

Artículo de investigación

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN ALFANUMÉRICA Y ESPACIAL DE CULTIVOS IMPLEMENTANDO DATA CUBES PARA EL MANEJO DE RÁSTER MULTITEMPORALES.**Methodological proposal for the management of alphanumeric and spatial crop information by implementing data cubes for multitemporal raster management**Andres Orosman Montaña Moreno¹, Martha Patricia Valbuena Gaona²

¹ Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Bogota, Colombia. Email: aomontanom@udistrital.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0009-9331-7042>

² Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Bogota, Colombia. Email: mpvalbuenag@udistrital.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-4366-0952>

Recebido em 22/12/2023 e aceito em 26/02/2024

RESUMO: Esta proposta busca aproveitar a expansão das tecnologias de informação e comunicação, bem como o grande volume de dados que é gerado diariamente sobre a superfície terrestre e suas características climáticas, centralizando as informações em um sistema que gerencia tanto os dados raster como alfanuméricos no setor agrícola, integrando o agricultor como principal beneficiário e colaborador ao permitir a geração de amostras no campo através de tecnologias GPS e desenvolvimentos espaciais, alimentando um banco de informações que fortalece a análise de imagens de satélite. Como parte da validação desta proposta metodológica, foi realizado um estudo de caso no município de Tuluá, no departamento de Valle del Cauca, coletando um conjunto de dados de 105 amostras do estado fenológico da cana-de-açúcar e das quais a informação espectral das coberturas, como perfis e índices espectrais. Neste estudo de caso, uma precisão próxima de 50% foi alcançada através da implementação de técnicas de aprendizado de máquina. A utilização deste sistema permite o fortalecimento da biblioteca de dados para treinamento do modelo, gerando uma melhoria no desempenho. Espera-se que sejam os agricultores aqueles que capturem os dados para alimentar o sistema, aproveitando a sua elevada interação e experiência em questões agrícolas. Esta metodologia proposta procura apoiar a implementação do plano de desenvolvimento nacional da Colômbia na sua missão de alcançar a segurança e soberania alimentar. e um sistema produtivo eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Ciência da informação e comunicação, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Segurança alimentar.

ABSTRACT: This proposal seeks to take advantage of the expansion of information and communication technologies, as well as the large volume of data generated daily on the earth's surface and its climatic characteristics, centralizing the information in a system that manages both raster and alphanumeric data in the agricultural sector, integrating the farmer as the main beneficiary and collaborator by allowing samples to be generated in the field through GPS technologies and

spatial developments, and feeding an information bank that strengthens the analysis of satellite images. As part of the validation of this methodological proposal, a case study was carried out in the municipality of Tuluá, in the department of Valle del Cauca, taking a data set of 105 samples of the phenological state of sugarcane and extracting the spectral information of the coverages, such as spectral profiles and indices. In this case study it was possible to achieve an accuracy close to 50% by implementing machine learning techniques. The use of this system allows the robustness of the data library for model training, generating an improvement in performance. It is expected that farmers will be the ones to capture the data to feed the system, taking advantage of their high interaction and expertise in agricultural issues. This proposed methodology seeks to support the implementation of Colombia's national development plan in its mission to achieve food security and sovereignty and an efficient and sustainable production system.

Keywords: Precision farming, Information and communications sciences, Sustainable development goals, Safety Food.

RESUMEN: La presente propuesta busca aprovechar la expansión de las tecnologías de la información y las comunicaciones, así como el gran volumen de datos que se generan a diario sobre la superficie terrestre y sus características climáticas, centralizando la información en un sistema que gestione tanto los datos raster como alfanuméricos en el sector agrícola, integrando al agricultor como principal beneficiario y colaborador al permitir que se generen muestras en campo a través de las tecnologías GPS y los desarrollos espaciales, alimentando un banco de información que robustezca los análisis sobre imágenes satelitales. Como parte de la validación de esta propuesta metodológica se realizó un caso de estudio en el municipio de Tuluá, en el departamento del Valle del Cauca, tomando un set de datos de 105 muestras del estado fenológico de la caña y sobre los cuales se extrajo la información espectral de las coberturas, como perfiles espectrales e índices. En este caso de estudio se logró alcanzar una precisión cercana al 50% implementando técnicas de machine learning. El uso de este sistema permite el robustecimiento de la biblioteca de datos para el entrenamiento de modelos, generando una mejora del desempeño. Se espera que los agricultores sean quienes capturen los datos para alimentar el sistema, aprovechando su alta interacción y experticia en temas agrícolas. Esta propuesta metodológica busca apoyar la implementación del plan nacional de desarrollo nacional de Colombia en su misión de alcanzar la seguridad y soberanía alimentar y un sistema productivo eficiente y sostenible.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Ciencia de la información y las comunicaciones, Objetivos de desarrollo sostenible, Seguridad alimentaria.

