



Diseño de API de interpretación de análisis foliar mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Alexander García Castañeda

Informe de trabajo de grado para optar al título de Bioingeniero

Asesor

Daniel Esteban Agudelo Delgado, Magister en automatización y control industrial.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín

2023

Cita	(García Castañeda, 2023)
Referencia	García Castañeda. (2023). Diseño de aplicación de interpretación de análisis foliar mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: John Fredy Ochoa Gómez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi madre que me ha apoyado moral y económicamente durante todos los años de universidad, sin ella, la realización y publicación de este trabajo habría sido imposible. También agradezco a Darío Antonio Castañeda Sánchez, jefe del grupo de investigación de fitotecnia tropical de la universidad nacional, que en su interés por la modernización del agro en Colombia ha venido trabajando ampliamente en las aplicaciones del procesamiento de datos, inteligencia artificial, entre otras a las ciencias agronómicas. También agradezco al profesor Daniel Esteban Agudelo, mi asesor, por su acompañamiento durante la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	14
Introducción	16
1 Objetivos	19
1.1 Objetivo general	19
1.2 Objetivos específicos	19
2 Marco teórico	20
2.1 Nutrientes móviles	20
2.1.1 Nitrógeno	20
2.1.2 Fósforo	20
2.1.3 Potasio	21
2.1.4 Magnesio	21
2.2 Nutrientes inmóviles	21
2.2.1 Azufre	21
2.2.3 Calcio	21
2.2.3 Hierro	22
2.2.4 Manganeso	22
2.2.5 Cobre	22

2.2.6 Zinc	22
2.2.7 Boro	22
2.3 Métodos de interpretación de análisis foliares	23
2.3.1 Rangos de suficiencia	24
2.3.2 Índices de DRIS	25
2.4 Componentes técnicos	27
2.4.1 Base de datos no relacional	27
2.4.1.1 MongoDB	28
2.4.2 Software libre	28
2.4.3 Programación funcional	28
2.4.3.1 Flask	28
2.4.4 Contenerización	28
3 Metodología	29
3.1 Fuentes de datos	29
3.1.1 Región de Urabá Antioqueño	29
3.1.2 Región del suroeste Antioqueño	30
3.1.3 Nutrientes examinados	30
3.2 Aplicación para almacenamiento de análisis foliares	32
3.2.1 Construcción de la base de datos	32

3.2.2 Diseño y construcción de la aplicación de almacenamiento de datos	33
3.2.3 Cálculo de relaciones entre nutrientes	35
3.2.4 Diseño y construcción de la API y librería de cálculo de índices de DRIS	37
3.3 Validación de la librería	38
4 Resultados	40
4.1 Funcionamiento de la API	40
4.1 Almacenamiento en base de datos	41
4.3 Validación de resultados	43
4.4 Visualización de los resultados	44
5 Análisis	46
5.1 Análisis de resultados obtenidos	46
5.2 Análisis técnico de la API	47
6 Conclusiones	49
7 Recomendaciones	52
Referencias	53
Anexos	55

Lista de tablas

Tabla 1: Ejemplo datos de entrada a la aplicación.	32
Tabla 2: información almacenada en la base de datos luego del procesamiento realizado por la aplicación.	42
Tabla 3: Matriz de diseño para algunos métodos de interpretación de análisis foliares.	50
Tabla 4: Matriz de diseño para algunas opciones de tecnología disponibles para la implementación del presente proyecto.	51

Lista de figuras

Imagen 1: principales países productores de plátano.	16
Imagen 2: empleos generados por el sector del plátano en Colombia.	17
Imagen 3: Nutrientes móviles e inmóviles.	23
Imagen 4: Rangos de suficiencia para el magnesio a partir de análisis foliares de diferentes fincas de Urabá.	25
Imagen 5: Índices de DRIS para el magnesio a partir de análisis foliares de diferentes fincas de Urabá.	26
Imagen 6: Ubicación geográfica de las regiones Urabá y suroeste antioqueño.	29
Imagen 7: Distribución geográfica de las fincas en la región de Urabá (A) y suroeste Antioqueño.	30
Imagen 8: Arquitectura de la base de datos.	33
Imagen 9: Arquitectura de la aplicación y conexión con la base de datos.	34
Imagen 10: Arquitectura de la aplicación y conexión con la base de datos mediante la librería diseñada.	35
Imagen 11: Diagrama de flujo, ingreso de datos.	36
Imagen 12: Diagrama de flujo, cálculo de relaciones.	36
Imagen 13: Retorno de relaciones en formato JSON.	37
Imagen 14: Aplicación para cálculo de índices de DRIS.	38
Imagen 15: Diagrama de flujo, cálculo de los índices de DRIS.	38
Imagen 16: Entrada de datos de la API y operaciones.	40
Imagen 17: Retorno de los índices de DRIS en formato JSON.	41
Imagen 18: Resultados del cálculo de los índices de DRIS mediante la herramienta diseñada.	43
Imagen 19: Resultados de validación para los datos de prueba.	43

Imagen 20: Índices de DRIS de nutrientes móviles.	44
Imagen 21: Índices de DRIS de nutrientes no móviles.	45
Imagen 22: Análisis por comparación directa para nutrientes móviles.	46
Imagen 23: Análisis por comparación directa para nutrientes no móviles.	47

Siglas, acrónimos y abreviaturas

noSQL	Base de datos no relacional.
DRIS.	Por sus siglas en inglés, sistema de diagnóstico y recomendación integrado.
DOP	Desviación del óptimo porcentual.
API	Application programming interface.
RS	Rangos de suficiencia.
Ca.	Calcio.
Fe	Hierro.
Mn	Manganeso.
Cu.	Cobre.
Zn	Zinc.
B	Boro.
N	Nitrógeno.
P	Fósforo.
K	Potasio.
Mg	Magnesio.
S	Azufre.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Resumen

En el presente informe se presenta el proceso de construcción de una aplicación para almacenar información relevante de análisis foliares de diferentes subregiones de Antioquia, en particular el suroeste de Antioquia y la región de Urabá, para esto, se hace uso de los datos suministrados por el grupo de investigación de fitotecnia tropical, se realiza un preprocesamiento de los mismos para agilizar el proceso de cálculo de los índices de DRIS y posteriormente se almacena en una base de datos noSQL, la base de datos elegida fue mongoDB debido a su compatibilidad con el formato JSON que la hace fácil de integrar con diferentes aplicaciones y a su desempeño en cuanto a lectura y escritura. Se utilizó python para el procesamiento de la información y para generar una aplicación capaz de recibir análisis foliares almacenados en archivos csv (a petición del grupo de investigación de fitotecnia tropical). En este paso se definió una estrategia para aumentar la velocidad de cálculo de los índices de DRIS que consiste en el cálculo de las relaciones entre los nutrientes antes de almacenarlos en la base de datos.

Posteriormente se diseñó una aplicación para el cálculo de los índices de DRIS a partir de los datos almacenados en la base de datos y muestras ingresadas por el usuario. El resultado de este paso fue una API que calcula los índices de DRIS mediante el producto KRONECKER, una operación matemática que calcula todos los productos posibles entre los elementos de una matriz y el filtrado de datos para obtener solo los productos de interés. El resultado de esta etapa fue una aplicación para el cálculo de los índices de DRIS.

