para el procesamiento de datos geoespaciales y la generación de modelos que apoyen decisiones basadas en evidencia científica.

**3. Área de estudio**

El área de estudio comprende la **región de Santa Cruz**, específicamente los sectores de **Motacusito y Quinta Bella Vista**, Bolivia, caracterizada por su vocación agrícola y

su actividad productiva diversificada. La zona se encuentra en una transición entre llanuras aluviales y terrenos ligeramente ondulados, lo que genera variaciones en pendiente, drenaje y retención de agua en el suelo. Estas características geomorfológicas afectan directamente la distribución de la humedad, el desarrollo de los cultivos y la respuesta espectral de la cobertura vegetal, factores fundamentales para los análisis geoespaciales realizados.

Climáticamente, la región presenta un **clima tropical-subhúmedo**, con lluvias concentradas en la época húmeda y periodos secos que pueden generar estrés hídrico en los cultivos, afectando su rendimiento. Las temperaturas medias elevadas y la alta radiación solar favorecen el crecimiento de cultivos como el maíz, pero también incrementan la evapotranspiración potencial. La delimitación del área de estudio se realizó mediante datos satelitales de resolución media y alta, permitiendo evaluar indicadores de vigor vegetal, disponibilidad hídrica y productividad agrícola, proporcionando información precisa para la gestión sostenible y la planificación agrícola.

#### 4. Datos utilizados

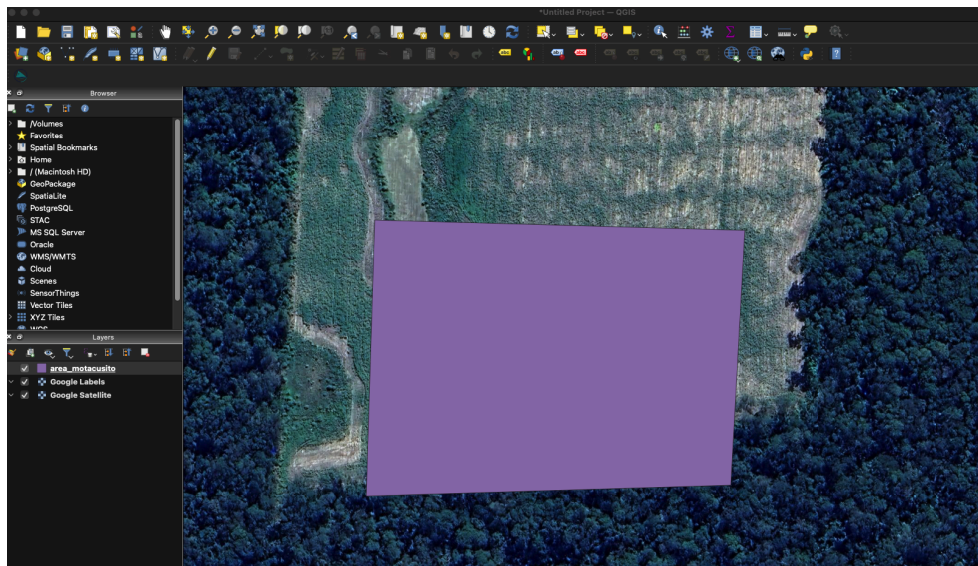
Para el desarrollo del análisis se empleó una combinación de **datos satelitales, geoespaciales y climáticos**, integrados a través de plataformas avanzadas como **QGIS, Google Earth Engine y Google Colab**. Los datos satelitales incluyeron imágenes de **Sentinel-2** para evaluar la vegetación y la humedad superficial, y productos **MODIS** para monitorear temperatura y evapotranspiración. Además, se incorporaron **modelos digitales de elevación**, información de pendientes y mapas de zonas de manejo agrícola, con el fin de contextualizar las variables ambientales y su impacto en el rendimiento de los cultivos.

Estos datos fueron procesados y analizados mediante flujos de trabajo automatizados en Python dentro de Google Colab, permitiendo la extracción de estadísticas, la generación de índices vegetativos y la construcción de **modelos predictivos de rendimiento agrícola**. La integración de estas fuentes permitió obtener un **conjunto de información robusto y multidimensional**, que respalda la evaluación espacial de la sostenibilidad de los recursos naturales y facilita la visualización de patrones críticos para la toma de decisiones estratégicas en la región de estudio.