INTRODUCCION

Actualmente, la erradicación de la pobreza en todas sus formas y dimensiones, incluyendo la pobreza extrema, es el mayor desafío al que nos enfrentamos como planeta (ASAMBLEA GENERAL DE NACIONES UNIDAS, 2015). Bajo esta premisa, los Miembros de las Naciones Unidas en su septuagésima Asamblea General han aprobado la más ambiciosa agenda de política global: La Agenda 2030, la cual busca movilizar la acción colectiva en torno a objetivos comunes (GIL, 2018) que sumen esfuerzos para poder poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo, combatir las desigualdades dentro de los países, construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas, proteger los derechos humanos y promover la igualdad entre los géneros, así como el empoderamiento de las mujeres y las niñas, y garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales (ASAMBLEA GENERAL DE NACIONES UNIDAS, 2015).

Como herramienta para la ejecución de La Agenda 2030 se establecen los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, los cuales buscan generar respuestas sistémicas a una visión global interrelacionada del desarrollo sostenible (GIL, 2018), tanto en la dimensión económica, como a nivel social y ambiental. Los ODS recogen parte de los compromisos y acuerdos establecidos en el año 2000, manteniendo algunas de las prioridades de desarrollo como la erradicación de la pobreza, la salud, la educación y la seguridad alimentaria y la nutrición, pero estableciendo además una amplia gama de objetivos económicos, sociales y ambientales (ORGANIZACIÓN NACIONES UNIDAS, 2015)

Es importante resaltar cómo la agricultura y la alimentación ocupan un papel destacado dentro de la Agenda Global para el Desarrollo Sostenible, la lucha contra el hambre, la promoción de la salud y el consumo responsable, el cambio climático, la gestión de los recursos naturales, son algunos de los temas abordados por las ODS que guardan relación con el sistema agroalimentario (UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, 2019). Tal es el caso del Segundo ODS: Hambre Cero, busca una seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, así como promover la agricultura sostenible. Por otro lado, en un enfoque direccionado a la industria y la producción, el ODS Número Nueve y el ODS Número Doce impulsan una infraestructura resiliente promoviendo el desarrollo inclusivo y sostenible fomentando la innovación, que apoyen modelos de producción y consumo sostenibles.

El crecimiento demográfico y la escasa producción de alimentos han ejercido una enorme presión sobre los recursos alimentarios e hídricos, debido a esto la seguridad alimentaria se convierte en un tema de gran importancia y de preocupación mundial. Se estima que la producción mundial de alimentos debe aumentar en un 50 % para satisfacer las demandas de la población mundial prevista para 2050.(KARTHIKEYAN ET AL., 2020). Adicionalmente, la situación pandémica originada por el virus Covid-19 ha dejado pérdidas de diferente naturaleza a nivel global: Vidas humanas, empleos, puestos de trabajo, quiebras del comercio y de los servicios, generando, por lo tanto, crisis económica, crecimiento de la pobreza y desigualdad, ampliando la brecha entre los países desarrollados (ACOSTA ET AL., 2022).

Teniendo en cuenta el panorama de crisis alimentaria a nivel mundial, los planes de gobierno a lo largo del mundo han empezado a dar mayor importancia a las políticas enfocadas en la soberanía y seguridad alimentaria. Para iniciar se debe entender la soberanía alimentaria como el derecho de pueblos y naciones a decidir qué producir, distribuir y consumir generando autonomía, autodeterminación y diversidad con respecto al territorio, para un abastecimiento local, fomentando políticas adecuadas para el bienestar común y vida digna (FARFÁN ET AL., 2023). Con base en este derecho los países pueden establecer en sus agendas políticas agropecuarias que permitan alcanzar una producción sustentable y autosuficiente. Un factor importante para fortalecer la soberanía alimenticia en un país es garantizar la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de ellos en la cantidad, calidad e inocuidad adecuadas por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa (CASTRO PRIETO ET AL., 2020), a esto se le conoce como

seguridad alimentaria. El éxito de la política alimentaria en un país debe tener presente tanto la seguridad como la soberanía alimentaria, para poder garantizar que obtendrá de su suelo el mayor beneficio y que dicha producción se enfocará en disminuir la brecha nutricional de su población.