Luego se pasó a una etapa de validación de resultados. En esta etapa se compararon los resultados obtenidos utilizando la librería a los resultados obtenidos mediante la herramienta anterior usada por el grupo de investigación. No solo se comprobó que el método utilizado para el cálculo de los índices de DRIS entrega resultados correctos, sino que según lo reportado por el grupo de investigación de fitotecnia tropical, la nueva herramienta realiza los cálculos más rápidamente y además almacena los índices de DRIS en una base de datos.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Palabras clave: indicadores DRIS, DOP, RS, análisis foliar, API, balance nutricional, nutriente limitante de la producción, macronutrientes, micronutrientes, github, servidores web, bases de datos no relacionales, arquitectura cliente servidor.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Abstract

This report presents the process of constructing an application for storing relevant information on foliar analysis from different sub-regions of Antioquia, particularly the southwest of Antioquia and the Urabá region. The data used for this purpose were provided by the tropical phytotechnics research group, and a preprocessing of the data was performed to expedite the calculation process of the DRIS indexes, which were then stored in a non-relational database. MongoDB was chosen as the database system due to its compatibility with the JSON format, which makes it easy to integrate with different applications, and its performance in terms of read and write operations. Python was used for the data processing and for creating an application capable of receiving foliar analyses stored in CSV files (at the request of the tropical phytotechnics research group). During this step, a strategy was defined to increase the calculation speed of the DRIS indexes, which consists of calculating the relationships between the nutrients before storing them in the database. Subsequently, an application was designed for calculating the DRIS indexes based on the data stored in the database and samples entered by the user. The result of this step was an API that calculates the DRIS indexes using the Kronecker product, a mathematical operation that calculates all possible products between the elements of a matrix and filters the data to obtain only the relevant products. The result of this stage was an application for calculating the DRIS indexes. Next, a validation stage was carried out to compare the results obtained using the library to the results obtained using the previous tool used by the research group. It was not only confirmed that the method used for calculating the DRIS indexes delivers correct results, but also that, according to the tropical phytotechnics research group, the new tool performs calculations more quickly and stores the DRIS indexes in a database.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Keywords: DRIS indexes, DOP, foliar analysis, API, nutritional balance, productions limiting nutrient, macronutrient, micronutrients, github, web servers, client server architecture.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Introducción

Antioquia es el principal productor de plátano en Colombia, según informes de minagricultura, el 14% de hectáreas sembradas en el país están sembradas en el departamento. Las variedades más sembradas son harton, dominico, dominico harton y cachaco, con potencial de exportación a diferentes países como Japón y China. Actualmente Colombia ocupa el 4to lugar en la producción de plátano a nivel mundial y tiene una rentabilidad de entre el 10 y 15% generando más de 1 millón de empleos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

PAIS	REND (Tn/Ha)	PRODUCCIÓN	% AREA	% PROD.
Uganda	5,4	6.890.164	30,1	23,60
Camerún	13,2	6.822.133	5,1	9,70
Ghana	10,8	5.581.745	6,2	9,70
Colombia	10,6	3.908.986	7,3	8,70
Rwanda	8,7	3.786.504	6,8	8,60
Nigeria	6,1	2.665.129	8,2	8,20
Peru	11,3	3.010.391	3,0	5,00
Côte D'Ivoire	3,7	847.705	7,9	4,30
Rep. Dem. Del Congo	4,5	863.156	5,5	3,60
Otros	6,7	6.961.197	19,9	19,50
TOTAL	7,9	42.256.305	100,00	100,00

Imagen 1: principales países productores de plátano (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

AÑO	AREA	EMPLEOS DIRECTOS	EMPLEOS INDIRECTOS	EMPLEOS TOTALES
2014	396.624	277.637	713.923	991.560
2015	426.247	298.373	767.245	1.065.618
2016	441.998	309.399	795.596	1.104.995
2017	463.547	324.483	834.385	1.158.868
2018*	440.186	308.130	792.335	1.100.465

Imagen 2: empleos generados por el sector del plátano en Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

El manejo efectivo de administración de nutrientes es un factor clave en el aumento de la productividad de los cultivos de plátano. Los nutrientes de principal importancia en la productividad del plátano son N, P, K, Mg, S, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn, B. De los cuales Ca, Fe, Mn, Cu, Zn y B son denominados nutrientes no móviles y N, P, K, Mg, S nutrientes móviles debido a su movilidad en la planta (Pereira Morales, 2011). Para realizar un análisis nutrimental de la planta se requiere conocer el contenido nutricional del suelo mediante análisis de suelo, condiciones climáticas y el contenido nutricional de la planta en sí misma mediante análisis foliares (Torri, 2016).

En particular, el resultado de un análisis foliar, es la concentración de los nutrientes móviles y no móviles presente en la planta (Brockley, 2001). Si bien se puede interpretar esta información directamente mediante comparación de las concentraciones con concentraciones de referencia, los resultados pueden ser insuficientes por dos motivos:

1) Falta de concentraciones de referencia adecuadas para la comparación: cómo los resultados de análisis foliares dependen de factores de suelo y ambientales, comparar análisis de regiones diferentes puede llevar a resultados sesgados (Villaseñor et al, 2020). Para esto se construirá una

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

base de datos que almacene análisis foliares de diferentes regiones que permitan a los interesados, agregar y consumir estudios foliares de su región.

2) Sesgos por diferentes factores asociados al muestreo: al realizar análisis por concentración del nutriente directamente se pueden presentar diferentes sesgos debido a la edad de la planta, condiciones de la hoja, tipo de tejido, etc. Esto se solventa mediante la utilización de los índices de DRIS, un método que propone que las relaciones entre concentraciones de nutrientes tienen más relevancia sobre el estado nutricional de la planta que los nutrientes en sí mismos (Villaseñor et al, 2020). Este método no es tan utilizado como el método de comparación directa debido a que el cálculo de los índices de DRIS requiere procesos matemáticos complejos, para solventar este impedimento se propone una librería para el cálculo de los índices de DRIS.

Este estudio se concentrará solo en la interpretación de análisis foliares mediante el método de índices de DRIS, no se realizarán estudios compuestos de análisis de suelos y análisis foliares. Tampoco se realizará un diagnóstico del estado nutricional de las plantas basado en los resultados obtenidos, dicho diagnóstico requiere un análisis compuesto de suelo y foliar y queda a discreción de los usuarios de la herramienta diseñada la interpretación de los resultados.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar una aplicación web para la interpretación de análisis foliares de cultivos de plátano mediante el método de indicadores dris.

1.2 Objetivos específicos

- Diseño de una base de datos para almacenar la información de análisis foliares previamente recolectada por el grupo de investigación de fitotecnia tropical en diferentes fincas de Antioquia.
- Diseñar una librería para el cálculo de los indicadores DRIS a partir de la información de la base de datos.
- Diseñar una aplicación para ingresar nuevos análisis foliares a la base de datos.
- Diseñar una aplicación para interpretación de análisis foliares a partir de la información de análisis foliares nuevos.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

2 Marco teórico

El análisis foliar es un método utilizado para conocer el contenido nutricional al interior de la planta que en conjunto con otros métodos como el análisis de suelos puede brindar un análisis compuesto para determinar el manejo de nutrientes sobre la planta (Brockley, 2001). El análisis foliar se concentra en el estudio de los nutrientes móviles como N, P, K, Mg e inmóviles como S, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn y B (Villaseñor et al, 2020). Luego de realizar e interpretar un análisis foliar, se puede evaluar el estado nutricional de la planta para determinar excesos de nutrientes, nutriente limitante de la producción y deficiencia de nutrientes. Existen diferentes métodos para interpretar análisis foliares como el método de comparación directa y el método de índices de DRIS (Montañés Et al, 1991).

2.1 Nutrientes móviles: Son nutrientes que pueden realizar movimientos en el interior de la planta, estos nutrientes tienden a moverse de tejidos más viejos a tejidos más nuevos (ver imagen 3). Debido a esta movilidad natural, el método de comparación directamente por concentración tiende a introducir sesgos según el estado de la planta como edad, tipo de tejido, etc (Brockley, 2001).

2.1.1 Nitrógeno: El Nitrógeno representa aproximadamente un 18% del peso de las proteínas y es un nutriente relativamente escaso en el suelo. Se pueden encontrar trazas del 0.5% superficialmente y su presencia disminuye con la profundidad. Las plantas absorben nitrógeno en forma de nitrato. Debido a su poca disponibilidad y su gran importancia biológica el nitrógeno tiende a ser un nutriente limitante de la producción. La deficiencia de Nitrógeno puede causar retardo en el crecimiento de las plantas, decoloración de las hojas viejas, fragilidad en el tallo, etc (Montañés Et al, 1991).

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

2.1.2 Fósforo: Las plantas absorben fósforo orgánico en las formas ion ortofosfato mono y di y es utilizado para la producción de ácidos nucleicos y azúcares. Es un nutriente limitante debido a su dificultad de absorción y su absorción depende del pH del suelo. La deficiencia de fósforo puede causar retardo en el crecimiento de las plantas, reducción del número de tallos, etc (Montañés Et al, 1991).

2.1.3 Potasio: Es un nutriente utilizado en la producción de enzimas de baja disponibilidad en el suelo. Entre otras funciones se encuentra el uso del agua, promover la absorción de nitrógeno y participar en el proceso de fotosíntesis. La deficiencia de potasio puede causar la muerte prematura de las hojas (Montañés Et al, 1991).

2.1.4 Magnesio: El magnesio es altamente disponible en suelos arcillosos y es absorbido por la planta en forma de ión de magnesio. Se utiliza para la síntesis de clorofila y su absorción depende de su disponibilidad en el suelo principalmente. Su absorción es reducida en suelos alcalinos o ácidos y con bajo contenido de materia orgánica (Montañés Et al, 1991).

