

Aplicación de la tecnología AMTEC para la gestión de datos del cultivo de arroz en Côte d'Ivoire: Application of AMTEC technology for rice cultivation data management in Côte d'Ivoire:

Laura-Mercedes Arteaga-Rojas ^a, John-Monje ^b, Edgar-Alirio Aguirre ^c

^aIngeniería de Sistemas, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

^aIngeniería de Agroecología, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

^aIngeniería de Electrónica, UNIMINUTO, 111311, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

Resumen

La transferencia del modelo tecnológico AMTEC de cultivo de arroz se realizó en cuatro veredas rurales de Costa de Marfil. El objetivo fue implementar prácticas agroecológicas y tecnológicas para mejorar la producción y el cuidado del arroz. Se desarrolló una página web bajo la modelo vista controlador (MVC) para que los productores ingresen datos durante los procesos de monitoreo manual. Las actividades incluyeron levantamientos topográficos, monitoreos con drones y análisis de datos satelitales y climáticos. En el Territorio 1, se observó una predominancia de lluvias en junio y baja precipitación en diciembre, recomendando el uso de drones para el monitoreo. En el Territorio 2, se destacó la necesidad de sistemas de riego debido a la disminución de lluvias desde 2021. En los Territorios 3 y 4, se identificaron áreas de vegetación escasa y vegetación, utilizando sensores para mejorar la precisión de los datos. El monitoreo mostró índices de vegetación (NDVI) variando de 0.4 a 0.7 en diciembre, con predicciones de precipitaciones futuras de 0.577803 mm en 2025, -1.035868 mm en 2035 y -2.649539 mm en 2045. Datos satelitales indicaron que en el Territorio 1, los índices de vegetación aumentaron cada año, con un NDVI cercano a 1 para diciembre. Los datos de monitoreo en el Territorio 2 mostraron un NDVI estable entre 0.6 y 0.7 desde 2016, aunque las lluvias disminuyeron significativamente en 2023. La página web facilita la recopilación y gestión de estos datos, mejorando las decisiones agrícolas basadas en información precisa y actualizada.

1. *Palabras clave: Cultivo de arroz, Monitoreo satelital, Dron de datos, NDVI*

Abstract

The transfer of the AMTEC technological model for rice cultivation was carried out in four rural areas of Côte d'Ivoire. The objective was to implement agroecological and technological practices to improve rice production and care. A web platform was developed under the Model-View-Controller (MVC) model for producers to enter data during manual monitoring processes. Activities included topographic surveys, drone monitoring, and analysis of satellite and climatic data. In Territory 1, a predominance of rain was observed in June and low precipitation in December, recommending the use of drones for monitoring. In Territory 2, the need for irrigation systems was highlighted due to the decrease in rainfall since 2021. In Territories 3 and 4, areas of drought and vegetation were identified, using sensors to improve data accuracy. Monitoring showed vegetation indices (NDVI) ranging from 0.4 to 0.7 in December, with future precipitation predictions of 0.577803 mm in 2025, -1.035868 mm in 2035, and -2.649539 mm in 2045. Satellite data indicated that in Territory 1, vegetation indices increased each year, with an NDVI close to 1 for December. Monitoring data in Territory 2 showed a stable NDVI between 0.6 and 0.7 since 2016, although rainfall decreased significantly in 2023. The web platform facilitates the collection and management of these data, improving agricultural decisions based on precise and updated information.

Keywords: Rice Cultivation, Satellite Monitoring, Data Dron, NDVI

*Autor para la correspondencia: laura.artega-r@uniminuto.edu.co

Correo electrónico: laura.artega-r@uniminuto.edu.co (Laura Mercedes Arteaga Rojas), jmonje@uniminuto.edu (John Monje), eaaguirreb@correo.udistrital.edu.co (Edgar Alirio Aguirre).

1. Introducción

La implementación de tecnologías agrícolas avanzadas es crucial para mejorar los rendimientos de los cultivos y la sostenibilidad en las zonas rurales. En Costa de Marfil, la formación a productores de arroz de la transferencia del modelo tecnológico AMTEC para cultivos de arroz se llevó a cabo en cuatro áreas rurales que producen arroz con técnicas de prácticas agroecológicas y tecnológicas. El proyecto tenía como objetivo aprovechar herramientas modernas, incluidos aeronaves no tripuladas UAS y datos satelitales, para monitorear y gestionar el cultivo de arroz.[1]

Adicional, se plantea el desarrollo de un piloto de una página web utilizando el modelo Vista-Controlador (MVC), permitiendo a los productores ingresar datos durante los procesos de monitoreo manual de precipitaciones, condiciones del suelo, temperatura, etc. Esta web facilita la recopilación y gestión de datos, proporcionando información precisa y actualizada para mejorar las decisiones agrícolas.