La conversión de agricultura intensiva a agricultura sostenible debe llevarse a cabo en el contexto del cambio global, considerando condiciones climáticas inesperadas (por ejemplo, cambios en los patrones de temperatura y precipitación) o eventos climáticos extremos (WEISS ET AL., 2020). Alcanzar la seguridad alimentaria requiere el seguimiento de varios indicadores como el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, el riego y la propagación de enfermedades. Para lograr esto, se requiere la medición directa o indirecta de varias variables en el espacio-tiempo (KARTHIKEYAN ET AL., 2020). Dadas las dimensiones del esfuerzo que se requiere para realizar un monitoreo casi en tiempo real que permita reaccionar ante eventos extremos de acuerdo con las condiciones climáticas cambiantes y, por lo tanto, para minimizar su impacto en el sistema alimentario mundial (WEISS ET AL., 2020), se hace cada vez más necesario aplicar todas las tecnologías avanzadas disponibles para gestionar la variabilidad de los cultivos y mantener o mejorar los rendimientos y reducir los impactos negativos en la calidad ambiental (SEGARRA ET AL., 2020)

Colombia tiene altos niveles de inseguridad alimentaria y una dependencia significativa de importación de insumos agropecuarios. Es imperativo promover la producción local de alimentos e insumos, y fomentar los circuitos cortos de producción y distribución de alimentos para que toda su población tenga una alimentación suficiente, adecuada, sana e inocua que conlleven progresivamente a la soberanía alimentaria (BASES DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2022-2026, 2023). Las cifras señalan que el 54% de la población sufre de inseguridad alimentaria, en números concretos, son 27 millones de personas, y más de medio millón de niños y niñas que padecen desnutrición crónica. Estas cifras ubican a Colombia dentro de la lista de los 20 países en el mundo que está en riesgo de enfrentar hambre aguda (ACOSTA ET AL., 2022). A raíz de esto, el Estado ha decidido establecer como una base del plan nacional de desarrollo el derecho humano que corresponde a la alimentación, el cual busca que todas las personas puedan acceder a una alimentación adecuada. Para alcanzar este objetivo el plan establece tres pilares los cuales son: Disponibilidad, acceso y adecuación de alimentos. De esta manera se instauran las bases para que progresivamente se logre la soberanía y seguridad alimentaria (PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2022-2026, 2023)

MATERIAIS E MÉTODOS

La propuesta metodológica abarca desde la obtención de datos en campo, hasta el análisis de datos para la toma de decisiones.

El primer componente del sistema corresponde a una aplicación web la cual permite al agricultor capturar ubicaciones en campo con el uso del GPS incorporado en los smartphones. Estas ubicaciones contienen atributos relacionados con la fecha, hora

y característica del cultivo, como, por ejemplo, variedad y especie, fenología, estado fitosanitario. La herramienta por medio del cual se adquiere esta información es Survey 123 desarrollada por ESRI, esta es embebida en la app para el registro de datos en campo.

El sistema, además incorpora información meteorológica la cual es procesada y publicada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Esta información alimenta el sistema para la toma de decisiones ya que permite correlacionar fenómenos agrícolas con condiciones meteorológicas. La productividad agrícola depende del entorno climático por lo que cambios abruptos como olas de calor o heladas, alteran el ciclo productivo de los cultivos.

La constelación de pequeños satélites Super Dove de Planet Scope captura imágenes de 3 metros de resolución espacial y ocho bandas espectrales que van desde el azul costal hasta el infrarrojo cercano (FRAZIER & HEMINGWAY, 2021) (Figura 1)

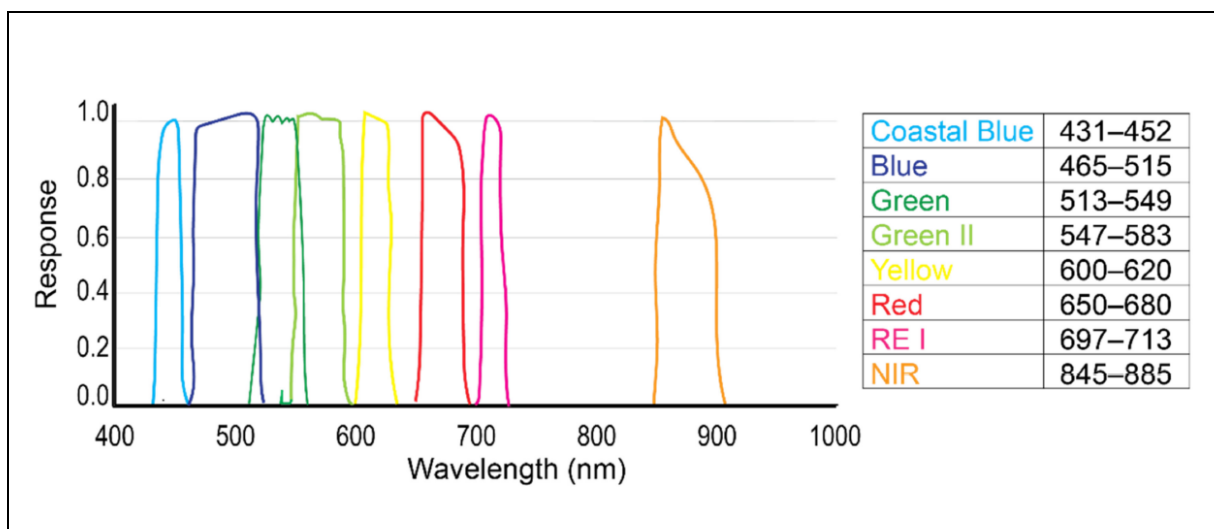


Figura 1. Resolución espectral imágenes Planet Scope adquiridas por los satélites SuperDove **Fuente 1** FRAZIER & HEMINGWAY (2021)