2.2 Nutrientes inmóviles: Son nutrientes que una vez fijados, tienden a permanecer en el tejido sin realizar movimientos a otras zonas de la planta (Brockley, 2001).

2.2.1 Azufre: El azufre es utilizado para la síntesis de proteínas y clorofila, es absorbido como ion sulfato y su absorción es independiente del pH y es un nutriente altamente disponible en los suelos, por lo que en general no es un nutriente limitante (Montañés Et al, 1991).

2.2.2 Calcio: El calcio es un nutriente altamente disponible en los suelos a excepción de zonas tropicales. Está presente en la formación de la membrana celular y participa en la excreción de

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

agua. El calcio es absorbido en los ápices de las raíces a través del xilema en forma de ion y raramente es un nutriente limitante (Montañés Et al, 1991).

2.2.3 Hierro: El hierro participa en la formación de proteínas cloro plásticas y en las reacciones de oxidorreducción de las plantas. Las plantas absorben hierro en forma férrica y ferrosa (Montañés Et al, 1991).

2.2.4 Manganeso: El manganeso se presenta en las plantas de forma iónica. Participa en reacciones redox, manejo de radicales libres y transporte de electrones (Montañés Et al, 1991).

2.2.5 Cobre: El cobre cubre funciones fisiológicamente similares a las del hierro, además, participa en procesos de oxidación (Montañés Et al, 1991).

2.2.6 Zinc: El zinc se absorbe de forma iónica en la epidermis y las raíces, participa en la síntesis de triptófano y la absorción de nitrógeno. La deficiencia de zinc provoca disminución del crecimiento y de necrosis en hojas viejas (Montañés Et al, 1991).

2.2.7 Boro: El boro se encuentra en la planta en la forma de ácido bórico, su absorción depende principalmente del pH del suelo. Participa en procesos relacionados con el desarrollo y la resistencia de la pared celular (Montañés Et al, 1991).

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

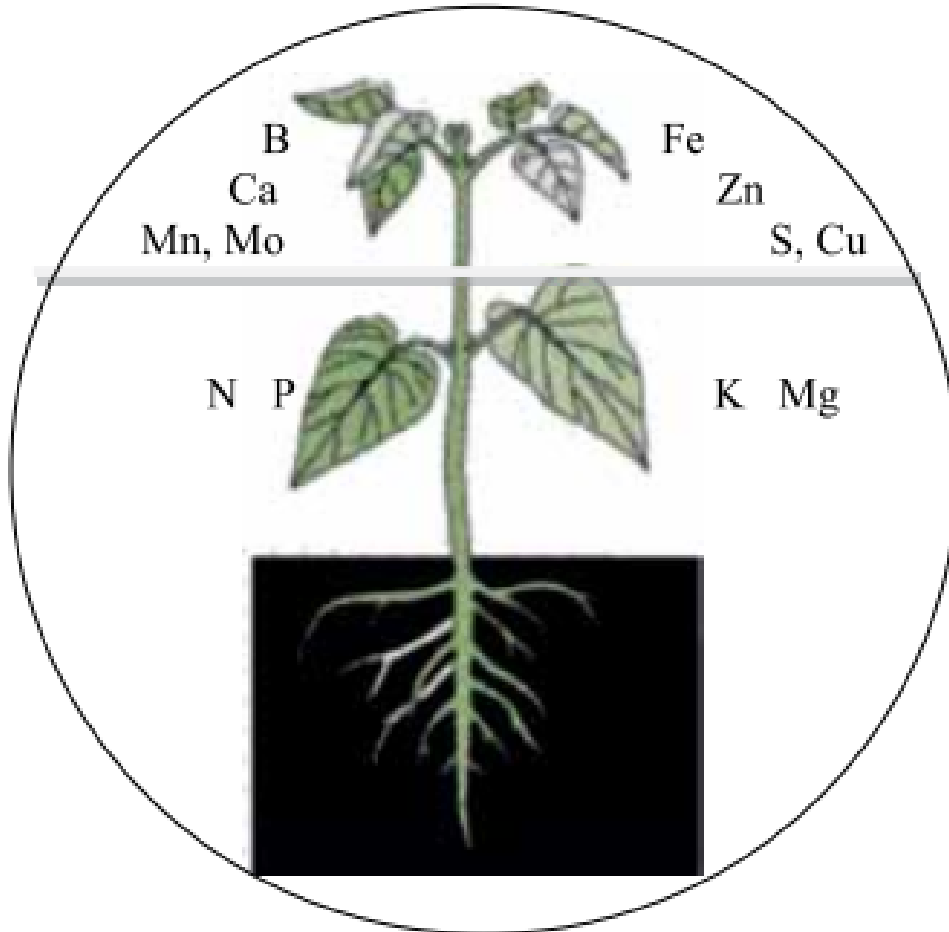


Imagen 3: Nutrientes móviles e inmóviles(Montañés Et al, 1991).

2.3 Métodos de interpretación de análisis foliares: El resultado de un análisis foliar, es el contenido nutricional de la planta para determinados nutrientes, estos nutrientes son elegidos por el profesional, sin embargo, los más comunes son los mencionados en la sección 2.1. Para interpretar los resultados se pueden seguir diferentes enfoques, los más comunes se presentan a continuación.

2.3.1 Rangos de suficiencia: El método más utilizado para la interpretación de análisis foliares debido a su simplicidad, consiste en determinar dos valores críticos de concentración del

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

nutriente. El límite superior hace referencia a exceso de nutrientes y es el valor a partir del cual se considera que dicho nutriente es tóxico para la planta (Toledo Et al, 2018). El límite inferior hace referencia a la deficiencia del nutriente (Toledo Et al, 2018). Se considera que un nutriente no es un nutriente limitante si su concentración se encuentra en el rango delimitado por los límites inferior y superior. Aunque este método está basado en valores de referencia teóricos, variantes de este método proponen utilizar datos basados en una población de referencia y un rango superior e inferior basado en alguna métrica alrededor de la media de la población de referencia como la desviación estándar o el coeficiente de variación como se muestra en la imagen. A pesar de la facilidad de implementación, el método puede llevar a interpretaciones sesgadas debido a que los resultados dependen de diferentes factores como edad de la planta, edad del tejido, tipo de tejido, entre otros (Ulloa Et al, 2012).

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

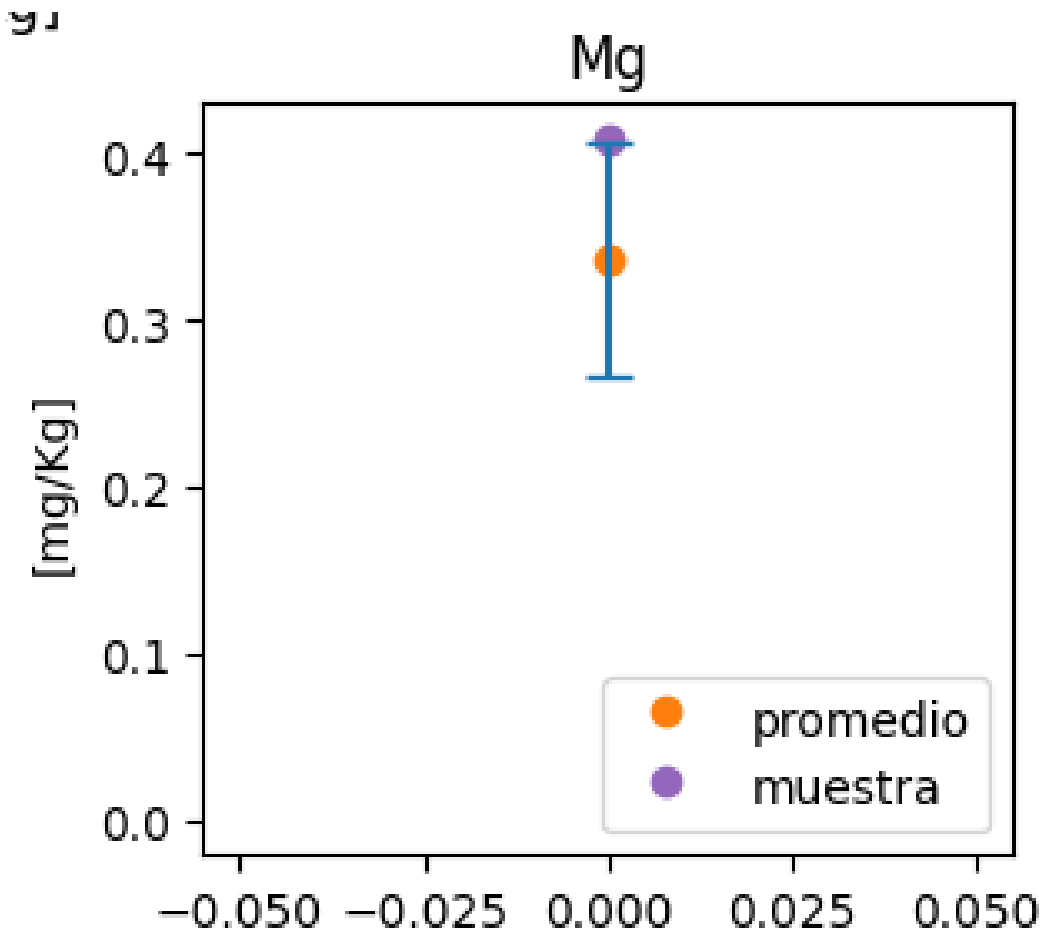


Imagen 4: Rangos de suficiencia para el magnesio a partir de análisis foliares de diferentes fincas de Urabá.