Las actividades incluyeron levantamientos topográficos, monitoreo con drones y análisis de datos satelitales y climáticos. En el Territorio 1, se observó una predominancia de lluvias en junio, mientras que la baja precipitación en diciembre destacó la necesidad de monitoreo basado en drones. El Territorio 2 experimentó una disminución significativa en las precipitaciones desde 2021, enfatizando la necesidad de sistemas de riego. En los Territorios 3 y 4, se identificaron áreas de vegetación escasa y vegetación utilizando sensores para mejorar la precisión de los datos.[2, 4]

El monitoreo reveló índices de vegetación (NDVI) que variaban de 0.4 a 0.7 en diciembre, con predicciones futuras de precipitación que indican un declive, con valores de 0.577803 mm en 2025, -1.035868 mm en 2035 y -2.649539 mm en 2045. Los datos satelitales mostraron un aumento anual en los índices de vegetación en el Territorio 1, con NDVI cercano a 1 en diciembre. En el Territorio 2, se observó un NDVI estable entre 0.6 y 0.7 desde 2016, aunque 2023 vio una reducción significativa en las precipitaciones. Este enfoque integral demuestra la importancia de integrar tecnologías avanzadas de monitoreo para apoyar la agricultura sostenible en Costa de Marfil. [3,4]

2. Materiales y Método

Para comprender el análisis del territorio se hizo uso de imágenes satélites, que permitieron identificar variables de las condiciones del suelo y climatológicas durante los últimos 25 años. Y en complemento a las imágenes satelitales, se realizó un monitoreo con fotogrametría con el uso del dron DJI MINI 2 con el fin de correlacionar los datos de satélite y dron. Por consiguiente, se realizó un análisis a través de técnicas de procesamiento supervisadas de la data set de datos de UAS y

satelital de acuerdo con las condiciones de cada territorio investigado [5,6]. por lo cual el área de estudio abordado en este artículo se enfocó en cuatro territorios productores de arroz de Costa de Marfil de acuerdo con las orientaciones y directrices de la Agencia para el Desarrollo del Sector ARROZ (ADERIZ) de Costa de Marfil y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia.[7]

Los factores que influyen las condiciones del suelo son los cambios de la temperatura, precipitaciones, el uso de la tierra y la concentración de CO². [4]

El modelo de regresión lineal, se enfoca en el análisis multitemporal de vegetación se describe bajo tres fases.

La primera fase, es la adquisición de los datos de acuerdo con el área de estudio, la segunda fase es el procesamiento y correlación de los datos fenológicos del data set de las imágenes de los satélites Landsat 5,7 y 8 y el orto mosaico de datos de dron por cada territorio visitado con los resultados del data set de imágenes del satélite IDAHO meteorológicos y la última fase es el análisis de los datos y visualización, aplicando modelos de Machine Learning de aprendizaje automático de predicción. , como se apreciar en la Figura 1.

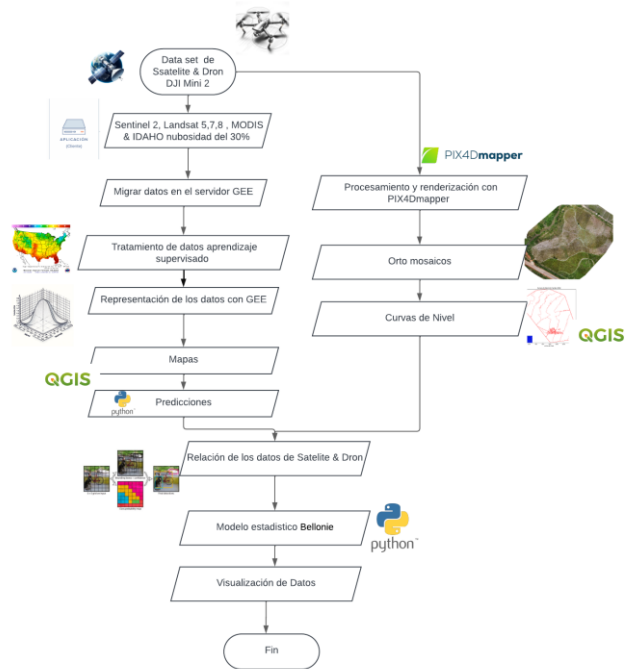


Figura 1: Modelo de análisis multitemporal de vegetación.

En la primera fase se adquirieron las coordenadas del polígono de los cuatro territorios. También se representan las Coordenadas por cada territorio, usando el Geoportail (GEE) Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>) que aloja un data set de imágenes captadas por diferentes satélites, almacenados en el servidor de GEE contiene la

interfaz de JavaScript que proporciona información de diferentes bandas, entre esas, las infrarrojas (SWIR), las rojas (NIR) y entre otras. Permitiendo, combinarse entre sí obteniendo índices de vegetación como NDVI, EVI, NDWI, SAVI mensuales desde 1984 hasta 2023.

Y en esta primera fase, también se toman los datos topográficos con fotogrametría con el uso del dron DJI Mini 2 de cada uno de los territorios de Costa de Marfil en África. Los estudios con UAV se llevaron a cabo entre mediados (Diciembre). Luego, se digitaliza en el programa de procesamiento de datos de UAS Pix4D permitiendo obtener los orto mosaicos y datos RGB obtenidos del dron por cada territorio visitado.