La recurrencia con que la constelación Planet Scope captura imágenes de La Tierra es diaria, por lo que resulta ser un instrumento poderoso para la agricultura de precisión, en aquellos lugares donde las condiciones meteorológicas facilitan el acceso a datos satelitales. El postproceso de las imágenes es bastante robusto, por lo que existe una alta correlación espacial entre las imágenes adquiridas en diferentes temporalidades, lo que favorece el desarrollo del Cubo de Datos, identificando cambios en la cobertura del suelo sin tener desplazamientos en los ejes X y Y.

Para el desarrollo del sistema, las imágenes Planet Scope son el insumo del cubo de datos. Sobre este producto se realizan análisis como la correlación de los fenómenos en campo con las firmas espectrales extraídas de las imágenes. Una red

neuronal clasificatoria es alimentada con las firmas espectrales correspondientes a cada fenómeno capturado en campo, y a medida que más agricultores registran puntos, la red es capaz de etiquetar con mayor facilidad los fenómenos agrícolas que se desarrollan en un área de interés.

El API de Planet es la herramienta que permite la descarga de las imágenes de forma automatizada, y con librerías espaciales de Python como Geopandas y Rasterio, se procesan las imágenes y se extraen las firmas espectrales. La librería Keras permite el entrenamiento, testeo e implementación de algoritmos clasificatorios como redes neuronales.

A continuación, se muestra el Diagrama de Casos de Uso para el desarrollo de esta herramienta (Figura 2).

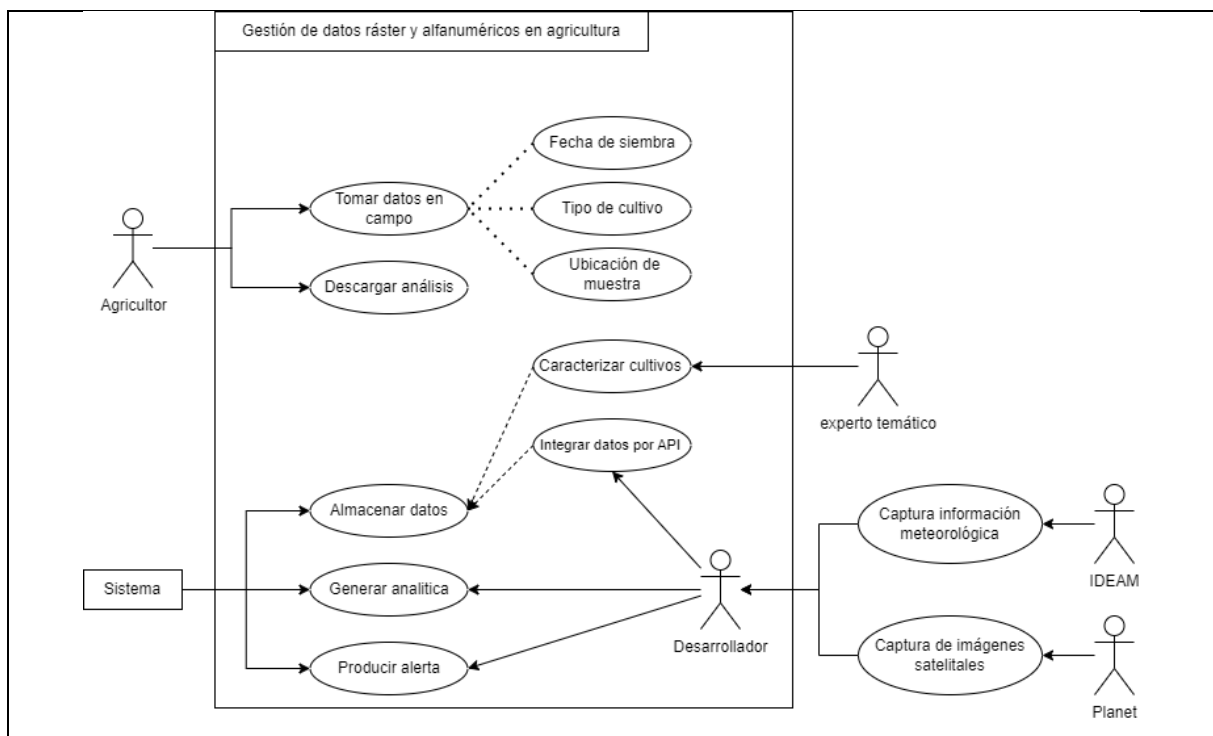


Figura 2. Diagrama de casos de uso

Por último, para la validación de la metodología se propone realizar un caso de estudio, ejecutando algunas pruebas de regresión a partir de técnicas de Machine Learning. Para esto se define como área de interés una zona rural ubicada al oeste del municipio de Tuluá en el departamento de Valle del Cauca, en Colombia.