2.3.2 Índices de DRIS: El método de los índices de DRIS solventa los sesgos debidos a diferentes factores de las plantas. El método propone que las relaciones entre las concentraciones de los nutrientes presentan más información sobre el estado nutricional de la planta que las concentraciones en sí mismas (Arboleda et al 1988). Al introducir esta consideración, se reducen sesgos asociados a la edad de la planta, tipo de tejido, ubicación de la hoja, entre otros factores (Pérez Et al, 2022). La interpretación de los índices de DRIS se puede representar visualmente de manera similar a la presentada en los rangos de suficiencia cómo se observa en la Imagen 5.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

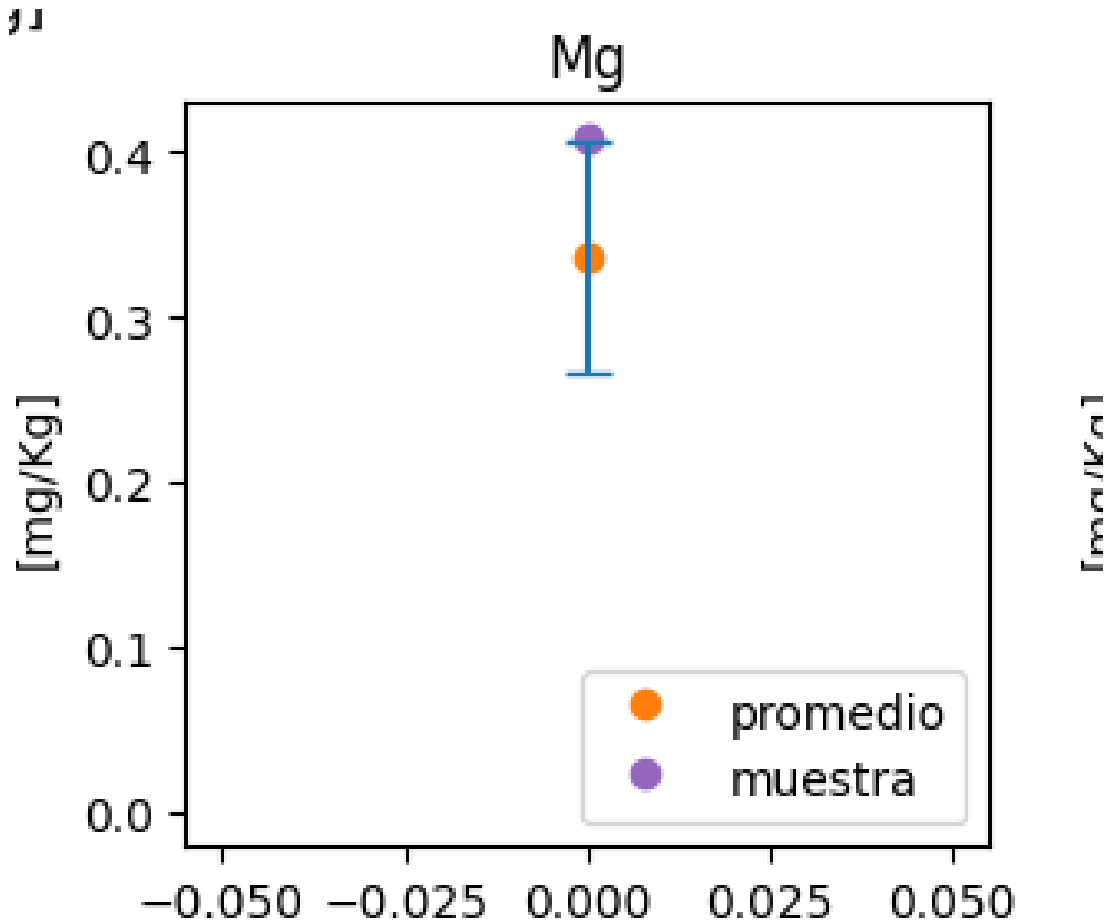


Imagen 5: Índices de DRIS para el magnesio a partir de análisis foliares de diferentes fincas de Urabá.

El cálculo de los índices de DRIS requiere primeramente calcular dos funciones descritas en las ecuaciones 1 y 2, donde A y B son las concentraciones de dos nutrientes dados y $F(A/B)$ es la función de DRIS del nutriente A respecto al nutriente B mientras que a y b son las concentraciones de referencia de dos nutrientes (ej: concentración promedio de un nutriente en un conjunto de muestras), mientras que CV es el coeficiente de variación del nutriente A en el conjunto de muestras.

$$F(A/B) = \left[\frac{A/B}{a/b} - 1 \right] * \frac{(100)}{CV}$$

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Ecuación 1: Función de DRIS para $A/B > a/b$ para la relación del nutriente A respecto al nutriente B (Pérez Et al, 2022).

$$F(A/B) = \left[1 - \frac{a/b}{A/B}\right] * \frac{(100)}{CV}$$

Ecuación 2: Función de DRIS para $A/B < a/b$ para la relación del nutriente A respecto al nutriente B (Pérez Et al, 2022).

Las ecuaciones 1 y 2 se calculan para todas las relaciones posibles de un nutriente dado (ej: N/Fe, N/Mg,...) y el Índice de DRIS de dicho nutriente es la sumatoria de todas las funciones posibles dividida entre el número total de relaciones de dicho nutriente. En el proceso hay varias relaciones de interés, relaciones móviles-móviles, relaciones inmóviles-inmóviles y relaciones móviles-inmóviles.

$$DRIS(A) = \frac{\sum[f(A/B)]}{n}$$

Ecuación 3: Índice de DRIS para el nutriente A (Pérez Et al, 2022).

2.4 Componentes técnicos: A continuación se describen conceptos técnicos utilizados en la construcción de la solución presentada en este trabajo.

2.4.1 Base de datos no relacional: Una base de datos no relacional, es aquella en la que la estructura de los datos y las relaciones entre diferentes conjuntos de datos no están previamente definidas a la hora de la construcción de la misma. Debido a esto, las bases de datos no relacionales no realizan validaciones a la hora del ingreso o retorno de datos, por lo tanto, las operaciones de lectura y escritura son más ágiles, además, cómo no almacena información relacional tiende a ser más liviana, sin embargo, se sacrifica consistencia, por lo que no es deseable en todas las aplicaciones (Dilling, 2020).

2.4.1.1 MongoDB: Es una base de datos no relacional que maneja notación JSON, notación compatible con diferentes lenguajes de programación cómo python y javascript.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

2.4.2 Software libre: El software de uso libre, es software de código abierto que puede ser utilizado, modificado, distribuido y mejorado bajo ciertas licencias de uso.

2.4.3 Programación funcional: Consiste en el uso de funciones propias o ya existentes para realizar tareas de manera repetible, se obtienen beneficios como encapsulación de la lógica, eliminación de redundancia en el código, facilidad de uso y empaquetamiento.

2.4.3.1 Flask: Es una librería de python orientada a programación funcional para la construcción ágil de aplicaciones web bajo el protocolo http.

2.4.4 Contenerización: Es un método para correr aplicaciones de manera aislada que facilita su distribución, gracias a la contenerización, el software puede ser fácilmente desplegado en diferentes máquinas.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

3 Metodología

3.1 Fuentes de datos: Los datos utilizados para la realización de este trabajo fueron recolectados por el grupo de fitotecnia tropical, corresponden a diferentes fincas de las regiones de Urabá y el suroeste antioqueño cómo se observa en la imagen 6.