En la segunda fase, los datos satelitales, se delimitan con el uso de un método de regresión lineal limitada de las imágenes de Landsat 5,7,8 y Sentinel 2, se seleccionaron datos satelitales de acuerdo con el año de monitoreo de cada satélite para una meta data de nubosidad del 30% entre los años 1984 y 2023.

También se normalizan los datos utilizando el entorno de servidor de Google Earth Engine (GEE), que opera mediante la interfaz de JavaScript. Esto permite que la recopilación y el alojamiento de datos meteorológicos de cada uno de los años en relación con el resultado de los datos vegetativos bajos o altos de acuerdo con las coordenadas de cada territorio. Ver Tabla 1. Coordenadas de los territorios.

Tabla 1: Coordenadas de los territorios

Lugar	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Divo	-5.3228	5.8501
Sakassou	-5.0588	7.9000
África R	-5.3149	7.4719
M'Bahioakro	-4.3068	7.477

La tercera fase, el algoritmo de clasificación supervisada para determinar el comportamiento fenológico del ecosistema terrestre, se han desarrollado varios índices que emplean diferentes bandas de longitud de onda obtenidas de imágenes satelitales. Para este estudio se destacan los índices de NDVI, EVI, NDWI y SAVI, que son dependientes de las condiciones del áreas de estudio, permitiendo identificar la relación normalizada del rojo. Los métodos usados para identificar las propiedades de reflectancia espectral de la vegetación K-Means. [8].

Adicional, se utilizaron estadísticas descriptivas e histogramas, calculados con el software R, para una comparación preliminar de los datos de imagen con resoluciones. Luego se investigó el grado de correlación entre pares con el uso de Python y el software QGIS para el procesamiento de mapas, histogramas y de curvas de nivel del análisis de las bandas RGB y ortofotos adquiridas de la UAS

y data set satelital conforme a las condiciones del sensor remoto del Dji mini 2 que solo tiene tres bandas. [1,9]

Otra técnica, para alertar a las comunidades del estado actual de la vegetación, se realizan predicciones usando el modelo de aprendizaje automático del data set satelital e histogramas encontrados de las bandas RGB de las aeronaves UAS.

Además, las condiciones actuales de cada territorio, los autores participes cualitativamente observaron el bajo uso de herramientas tecnológicas, productores no contaban con maquinaria y se produce bajo a los requerimientos de ADERIZ, para que los productores diligencien los datos meteorológicos en la web, provenientes de pluviómetros, permiten alertar los conocimientos del estado actual climático de cada uno de los territorios visitados y monitoreados en Costa de Marfil de acuerdo con los requerimientos de ADERIZ.

Por ello, la adquisición de datos ingresados por los productores en la web, se basa en el modelo vista controlador, patrón de diseño que separa una aplicación en tres componentes: Modelo (gestiona datos y lógica), Vista (presenta la información) y Controlador (intermediario que procesa entradas y actualiza la Vista). Facilita el mantenimiento y la escalabilidad.. Ver Figura 2 Diagrama de despliegue

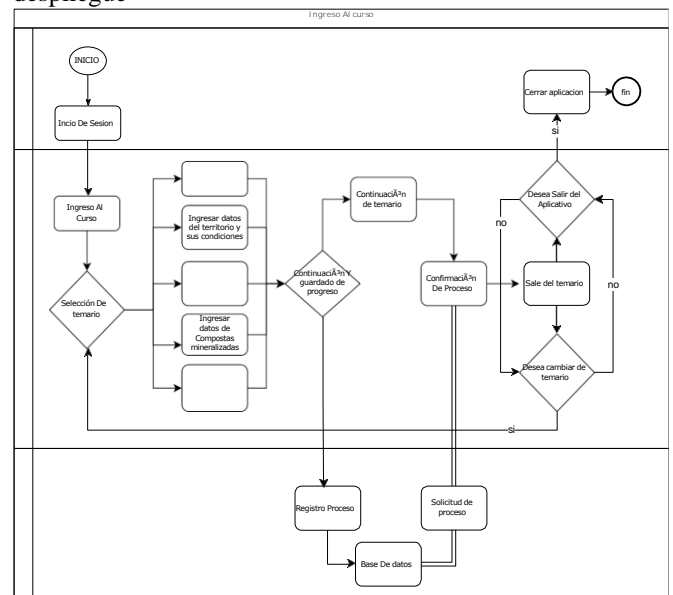


Figura 2: Diagrama de despliegue

3. Resultados

Se evidencian problemas en Costa de Marfil en los territorios investigados como también en Colombia debido a la falta de insumos y herramientas especializada para la producción de arroz.