En esta zona de estudio se desarrollan principalmente actividades agrícolas, debido a la importante presencia que tiene la industria azucarera, predominando casi en su totalidad los cultivos de caña de azúcar, lo cual brinda una cobertura homogénea ideal para realizar una prueba controlada de la manera más eficiente. La prueba se basa en identificar el estado fenológico del set de datos de muestra con las firmas espectrales extraídas de las imágenes Planet. Aprovechando su resolución temporal diaria, se genera un cubo de datos en donde se puede estudiar la respuesta

espectral no solo del día en que se captura la información en campo, sino que se logra abarcar desde la siembra hasta la cosecha.

Gracias a la resolución espectral de ocho bandas, es posible ejecutar la construcción de una firma espectral detallada que va desde el azul costal hasta el infrarrojo cercano, pasando por los espectros azul, verde I, verde II, amarillo, rojo y borde rojo. Adicionalmente es posible derivar una serie de índices que apoyarán el análisis tales como Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Green Normalized Differential Vegetation Index (GNDVI), Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Green-Red Vegetation Index (GRVI), Modified Green-Red Vegetation Index (MGRVI), Red edge for chlorophyll (ReCI), Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI), Enhanced vegetation index (EVI), Structure Insensitive Pigment Index (SIPI), Green Chlorophyll Index (GCI).

La prueba para la validación de la metodología aplicará modelos regresivos utilizando técnicas de machine learning, los cuales en anteriores investigaciones han demostrado ser efectivos a la hora de cuantificar la severidad de enfermedades como Roya Naranja en plantaciones de Caña de Azúcar.

La librería Pycaret de Python integra diferentes herramientas de Machine Learning dispuestas en otras librerías como Keras y Sklearn. A partir de la comparación de medidas de precisión, Pycaret estima diferentes regresiones y elige la de mejor resultado. Esta herramienta optimiza el desarrollo de pruebas ya que en poco tiempo, entrena y valida diferentes algoritmos, indicando el de mejor precisión.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

El desarrollo de este sistema favorece la toma de decisiones entorno al agro gracias a la identificación de fenómenos agrícolas a partir de firmas espectrales, que han sido extraídas de imágenes intersecadas con puntos capturados en campo.

Es un sistema robusto, que abarca desde la captura de datos en campo con el análisis de las imágenes y a partir de Machine Learning, el desarrollo de clasificaciones y regresiones. La captura de datos es ejecutada desde una app basada en Survey 123, que permite la participación de los agricultores en el entrenamiento de la red neuronal. Los fenómenos registrados en campo pueden estar relacionados a variaciones fitosanitarias de los cultivos, para identificación de plagas o enfermedades, al estado fitosanitario para el pronóstico de cosecha y a la variedad o especie cultivada, para el censo en un área de interés.

Los análisis desarrollados sobre los modelos de Machine Learning facilitan la toma de decisiones de los agricultores puesto que permiten identificar fenómenos sin necesidad de recurrir a campo, con solo el acceso a la clasificación generada día a día por las redes neuronales. El éxito de este sistema está en la variedad de fenómenos registrados por los agricultores, de modo que haya muestras suficientes para alimentar el algoritmo de Machine Learning, los cuales requieren de abundante información para generar pronósticos precisos.

Las imágenes Planet Scope resultan ser muy eficientes para el desarrollo de modelos para la toma de decisiones entorno al mundo agro, pues gracias a su alta resolución espacial, amplia resolución espectral y la resolución temporal diaria facilita a los agricultores tener datos recurrentes y detallados de sus cultivos, para identificar diferentes tipos de variaciones y poder actuar de forma anticipada.