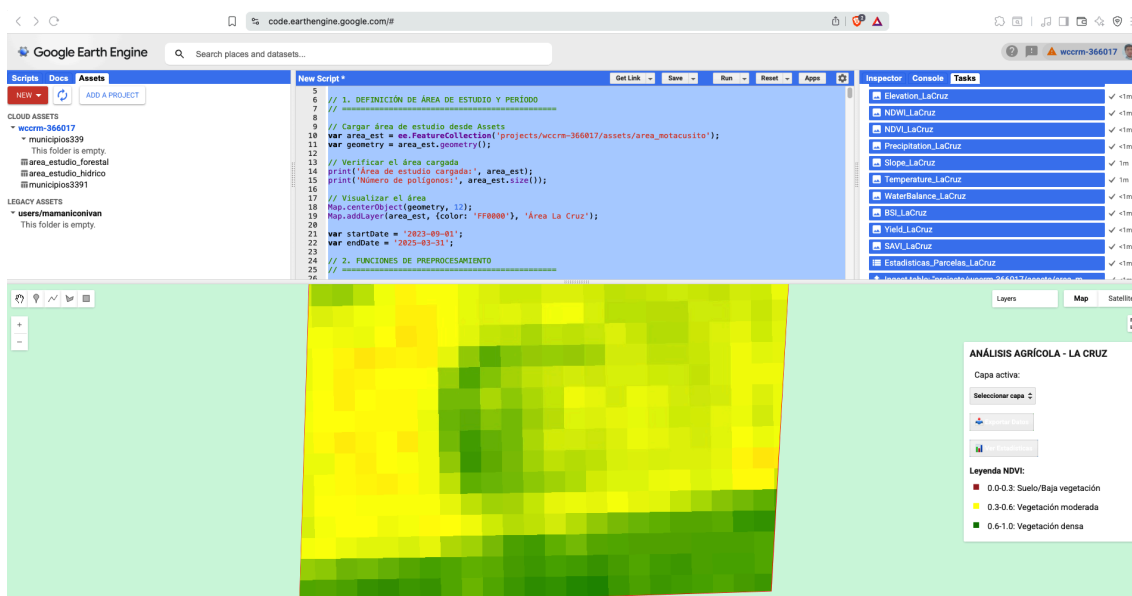
#### 5. Metodología

El presente análisis se desarrolló mediante un enfoque geoespacial, integrando imágenes satelitales, datos climáticos y geográficos para evaluar el estado del cultivo de maíz en la zona de La Cruz. Inicialmente, se recopilaron y organizaron los datos raster provenientes de Google Earth Engine, incluyendo índices de vegetación

(NDVI, SAVI), índices hídricos (NDWI), balance hídrico, precipitaciones, temperatura, elevación y pendientes del terreno. Estos datos fueron procesados y normalizados en Google Colab utilizando librerías de Python especializadas en manejo de información geoespacial, tales como Rasterio, GeoPandas y NumPy.



Posteriormente, se calcularon índices derivados, como el **Crop Stress Index (CSI)**, y se generaron estadísticas descriptivas para cada variable, incluyendo media, mínimo, máximo y desviación estándar. La visualización de los datos se realizó mediante mapas zonales y gráficos de distribución que permitieron identificar patrones espaciales de vigor vegetal y zonas críticas de humedad. Finalmente, se elaboró un informe técnico automatizado en formato Word, que integra resultados cuantitativos, gráficos y recomendaciones para la gestión agrícola, asegurando la trazabilidad de la información y la replicabilidad del análisis.



## 6. Análisis y resultados



# Informe de Análisis Agrícola Avanzado

## Proyecto: Agricultura Sostenible - La Cruz

Fecha: 01/02/2026 23:22

GEONORTH

### 1. Resumen Ejecutivo

El presente informe técnico detalla los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos satelitales y modelos geospaciales aplicados al cultivo de Maíz en la zona de La Cruz. Se han evaluado indicadores clave de vigor vegetal, humedad del suelo, balance hídrico y potencial de rendimiento.

### 2. Estadísticas y Resultados

Capa	Media	Mín	Máx	Desv_Est
NDVI	0.461	0.341	0.694	0.091
NDWI	-0.493	-0.616	-0.424	0.043
SAVI	0.290	0.227	0.406	0.041
BSI	0.137	-0.076	0.235	0.076
YIELD	6148.760	4545.576	9250.424	1211.078
WATER_BALANCE	655.051	654.680	655.243	0.145
PRECIPITATION	663.764	663.764	663.764	0.000
TEMPERATURE	28.443	28.443	28.443	0.000
ELEVATION	298.105	295.000	300.000	1.385
SLOPE	2.433	0.000	4.182	1.085
ZONES	2.515	0.000	4.000	1.107
CSI	-0.927	-1.201	-0.768	0.101