Los resultados actuales se enfocan el monitoreo tecnológico en sitio del ciclo de vida del conjunto de datos

incluye un proceso de ETL (Extracción, Transformación y Carga) que implica la extracción, transformación y carga de datos para su análisis en cada territorio. Primero, se limpian y organizan los datos en bruto para prepararlos para el almacenamiento, el análisis y las aplicaciones de aprendizaje automático para las predicciones. Este proceso abarca el análisis de la relación entre los datos de precipitación y temperatura, la correlación de los datos de vegetación (NDVI) con las precipitaciones y la temperatura, la generación de mapas, curvas de nivel y ortomosaicos a partir de datos de drones y satélites, y la realización de predicciones específicas para cada territorio. Por último, se muestra el resultado de la web creada para ingresar los datos meteorológicos de cada territorio por parte de los productores de arroz.

3.1. Resultados Precipitaciones en relación con la temperatura.

A continuación se muestra la relación entre la temperatura y las precipitaciones por cada uno de los territorios visitados e investigados. Como se puede apreciar en la siguiente Figura 3. En cada uno de los territorios se pueden observar cambios máximos y mínimos, como en el territorio de Divo presenta un patrón climático con máximas precipitaciones entre abril y junio, superando los 200 mm, mientras que los mínimos se dan de diciembre a febrero, con valores entre 2 y 40 mm. Las temperaturas más altas ocurren en febrero y marzo, llegando a superar los 35 °C, mientras que las más bajas se registran entre junio y agosto, rondando los 26 °C.

En Sakassou, las temperaturas muestran una variación significativa a lo largo del año. Los meses más cálidos son febrero y marzo, con temperaturas máximas que superan los 40 °C, mientras que los meses más frescos, como mayo, junio, julio y septiembre, tienen mínimos por debajo de 25 °C. Esta variación sugiere un clima marcado por períodos de intenso calor y otros más moderados.

El análisis de los datos de precipitación y temperatura una de las piscinas de África Raice muestra variaciones notables a lo largo de los años. Los meses con mayores precipitaciones suelen ser abril, mayo y septiembre, con registros máximos que superan los 300 mm, mientras que los meses con menos lluvias se encuentran entre diciembre y febrero, con algunos registros mínimos cercanos a 0 mm. En cuanto a la temperatura, los valores más altos se observan durante los meses de febrero y marzo, alcanzando los 40°C, mientras que los más bajos se presentan en junio y julio, rondando los 26°C.

El análisis de M’bahiakro muestra variaciones significativas en precipitaciones y temperatura por meses. Las lluvias más intensas se presentan en septiembre y abril, mientras que los valores mínimos se dan en enero y diciembre. Las temperaturas alcanzan máximos en febrero, superando los 42 °C, y son más bajas en julio y agosto, cerca de 25 °C. Esto

indica una estacionalidad, con lluvias y temperaturas altas coincidiendo en ciertos periodos del año.