Al validar la metodología se realizó una prueba con el set de datos en campo de la zona de estudio, comparando 18 modelos de regresión, tomando el 70 % de los datos de muestra como entrenamiento y el 30 % restante como test. Como resultado, la regresión de Huber tuvo el mayor desempeño en cuatro de las seis métricas de evaluación. Por otro lado, las regresiones Ridge y Extra Trees superan sus resultados en la evaluación del error medio cuadrático y el error medio absoluto

Modelo	MAE	MSE	RMSE	R2	RMSLE	MAPE
Huber Regressor	2.2301	7.9811	2.714	0.4336	0.3578	0.4247
Elastic Net	2.2703	8.0035	2.7142	0.4277	0.3675	0.4596
Lasso Regression	2.2748	8.0191	2.718	0.4257	0.3677	0.4609
Ridge Regression	2.2469	7.9986	2.7133	0.4226	0.3676	0.457
Bayesian Ridge	2.3098	8.1473	2.7491	0.4128	0.3721	0.4708
Extra Trees Regressor	2.2235	8.369	2.745	0.3644	0.3613	0.4529
Linear Regression	2.3005	9.0655	2.8625	0.3349	0.3863	0.4849
Random Forest Regressor	2.331	9.1232	2.8511	0.3162	0.3836	0.4957
K Neighbors Regressor	2.4375	9.3125	2.9688	0.3146	0.4073	0.5087
Light Gradient Boosting Machine	2.5361	9.7232	3.0015	0.2759	0.4227	0.563
AdaBoost Regressor	2.3037	9.7895	2.9274	0.2758	0.3931	0.4819
Orthogonal Matching Pursuit	2.6548	10.5712	3.1829	0.2308	0.4825	0.7158
Gradient Boosting Regressor	2.4382	12.4864	3.3308	0.1028	0.4531	0.4869

Lasso Least Angle Regression	3.5614	15.3939	3.9019	-0.0867	0.5501	0.8588
Dummy Regressor	3.5614	15.3939	3.9019	-0.0867	0.5501	0.8588
Decision Tree Regressor	2.6393	15.6143	3.7176	-0.0943	0.5178	0.529
Passive Aggressive Regressor	4.6135	30.4205	5.4328	-1.3599	0.6955	1.1192
Least Angle Regression	336090.01	7.41664E+11	417336.86	-4835411228	5.5129	58413.086

La regresión dio como resultado un coeficiente R2 de 0.45, lo cual explica un buen porcentaje de la varianza de los datos frente al modelo; sin embargo, es posible realizar una mejora sobre estos resultados al obtener un mayor número de datos en campo y diversificar esta muestra en diferentes tipos de clases relacionadas con el fenómeno que se pretende determinar, en este caso el estado fenológico del cultivo.