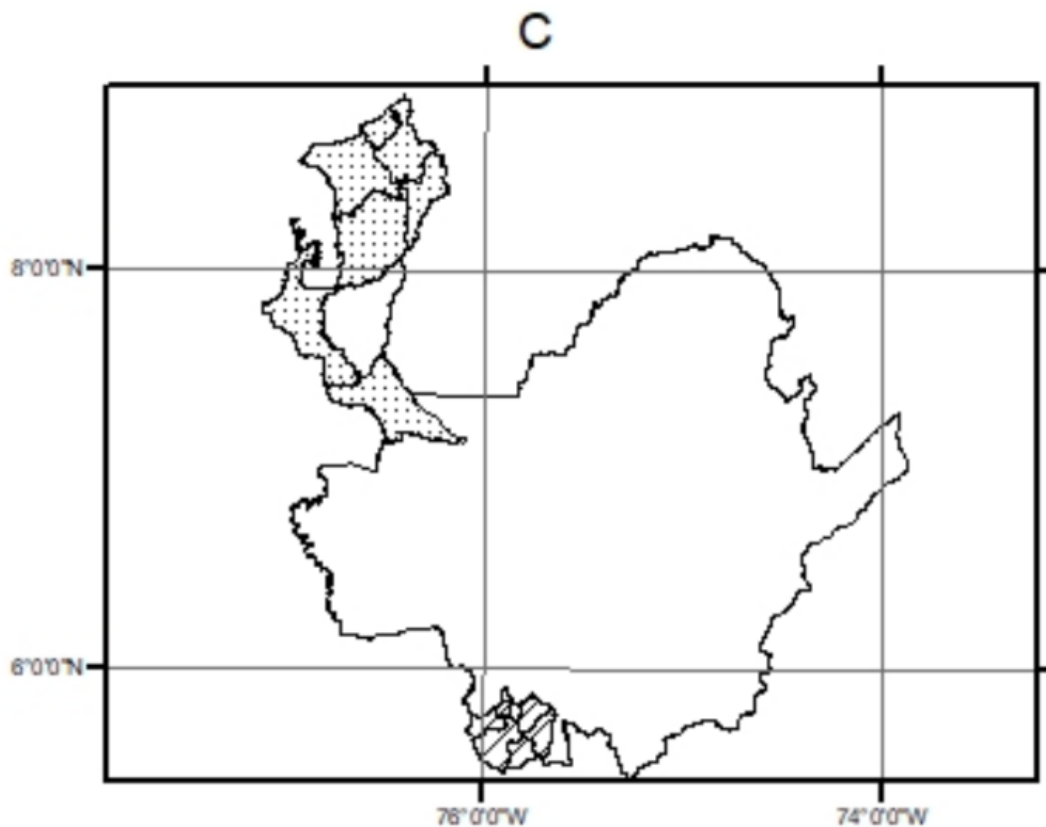


Imagen 6: Ubicación geográfica de las regiones Urabá (puntos) y suroeste antioqueño (rayas) (Pérez Et al, 2022).

3.1.1 Región de Urabá Antioqueño: En la imagen 7 A se presenta la distribución geográfica de las fincas productoras en la región del Urabá Antioqueño, se realizaron análisis foliares de 25 fincas productoras de plátano harton.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

3.1.2 Región del suroeste Antioqueño: En la imagen 7 B se presenta la distribución geográfica de las fincas productoras en la región del suroeste Antioqueño, se realizaron análisis foliares de 25 fincas productoras de plátano dominico harton

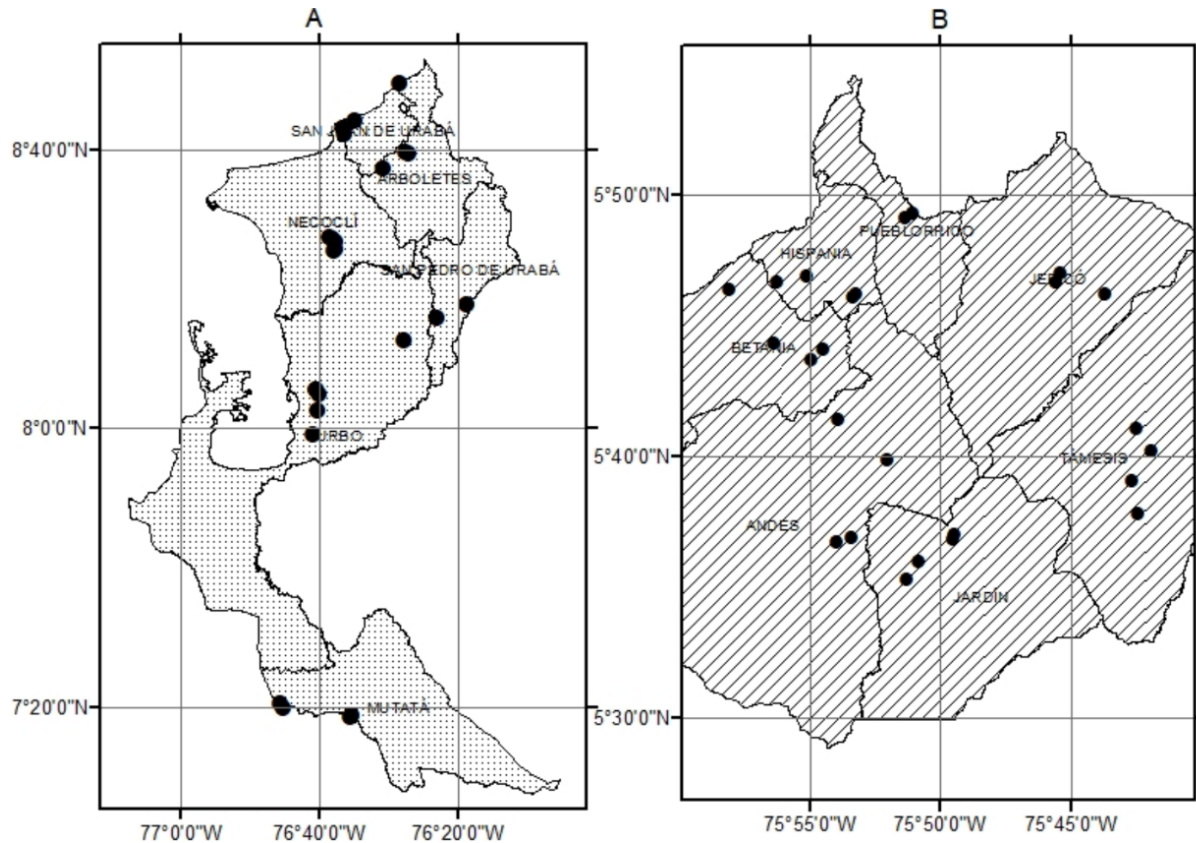


Imagen 7: Distribución geográfica de las fincas en la región de Urabá (A) y suroeste Antioqueño (B) (Pérez Et al, 2022).

3.1.3 Nutrientes examinados: Los análisis foliares tienen información de los nutrientes N, P, K, Mg, S, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn y B debido a la importancia biológica de estos nutrientes (Montañés Et al, 1991).

La tabla 1 muestra un subconjunto de datos de análisis foliares a modo de ilustración, los datos de ingreso presentan información geográfica (municipio), id de la finca, nivel de producción y

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

algunos de los nutrientes de interés. La tabla es solo para fines ilustrativos y no contiene toda la información completa de las bases de datos.

Tabla 1: Ejemplo datos de entrada a la aplicación.