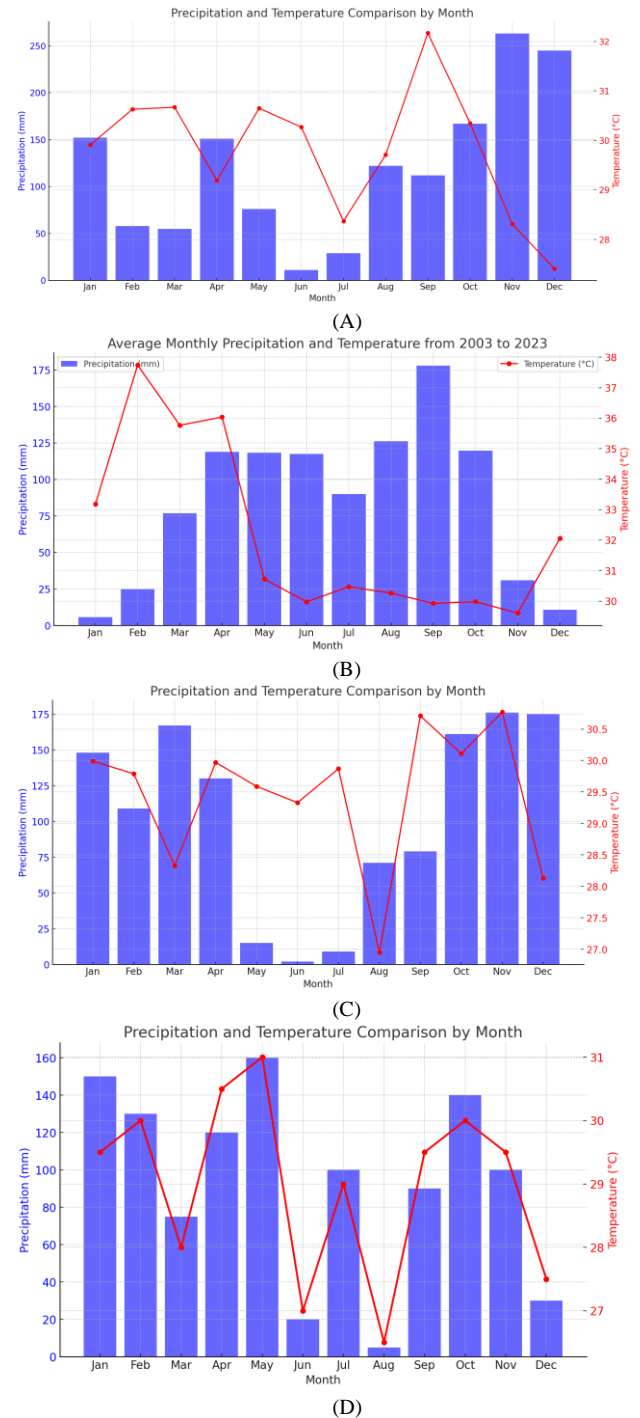


Figura 3 : Histogramas y relación de precipitaciones (mm) y temperatura (°C) de cada territorio. (A) DIVO(B) Sakassou (C) África Raice (D).M’Bahioakro.

3.1 Resultados de índices de vegetación normalizada (NDVI) en comparación precipitaciones y temperatura

A continuación se muestra uno de los territorios que sirven para mostrar la estadística usada de regresión lineal y R^2 , que permite correlacionar y determinar la vegetación escasa del territorio con referente a al NDVI (vegetación normalizada) en relación con la temperatura en relación con el dato de 30% de las nubes que toman a 0.5% de las imágenes satelitales y la cobertura vegetal. Ver Figura 4

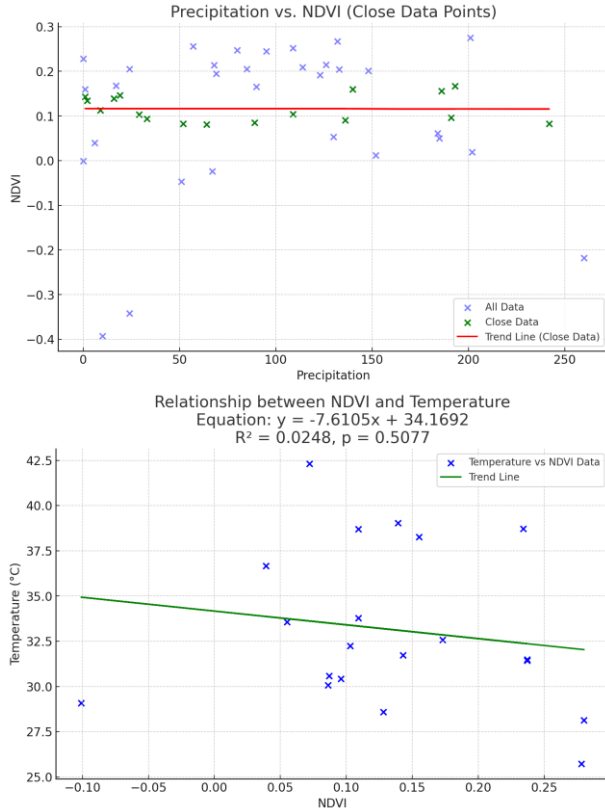
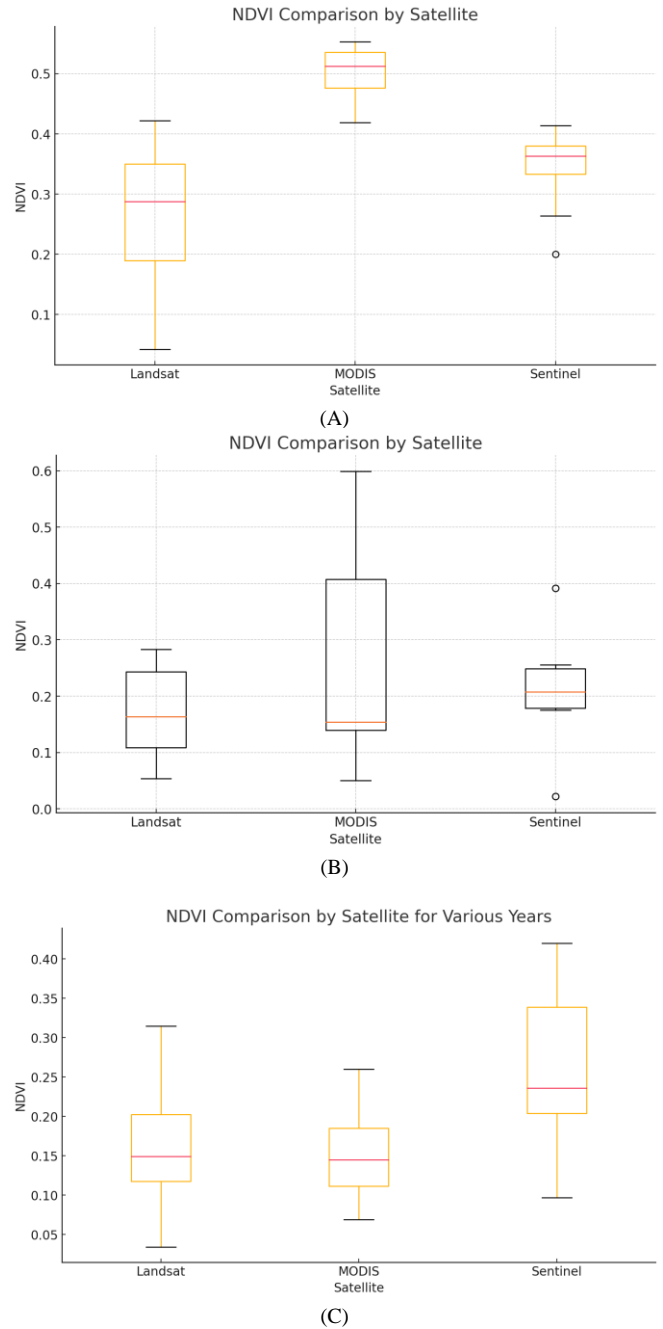