### 3. Análisis Visual y Espacial

#### 3.1 Distribución de Índices

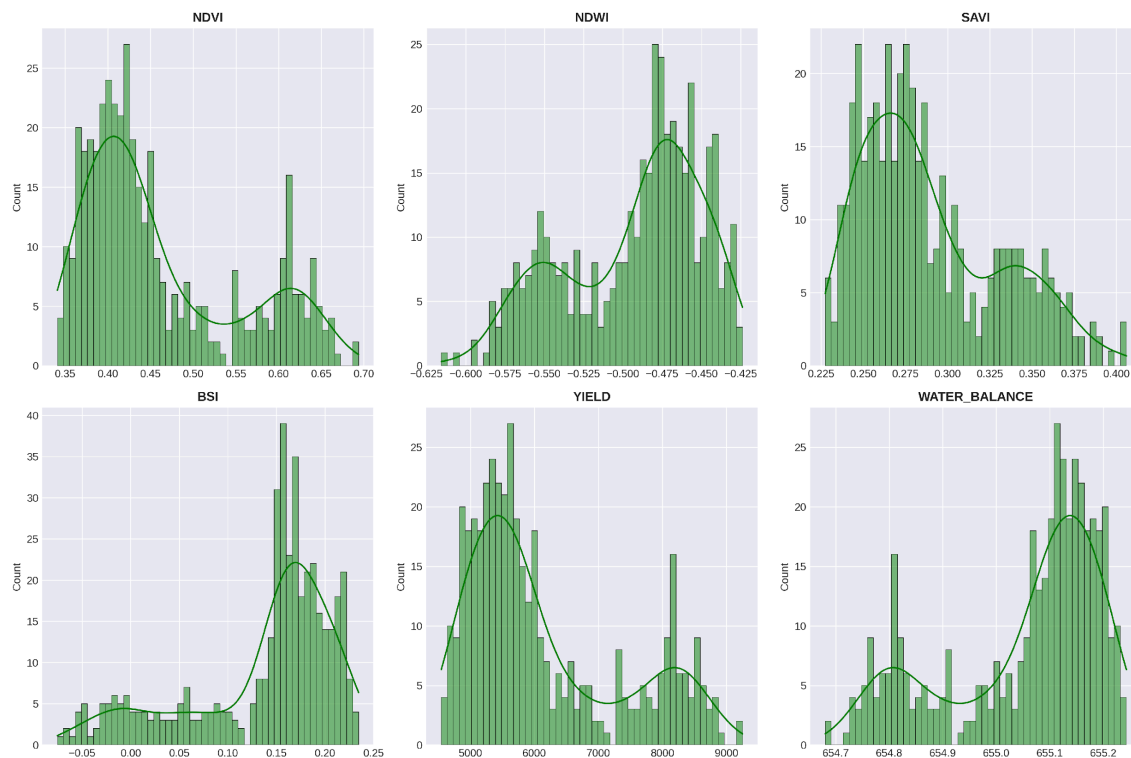


Figura 1: Histogramas de frecuencia que muestran la distribución estadística de los índices.

#### 3.2 Mapas de Superficie

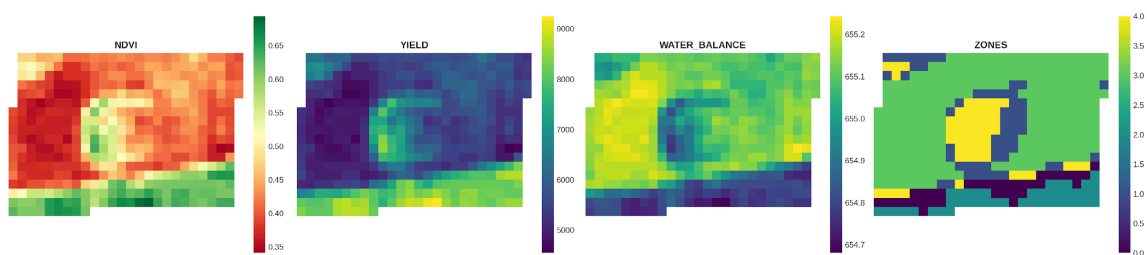


Figura 2: Distribución espacial de NDVI, Rendimiento y Balance Hídrico.

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

- **Estado del Cultivo:** La salud vegetal se reporta como Estable con un NDVI promedio de 0.46.
- **Proyección de Rendimiento:** Se estima una producción promedio de 6149 kg/ha para el lote analizado.
- **Gestión de Recursos:** Se recomienda el monitoreo constante de las zonas identificadas con balance hídrico crítico.

---

**M.Sc. Edwin Calle Condori**  
*CEO & Founder Geonorth*

## 7. Conclusión

El análisis espacial y la evaluación de indicadores ambientales y vegetativos muestran que el cultivo de maíz en la zona de La Cruz presenta un **estado de salud vegetal estable**, con un NDVI promedio de 0.461 y valores de SAVI y BSI que reflejan un vigor moderado y condiciones de suelo adecuadas. Los índices hídricos, incluyendo NDWI y balance hídrico, indican áreas con déficit relativo de humedad, mientras que las variables climáticas y topográficas, como temperatura, precipitación, elevación y pendiente, se mantienen dentro de rangos favorables para el desarrollo del cultivo. Estos resultados evidencian que, aunque el cultivo se encuentra en condiciones estables, existen zonas que requieren atención específica para optimizar el rendimiento.

La **proyección de rendimiento promedio estimado en 6149 kg/ha**, junto con la integración de datos satelitales y geoespaciales, permite identificar áreas críticas y planificar estrategias de manejo agrícola más precisas. Se recomienda mantener un **monitoreo continuo del balance hídrico** y de los indicadores de estrés vegetal, implementando medidas de riego y manejo diferenciado de suelos en las zonas que presentan valores extremos. Este enfoque contribuirá a mejorar la eficiencia en la utilización de recursos y a garantizar la sostenibilidad del sistema productivo en la región analizada.

## 8. Anexos

REPOSITORIO CON CÓDIGO FUENTE DE LOS MODELOS Y RESULTADOS:  
<https://github.com/mc-ivan/analisis-agricola>