Mpio	Id	Pr	N	P	S	Ca	Mg	K	Fe
Arboletes	112	7.28	2.68	0.24	0.10	0.99	0.39	4.16	102
Arboletes	113	13.18	2.90	0.24	0.16	0.66	0.41	3.32	92
Arboletes	114	9.49	2.62	0.23	0.18	0.70	0.42	3.73	82
Mutatá	121	5.49	2.55	0.16	0.16	0.51	0.38	3.66	78
Mutatá	122	05.08	2.22	0.20	0.13	0.62	0.38	3.39	89
Mutatá	123	9.00	3.12	0.22	0.14	0.82	0.39	3.15	96
Mutatá	124	08.06	3.37	0.17	0.15	0.86	0.42	2.98	81
Necoclí	131	13.09	2.97	0.17	0.06	0.88	0.34	3.30	137
Necoclí	132	7.75	3.31	0.19	0.12	0.87	0.36	3.69	94
Necoclí	133	7.23	3.57	0.17	0.10	0.71	0.33	4.21	88
Necoclí	134	7.25	03.07	0.17	0.09	1.00	0.39	3.72	231
Necoclí	135	9.87	2.88	0.17	0.09	0.72	0.35	04.02	75
San Juan	141	15.38	2.70	0.20	0.14	0.94	0.29	3.72	58
San Juan	142	10.80	2.34	0.15	0.07	0.99	0.40	2.92	127
San Juan	143	15.73	3.27	0.19	0.07	01.02	0.26	3.56	81
San Juan	144	11.22	2.54	0.16	0.07	1.33	0.30	3.22	64
San Juan	145	10.94	2.68	0.13	0.06	0.95	0.46	2.65	81
San Pedro	151	9.31	2.79	0.18	0.13	0.64	0.45	2.89	96
San Pedro	153	11.35	2.97	0.20	0.18	0.84	0.44	3.69	114
San Pedro	154	11.70	3.72	0.19	0.13	0.79	0.43	3.11	86

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Turbo	161	11.20	2.76	0.16	0.13	0.70	0.37	2.94	72
Turbo	162	11.62	2.73	0.13	0.13	0.71	0.38	3.10	73
Turbo	163	20.50	2.14	0.13	0.12	0.51	0.29	3.80	78
Turbo	164	9.77	2.61	0.17	0.12	0.73	0.40	3.25	73
Turbo	165	10.54	2.29	0.17	0.17	0.71	0.39	3.41	89

3.2 Aplicación para almacenamiento de análisis foliares: En esta etapa se diseña una aplicación para centralizar información de análisis foliares, de acuerdo a lo solicitado por el grupo de investigación, se construye una aplicación que recibe archivos .csv debido a su compatibilidad con excel. Para ahorrar tiempo en el proceso de cálculo de los índices de DRIS, se decide realizar el cálculo de las relaciones entre nutrientes a la hora de ingresar los datos a la base de datos y almacenar dichas relaciones ya que el almacenamiento es más económico que el procesamiento de datos y el tiempo de cálculo de las relaciones se ahorra a la hora de calcular los índices de DRIS.

3.2.1 Construcción de la base de datos: En este paso se construye una base de datos embebida en un contenedor de docker. El motor de base de datos elegido es mongoDB debido a su compatibilidad con el formato JSON entendible por diferentes lenguajes de programación. Además, la persistencia de datos se maneja mediante volúmenes que conectan el contenedor de docker con el almacenamiento interno del host, la imagen 8 presenta un esquemático de la arquitectura actual de la base de datos. Docker almacena una imagen del motor de mongodb que abstrae la lógica del motor de base de datos del sistema operativo host y se implementa una conexión entre el almacenamiento interno del host mediante volúmenes de docker. Esta infraestructura facilita el despliegue de la aplicación ya que la aplicación no está corriendo en el host directamente sino una abstracción (contenedor)

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

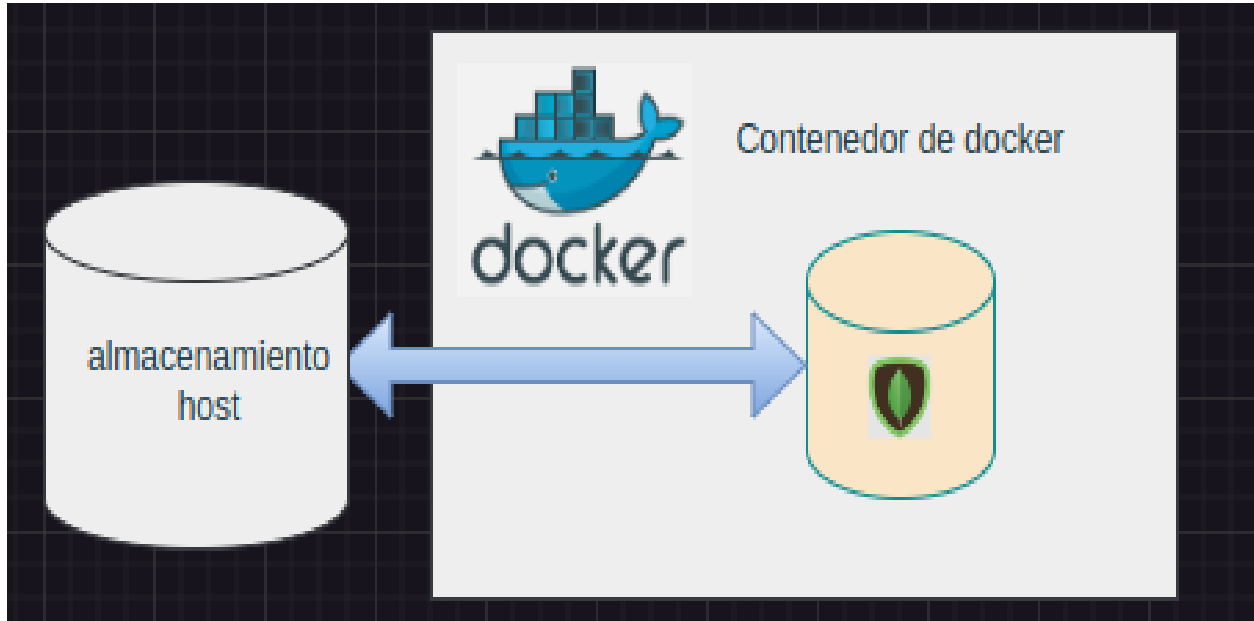


Imagen 8: Arquitectura de la base de datos.

3.2.2 Diseño y construcción de la aplicación de almacenamiento de datos: En esta etapa se diseña una aplicación compatible con la infraestructura de la base de datos previamente diseñada utilizando la librería flask de python. La aplicación también está corriendo en un contenedor, una versión simplificada de la infraestructura muestra la imagen 9, La aplicación posee dos endpoints

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

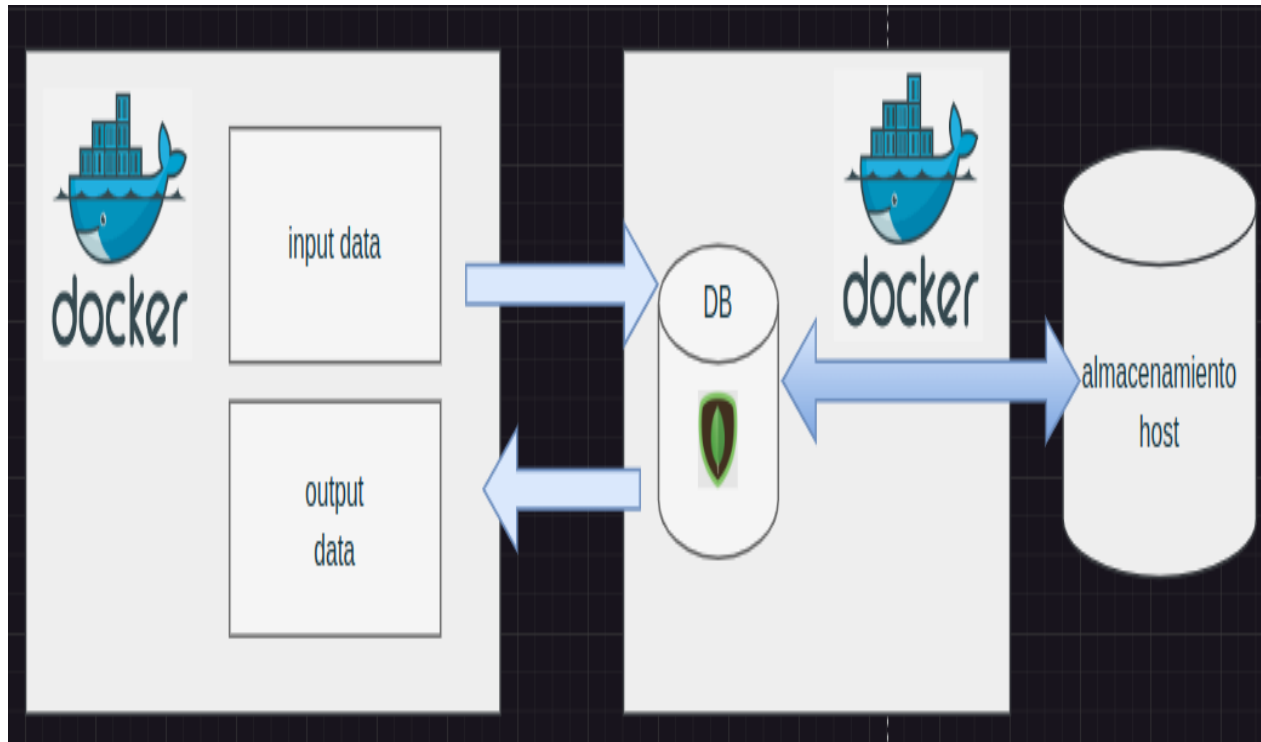


Imagen 9: Arquitectura de la aplicación y conexión con la base de datos.