Figura 4: Línea de regresión temporal de M’Bahioakro del NDVI en relación con la Temperatura (°C) y precipitaciones (mm).

El análisis en M’Bahioakro muestra fluctuaciones significativas en los valores máximos, principalmente en marzo, abril, mayo, julio y agosto, y mínimos en diciembre, enero y febrero. La línea de tendencia indica una variabilidad considerable, con un R^2 bajo, lo que sugiere una correlación limitada y la influencia de factores adicionales en los datos. Identificar estos patrones puede ser clave para comprender las dinámicas subyacentes. Y de temperatura indica que la relación es negativa, ósea, débil entre NDVI y temperatura, con la ecuación ($y = -7.6105x + 34.1692$), ($y = -7.6105x + 34.1692$), ($y = -7.6105x + 34.1692$). El R^2 de 0.0248 sugiere que el NDVI apenas explica el 2.48% de la variabilidad en la temperatura. Los puntos cercanos a la línea de tendencia muestran una temperatura media de 32.4°C y un NDVI medio de 0.151, lo que indica una correlación baja en este conjunto de datos.

3.2 Resultados de distribución de NDVI para los satélites Landsat, MODIS y Sentinel.

A continuación, se pueden observar las escenas adquiridas de los satélites Landsat 5,7,8 ; Sentinel-2 y MODIS permitiendo determinar el índice de vegetación por cada satélite. Ver Figura 5.



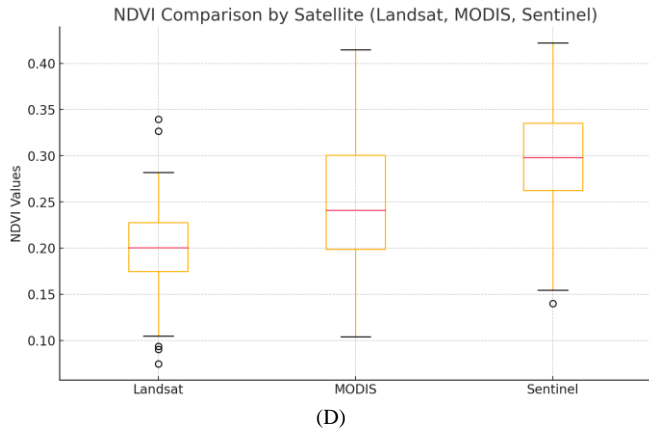


Figura 5 : Diagrama de cajas de los territorios. (A) Divo(B) Sakassou (C) África Raice (D).M’Bahioakro.

En África Raice, la comparación del NDVI por satélite revela diferencias en la monitorización de la vegetación. MODIS muestra la mayor variabilidad, con valores que van de 0.1 a más de 0.6, lo que lo hace adecuado para ecosistemas dinámicos. Landsat presenta una mediana de NDVI cercana a 0.20 y un rango más consistente, indicando estabilidad en la salud de la vegetación. Sentinel, con una mediana alrededor de 0.25, muestra una distribución más estrecha y algunos valores atípicos por debajo de 0.0, reflejando ocasionales desviaciones en las condiciones vegetativas.

En M’Bahioakro, Landsat tiene una mediana de 0.20 y poca variación, aunque se observan algunos valores atípicos bajos. MODIS muestra una mediana cercana a 0.25 y mayor variabilidad con pocos valores atípicos. En Sakassou, Sentinel captura la mayor dispersión de NDVI, de 0.05 a 0.45, mientras que Landsat presenta una mediana de 0.15 y una distribución más uniforme. MODIS, en esta región, muestra menor variabilidad y una mediana similar a Landsat.

3.3 Mapas, curvas de nivel, orto mosaicos de los datos de dron y satélite, y su relación.

A continuación, se muestra uno de los orto mosaicos elaborados y de calidad de acuerdo a las condiciones del territorio las curvas de nivel y los datos obtenidos de la fotogrametría en el territorio de Sakassou como se puede observar en la Figura 6.