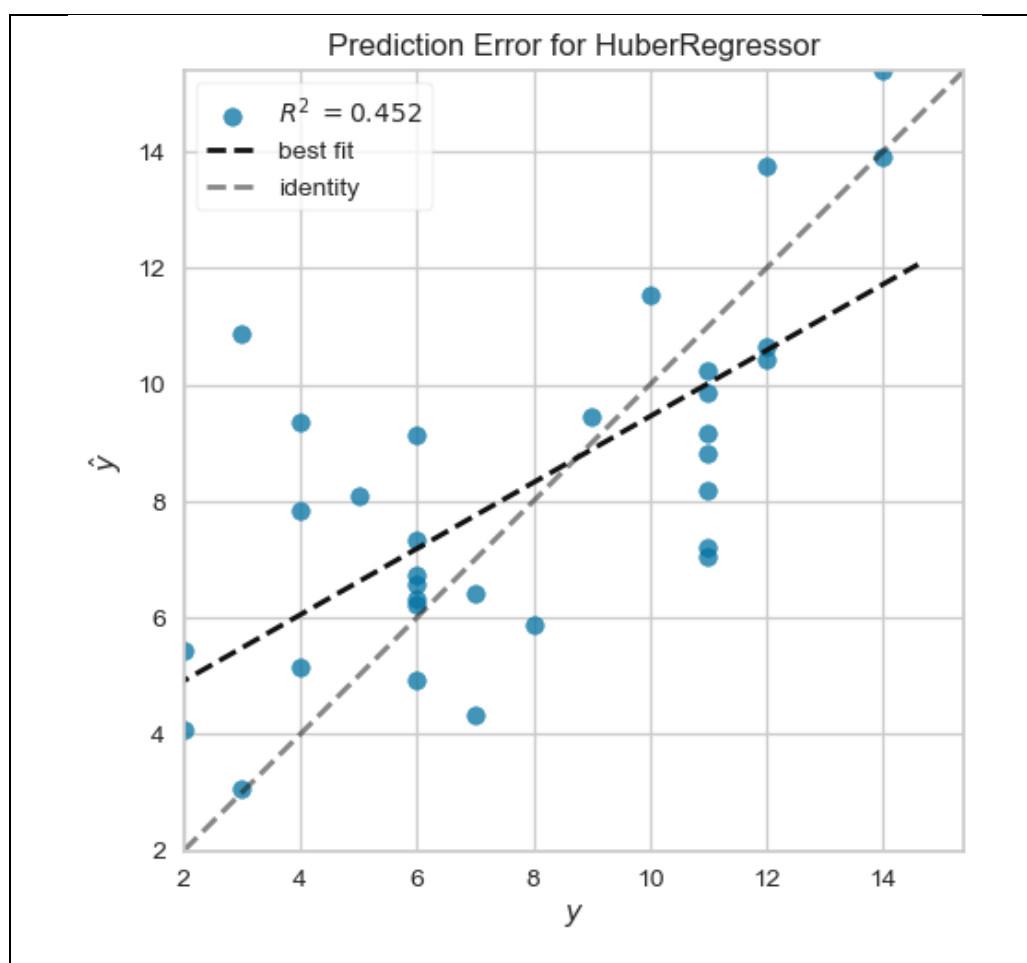


Figura 3. Gráfico de error de predicción para la regresión huber, aplicada al set de datos en campo del municipio de Tuluá, valle del cauca.

Los atributos que contribuyeron en mayor medida dentro de la ejecución del modelo fueron los índices Green Chlorophyll Index (GCI) y Enhanced vegetation index (EVI), seguidos por los índices Red edge for chlorophyll (ReCI) y Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). En términos generales, la información suministrada por los índices fue más representativa dentro del modelo que los datos espectrales, además, los resultados en esta validación suponen que la fuerte relación entre los niveles de clorofila y el estado fenológico son fundamentales en este modelo de regresión.

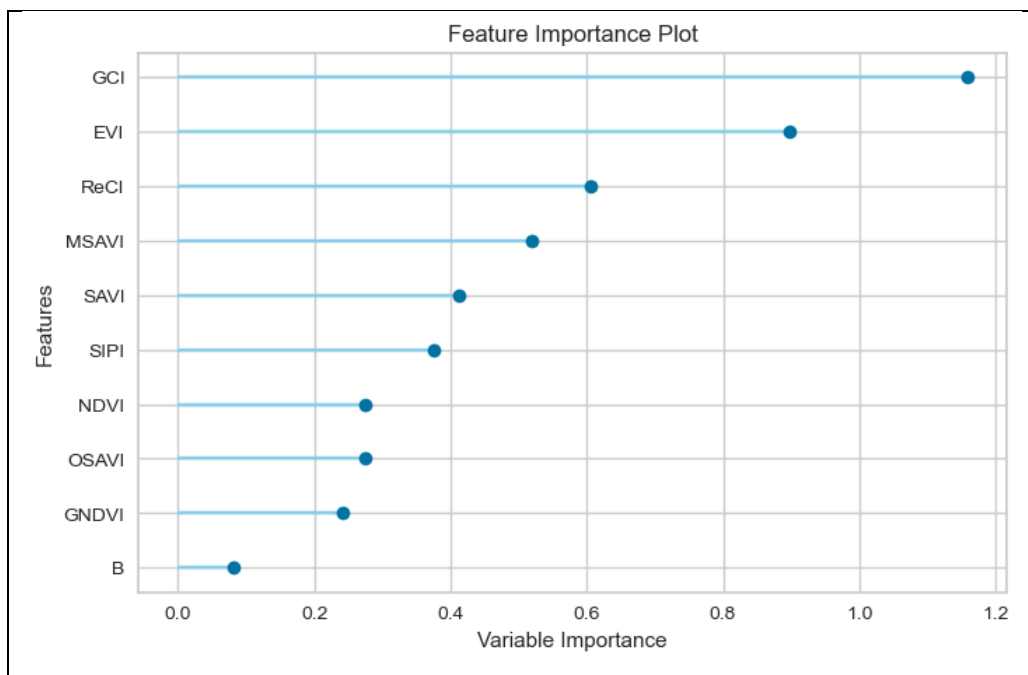


Figura 4. Gráfico de características importantes dentro del modelo de regresión huber aplicada al set de datos en campo del municipio de Tuluá, valle del cauca.

CONSIDERACIONES FINALES

La metodología propuesta busca integrar a los agricultores en el refinamiento de los procesos analíticos de inteligencia artificial, convirtiéndolos en un agente activo dentro del modelo. Para esto es necesario generar herramientas que permitan generar esta integración. Actualmente se está desarrollando un aplicativo offline que permita la captura de puntos de control en campo y el desarrollo de los modelos en su backend, para que los agricultores obtengan en tiempo real, análisis sobre las imágenes para interpretar el estado actual de sus cultivos.

El enfoque geoespacial sumado a la analítica de datos brinda la posibilidad de fortalecer el relacionamiento con compañías como Procalculo, ESRI y Planet que han sido colaboradores del sector público en la implementación de tecnologías

geográficas, y que tienen dentro de sus objetivos apoyar la industria agropecuaria y su tecnificación.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son pilares del Plan Nacional de Desarrollo Colombiano 2022-2026 y se requiere incrementar el número de acciones para su respectivo cumplimiento. Garantizar la seguridad y soberanía alimentaria resulta fundamental para la adopción de los Objetivos número dos, nueve y doce, los cuales buscan la eliminación del hambre, la promoción de la Industria, innovación e Infraestructura y fomentar el consumo y producción responsable.