Para la conexión entre la aplicación y la infraestructura de la base de datos se utilizó la librería `pymongo`, además, se creó una librería para abstraer la lógica de la conexión entre la base de datos y la aplicación. La librería se encarga de diferentes tareas como generar una conexión con `pymongo`, transformación de datos, compatibilidad entre `pandas` y `JSON`, entre otras funciones. Es un desacople entre la lógica de ingreso y retorno de datos, de la lógica de adaptación al backend. Incluyendo la librería de conexión, el esquema resultante es el de la imagen 10 en el que se simplifican los componentes previamente explicados.

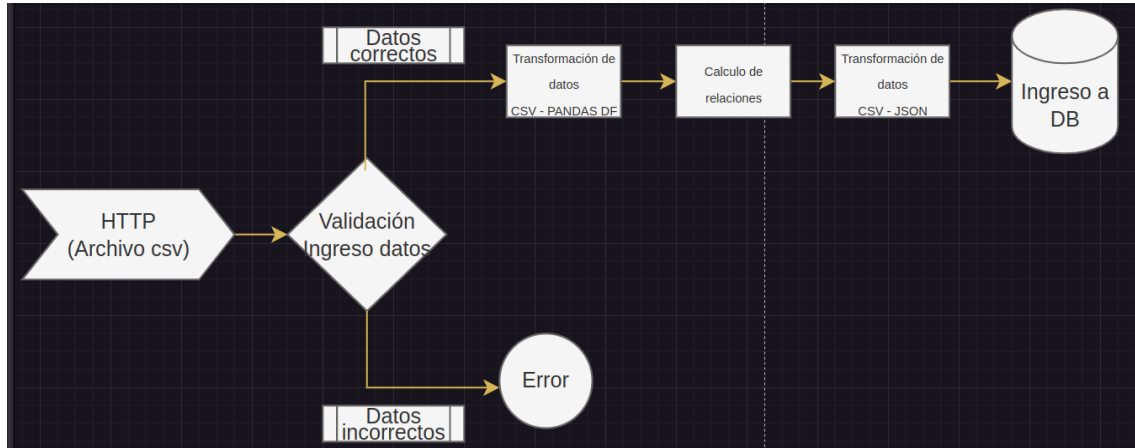
Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.



Imagen 10: Arquitectura de la aplicación y conexión con la base de datos mediante la librería diseñada.

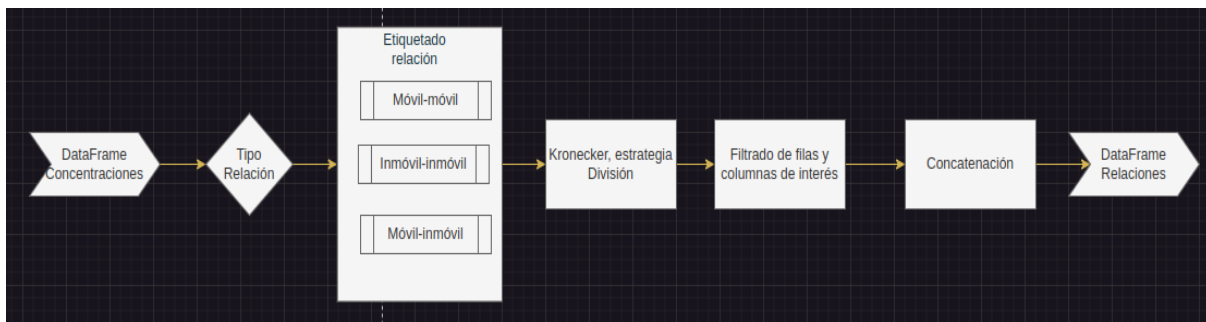
3.2.3 Cálculo de relaciones entre nutrientes: Para aumentar la eficiencia del cálculo de los índices de DRIS, El cálculo de las relaciones (insumos necesarios para el cálculo de los índices, ver marco teórico) se realiza en la etapa de almacenamiento de datos. La imagen 11 presenta el diagrama de flujo de la librería construida para el ingreso de datos. Como se observa en la imagen, se implementan una etapa de validación y luego una serie de etapas de transformación, En la primera se transforman los datos de entrada para compatibilidad con dataframe de pandas, luego entra a una etapa de cálculo de relaciones entre nutrientes, posteriormente, los datos son transformados a formato JSON e ingresados a la base de datos.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.



Imágen 11: Diagrama de flujo, ingreso de datos.

La etapa de cálculo de relaciones en sí misma es un proceso, en la imagen 12 se describe dicho proceso. En particular se destaca la etapa del cálculo de relaciones mediante el operador KRONECKER, una operación matricial que calcula todas las multiplicaciones posibles entre dos matrices, esta operación fue utilizada para calcular todas las operaciones necesarias utilizando matrices y sus recíprocos, posteriormente se eliminan los cálculos innecesarios y se obtiene el dataset de relaciones que será almacenado en la base de datos.



Imágen 12: Diagrama de flujo, cálculo de relaciones.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Por último, la API de retorno de datos, usa la librería adaptadora a la base de datos y retorna los datos en formato JSON vía http cómo se presentó en el esquema previo. En la imagen 13 se presenta un ejemplo del retorno de los datos almacenados en la base de datos. Se decide retornar los datos en formato JSON debido a su compatibilidad con múltiples lenguajes de programación, de esta manera, futuros consumidores podrán tener un formato estándar de consumo de la aplicación para adaptarlo a sus propias necesidades.

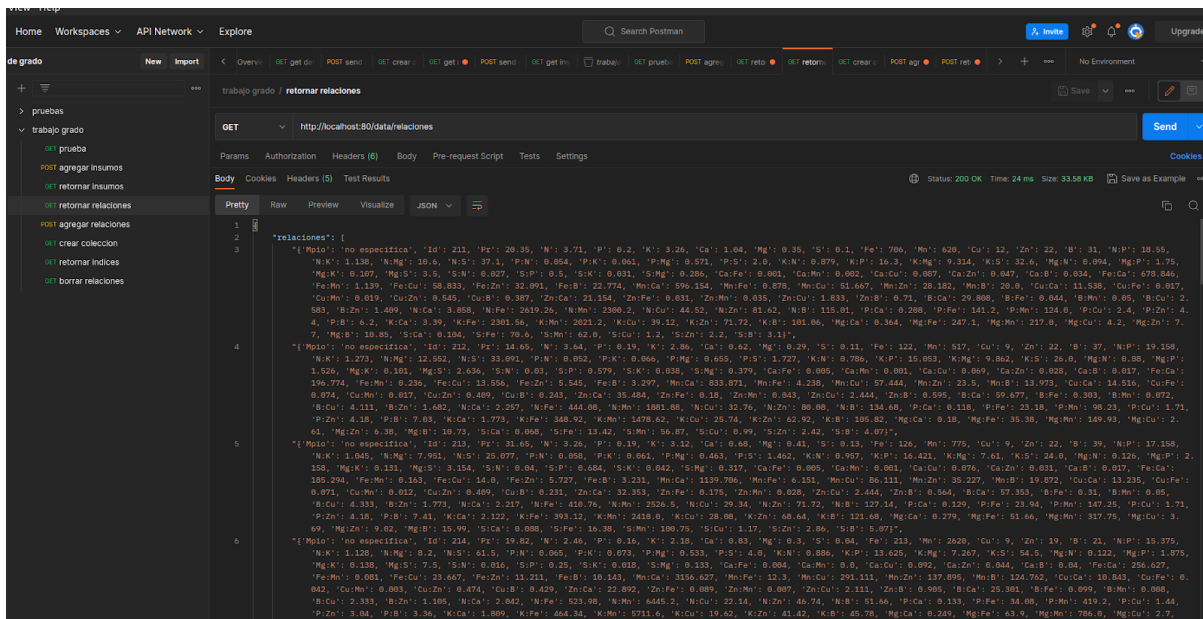


Imagen 13: Retorno de relaciones en formato JSON.