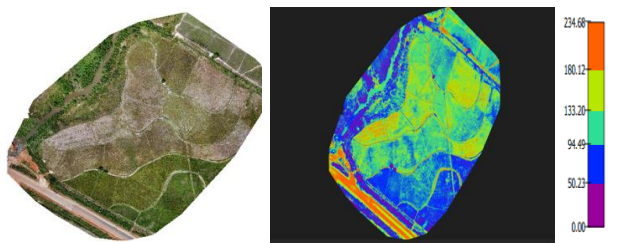


Figura 6: Orto mosaicos de Sakassou

En la siguiente figura 7, se aplica el método de Bellini para comparar las bandas Rojo, verde y azul (RGB) de la cámara del dron y del satélite

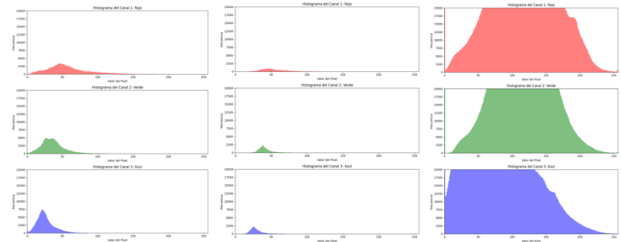


Figura 7: Histograma de datos Sentinel 2 del año 2016 (A), 2019 (B) y 2023 (C) con el uso de Dron.

Para poder empezar el trazado de Taipa, sirve para marcar los lugares donde se plantan las semillas de arroz. Y antes de, se toman las medidas con el Dron, que gracias a su sensor de altura permite nivelar el trazado de la Taipa. Ver Figura 8.

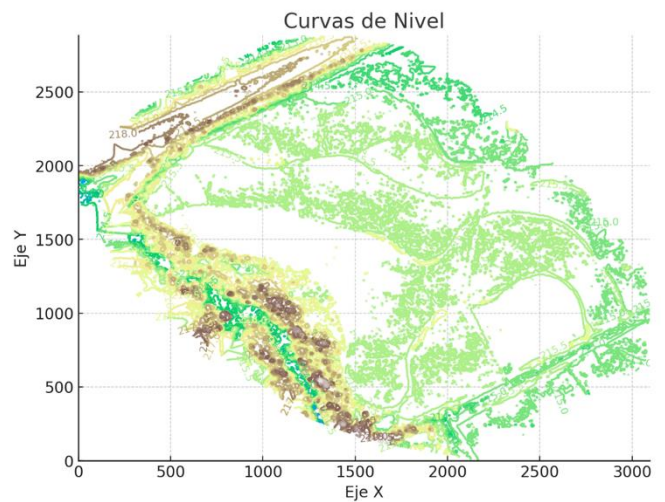


Figura 8: Curvas de nivel de Sakassou

3.4 Predicciones de NDVI

Las predicciones para los diferentes territorios muestran una tendencia general de crecimiento a lo largo de los años. En África Raice, los datos predicen valores moderados con Landsat (0.2959) y Sentinel (0.2941), mientras que MODIS registra un valor más alto de 0.5539, indicando una observación relativamente significativa en la región. El **RMSE promedio** entre Landsat y Sentinel 2 es de **0.032**, indicando una baja dispersión en las predicciones. El **MAE promedio** es de **0.026**, reflejando un error promedio bajo en los valores pronosticados. Estas métricas sugieren una alta precisión en las proyecciones de NDVI para los años 2025, 2035 y 2045, demostrando una buena cercanía a los datos históricos.

En Sakassou, se observa un incremento gradual en los valores: 0.311 para 2025, 0.361 para 2035 y 0.410 para 2045, lo que refleja un crecimiento sostenido en las próximas décadas.

Por otro lado, M’Bahioakro también muestra un aumento continuo con predicciones de 0.278 en 2025, 0.328

en 2035 y 0.379 en 2045 la validación del modelo se realizó usando técnicas RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio): 0.1002. Un RMSE bajo sugiere que el modelo es capaz de aproximar razonablemente bien los valores reales del NDVI Y MAE (Error Absoluto Medio): 0.0872. El MAE sugiere una precisión razonable del modelo.

En Divo se destaca con los valores más altos en comparación con los otros territorios, empezando con una predicción de 0.7858 en 2025, subiendo a 0.9453 en 2035 y llegando a 1.1049 en 2045. Esto sugiere un notable y sostenido crecimiento en esta región a lo largo de las dos décadas siguientes, indicando una tendencia más pronunciada que en los demás territorios analizados. Un RMSE de 0.132 indica que, en promedio, las predicciones del modelo se desvían de los valores reales en aproximadamente 0.132 unidades en términos de NDVI. Y un MAE (Error Absoluto Medio) igual a 0.127, bajo indica que el modelo es consistente, con un error promedio mínimo.