Las tecnologías de la Información y las Comunicaciones permiten el análisis de datos para la toma de decisiones en diferentes entornos. Un amplio set de datos favorece el entendimiento de fenómenos de la vida real y de este modo, permite a los usuarios anteponerse a diferentes situaciones evitando pérdidas económicas, humanas y optimizando los resultados adquiridos de algún proceso. La inclusión de la tecnología en la agricultura debe ser promovida como una política gubernamental ya que potencializa la producción de los cultivos teniendo en cuenta factores como su estado fenológico y fitosanitario. La teledetección combinada con el Machine Learning permite obtener análisis profundos relacionados con el comportamiento de los cultivos de modo que la toma de decisiones sea más sencilla y se apoye al campesinado para que la soberanía y seguridad alimentaria se fortalezcan.

El modelo de datos que se propone en esta metodología está estrechamente ligado a las muestras que se capturen en campo, de allí la importancia de generar herramientas que faciliten la obtención de muestras desde los cultivos. Si bien en principio esto puede afectar el desempeño de los procesos de análisis de datos, el autoaprendizaje de los modelos mejorara su precisión a medida que el conjunto de datos de muestra se vaya robusteciendo.

La metodología propone la extracción de una gran variedad de datos como insumo para realizar la analítica, tanto de tipo espacial como de tipo alfanumérico, adicional a eso la espectralidad se aborda no solo desde el comportamiento de la firma en los puntos de control sino también en datos derivados como los índices espectrales, en primera instancia todos estos atributos serán insumo en el procesamiento, sin embargo, con el tiempo lo ideal es realizar una identificación de las características que mejor contribuyan a cada modelo y de esta manera reducir su complejidad

AGRADECIMENTOS

Esta investigación se desarrolla bajo el Convenio Marco que establece una alianza de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con Procalculo. Procalculo es una empresa multilatin con operación en Colombia, Panamá y Ecuador. Procalculo ofrece información geográfica a partir de productos, servicios y procesos de alta calidad. Es una empresa comprometida con la sostenibilidad y el medio ambiente, por lo que en los productos y servicios integran soluciones para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Procalculo es el distribuidor oficial de las

imágenes Planet en Colombia. Las imágenes implementadas en este proyecto fueron capturadas, procesadas y publicadas por Planet.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR

Cada fase del artículo de investigación fue abordado de manera simultánea por los autores Andres Orosman Montaña Moreno y Martha Patricia Valbuena Gaona.

REFERENCIAS

- Acosta, A. R., Garbardella, A. D., Olaya, E., Trotta, M. E. V., & Coxshall, W. (2022). Diagnóstico situacional de seguridad alimentaria en Argentina, Brazil, Colombia e Inglaterra post Covid-19. *Revista Katálysis*, 25(3), 539-550. <https://doi.org/10.1590/1982-0259.2022.e86289>
- Asamblea General de Naciones Unidas. (2015). Resolución A/70/L1.
- Castro Prieto, P. A., Bustos Velandia, J. P., & Carrasquilla Gutiérrez, J. G. (2020). Prevención de enfermedades no transmisibles desde la gobernanza y seguridad alimentaria, Soracá-Colombia. *Revista de Salud Pública*, 22(5), 1-7. <https://doi.org/10.15446/rsap.v22n5.85732>
- Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, (2023).
- Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, (2023).
- Farfán, J. C. C., Medina, D. F. R., & Torres, D. A. (2023). Soberanía alimentaria y salud: Perspectivas de tres pueblos indígenas de Colombia. *Global Health Promotion*, 30(2). <https://doi.org/10.1177/17579759221113492>
- Frazier, A. E., & Hemingway, B. L. (2021). A Technical Review of Planet Smallsat Data: Practical Considerations for Processing and Using PlanetScope Imagery. *Remote Sensing*, 13(19), 3930. <https://doi.org/10.3390/rs13193930>
- Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 140, 107-118.
- Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses. *Journal of Hydrology*, 586, 124905. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905>
- Organización Naciones Unidas. (2015). Asamblea General.
- Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2020). Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. *Agronomy*, 10(5), 641. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>
- Universidad Politecnica de Madrid. (2019). Hambre cero y alimentación sostenible: El papel de la investigación agraria para el desarrollo : II Congreso «Investigación en agricultura para el desarrollo». Escuela Técnica Superiorde Ingeniería Agronómica,

Alimentariay de Biosistemas, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano itdUPM de la Universidad Politécnica de Madrid.

Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0