3.4 Página web

Es una herramienta interactiva que permite a los usuarios ingresar y registrar datos ambientales clave relacionados con diferentes territorios. A través de un formulario fácil de usar, se pueden introducir valores como la temperatura, la humedad, la cantidad de agua por mm de lluvia, el tipo de vegetación, datos químicos, datos biológicos y características del suelo, todos vinculados a una fecha específica (día, mes y año). La interfaz, diseñada con HTML y estilizada con CSS, facilita el ingreso de la información de manera organizada y eficiente, mientras que el backend desarrollado en PHP procesa y muestra los datos ingresados, permitiendo su manejo y análisis posterior. Ver figura 9 de la página web con el uso del servicio EC2 de Amazon S3 alojando el dominio y hosting del mismo. Esta nos permite al productor estar al tanto a ADERIZ del estado climatológico del territorio, permitiendo tomar de decisiones a mediano y largo plazo permitiendo complementar los datos satelitales y de UAS. Ver Figura 9.

Territory Data Entry

Temperature (°C):
1

Humidity (%):
40

Rainfall (mm):
100

Vegetation Type:
0.2

Chemical Data:
34- zinc

Biological Data:
44-na

Soil Data:
DIVO

Date:
13/12/2023

Submit

Figura 9: La página web del ingreso de datos agroecológicos.

4. Discusión

Los resultados y análisis de NDVI proporcionan a los agricultores información clave para ajustar sus prácticas agrícolas en función de las condiciones ambientales proyectadas. Con esta información, los agricultores pueden anticipar cambios en la vegetación y la disponibilidad de agua, lo cual les permite optimizar el uso de recursos como el riego y la fertilización. Las políticas agrícolas que podrían implementarse incluyen incentivos para la adopción de tecnologías de monitoreo satelital y drones, capacitación en prácticas de agricultura de precisión y el desarrollo de página web de visualización del monitoreo ambiental. La implementación de estas prácticas tecnológicas contribuirá a

una agricultura más sostenible y eficiente, adaptada a los cambios climáticos y a la disponibilidad de recursos.

5. Conclusiones

La implementación del modelo tecnológico AMTEC y el uso de herramientas avanzadas como drones y monitoreo satelital han demostrado ser efectivos para optimizar la producción de arroz en las zonas rurales de Costa de Marfil, permitiendo una toma de decisiones más informada y precisa sobre el manejo de los cultivos.

La variabilidad en los índices de vegetación y precipitaciones sugiere la necesidad de adaptar prácticas agrícolas específicas en cada territorio. La introducción de sistemas de riego y tecnologías de monitoreo en áreas con baja precipitación podría mitigar los efectos del cambio climático en la producción agrícola.

La página web desarrollada bajo el modelo MVC permite a los productores gestionar datos de monitoreo de manera sencilla, mejorando la accesibilidad a información actualizada y facilitando la toma de decisiones basadas en datos, lo cual podría ser un modelo replicable para otras regiones con necesidades similares.

6. Referencias

1. Román A, Tovar-Sánchez A, Gauci A, et al. Water-Quality Monitoring with a UAV-Mounted Multispectral Camera in Coastal Waters. *Remote Sens (Basel)*. 2023;15(1). doi:10.3390/rs15010237
2. Kemper T, Mudau N, Mhangara P, Pesaresi M. Towards a country-wide mapping & monitoring of formal and informal settlements in South Africa. *Pilot-study in cooperation with the South African National Space Agency (SANSA)* DOI:10.2788/970905. 2015.
3. Avtar R, Saito O, Singh G, et al. Monitoring responses of terrestrial ecosystem to climate variations using multi temporal remote sensing data in Ghana. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. ; 2014. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946535
4. Avtar R, Yunus AP, Saito O, Kharrazi A, Kumar P, Takeuchi K. Multi-temporal remote sensing data to monitor terrestrial ecosystem responses to climate variations in Ghana. *Geocarto Int.* 2022;37(2). doi:10.1080/10106049.2020.1723716
5. Li D, Wu B, Chen B, et al. Open-surface river extraction based on sentinel-2 MSI imagery and DEM Data: Case study of the upper yellow river. *Remote Sens (Basel)*. 2020;12(17). doi:10.3390/RS12172737
6. Cuellar Y, Perez L. Multitemporal modeling and simulation of the complex dynamics in urban wetlands: the case of Bogota, Colombia. *Sci Rep.* 2023;13(1). doi:10.1038/s41598-023-36600-8
7. Rodríguez D, Jordi G, Roquet V. *Metodología de La Investigación*.
8. Avtar R, Saito O, Singh G, et al. Monitoring responses of terrestrial ecosystem to climate variations using multi temporal remote sensing data in Ghana. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. ; 2014. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946535
9. G. Messina, J. M. Peña, M. Vizzari, y G. Módica, "Comparación de imágenes multiespectrales obtenidas por drones y satélites en el seguimiento del cultivo de cebollas. Una aplicación en la 'Cipolla Rossa di Tropea' (Italia)," *Sensores Remotos*, vol. 12, no. 20, p. 3424, 18 de octubre de 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/rs12203424>