3.2.4 Diseño y construcción de la API y la librería de cálculo de índices de DRIS:

A petición del grupo de investigación, la aplicación para el cálculo de índices de DRIS recibe las muestras a partir de un archivo csv, la imagen 14 presenta la arquitectura de la aplicación. Una aplicación diseñada con flask se conecta a la base de datos y obtiene las relaciones de nutrientes almacenadas. dichas relaciones son luego procesadas con una librería realizada en python para realizar los cálculos de los índices de DRIS de acuerdo a las ecuaciones 1, 2 y 3.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

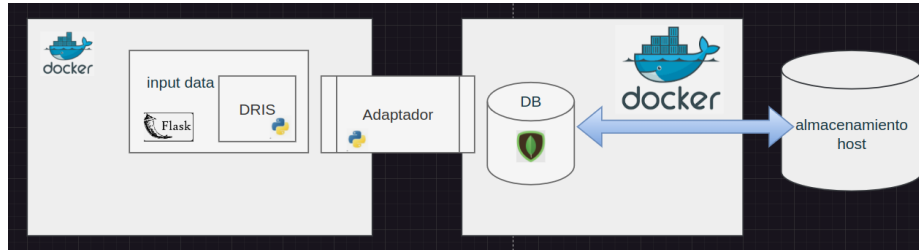


Imagen 14: Aplicación para cálculo de índices de DRIS.

La imagen 15 a continuación presenta el diagrama de flujo de la librería DRIS diseñada para el cálculo de los índices de DRIS. La librería recibe los datos provenientes de la base de datos en formato JSON, un adaptador transforma los datos a formato data frame para realizar cálculos matemáticos posteriores utilizando la librería pandas, se utilizan expresiones regulares para extraer las relaciones por nutriente y se calculan los estadísticos necesarios para determinar las funciones de DRIS a utilizar. Luego de calcular las funciones de DRIS de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2, se realiza el cálculo de los índices de DRIS por nutriente de acuerdo a la ecuación 3. Posteriormente, se utiliza el adaptador para convertir los datos a formato JSON.

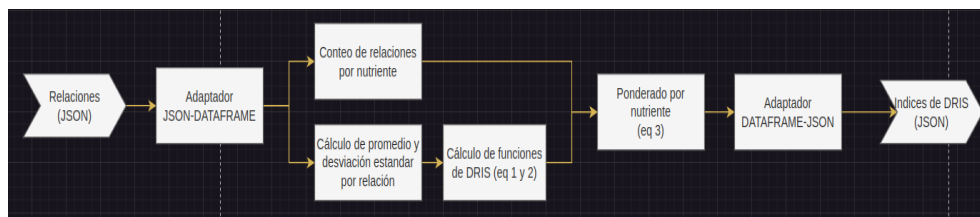


Imagen 15: Diagrama de flujo, cálculo de los índices de DRIS.

3.3 Validación de la librería: En esta etapa se comparan los resultados obtenidos con la librería DRIS con los resultados previos obtenidos por el grupo de investigación, esta comparación se realiza de manera visual entre tablas generadas por la aplicación y tablas del grupo de investigación con los cálculos realizados para datos de prueba.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

4 Resultados

4.1 Funcionamiento de la API: Las imágenes 16 y 17 presentan ejemplos de Ingreso y retorno de la API, en este caso se utiliza el cliente HTTP postman para consumir los insumos. Postman es un cliente web genérico, demostrando que la aplicación es independiente de los consumidores y tanto, entrada (imagen 16) cómo salida (imagen 17) de datos de la aplicación son en formato JSON, un formato estándar en la industria web, permitiendo así una aplicación extensible que cualquier consumidor pueda utilizar de acuerdo a sus necesidades.

La imagen 16 presenta un ejemplo de entrada de datos a la API, en este caso se entregan diferentes insumos a la API para personalizar su funcionamiento cómo por ejemplo la definición de los nutrientes móviles y no móviles, la proporción para determinar el top de granjas en términos de producción, entre otras. Además, se presentan las operaciones soportadas por la API, estas son: agregar insumos, retornar insumos, retornar y agregar relaciones, crear colecciones para crear la base de datos, eliminar relaciones de la base de datos, entre otras operaciones útiles.



Imagen 16: Entrada de datos de la API y operaciones.

La imagen 17 presenta un ejemplo de salida de datos de la aplicación, nuevamente la salida de datos se presenta en formato JSON, en este caso es un ejemplo de la operación de cálculo de índices de DRIS. También presenta información relevante del funcionamiento de la aplicación, En particular, el tiempo de respuesta, la aplicación permite calcular los índices de DRIS de las muestras en menos de 0.5 segundos. Trabajos previos sobre el mismo conjunto de datos reportan

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

tiempos del orden de los 10 minutos, consiguiendo un incremento significativo en la eficiencia del algoritmo. (referencia fitotecnia tropical)

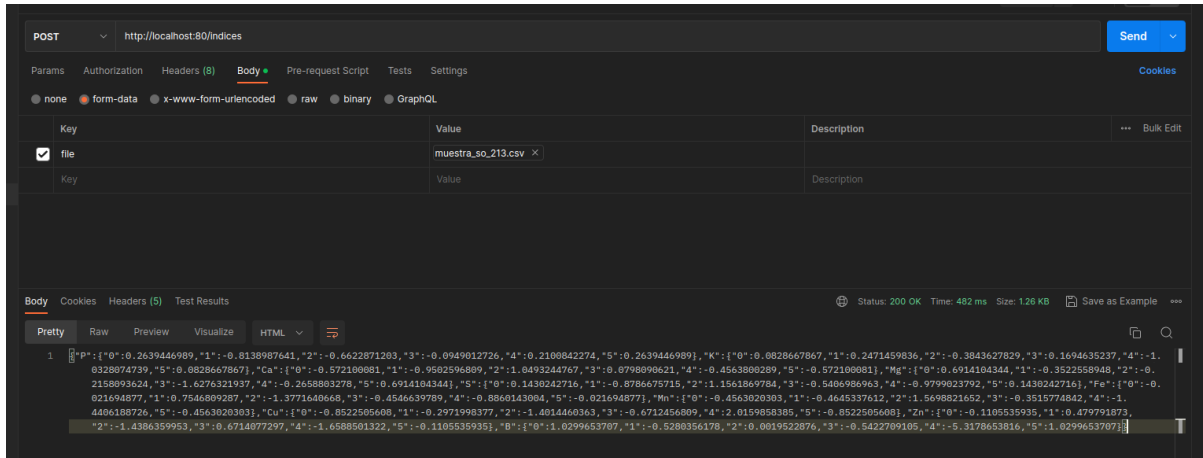


Imagen 17: Retorno de los índices de DRIS en formato JSON.

4.2 Almacenamiento en base de datos: La Tabla 2 presenta parcialmente la información almacenada en la base de datos luego de ser procesada por la aplicación de almacenamiento. Se puede observar que contiene información de las relaciones entre los nutrientes, el municipio, la producción y el id de la finca. La información de las relaciones se almacena para evitar el cálculo de las relaciones cada vez que se vaya a realizar el cálculo de los índices de DRIS, mejorando la velocidad de la API. Esto también es económicamente positivo ya que el costo de la capacidad de cálculo es superior al costo de almacenamiento.

Tabla 2: información almacenada en la base de datos luego del procesamiento realizado por la aplicación.

Mpio	Id	Pr	N	P	S	Ca	Mg	K	Fe	Mg:Cu	Mg:Zn	Mg:B	S:Ca
Arboletes	112	7.28	2.68	0.24	0.10	0.99	0.39	4.16	102	73.71	2.73	7.41	13.65
Arboletes	113	13.18	2.90	0.24	0.16	0.66	0.41	3.32	92	84.46	3.69	7.38	7.38
Arboletes	114	9.49	2.62	0.23	0.18	0.70	0.42	3.73	82	60.06	3.78	7.98	15.96
Mutatá	121	5.49	2.55	0.16	0.16	0.51	0.38	3.66	78	188.48	2.66	7.98	12.92

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Mutatá	122	05.08	2.22	0.20	0.13	0.62	0.38	3.39	89	155.80	03.04	6.84	8.74
Mutatá	123	9.00	3.12	0.22	0.14	0.82	0.39	3.15	96	86.58	3.90	6.63	8.19
Mutatá	124	08.06	3.37	0.17	0.15	0.86	0.42	2.98	81	108.36	3.78	6.72	9.66
Necoclí	131	13.09	2.97	0.17	0.06	0.88	0.34	3.30	137	110.16	2.38	5.44	8.50
Necoclí	132	7.75	3.31	0.19	0.12	0.87	0.36	3.69	94	154.08	2.88	6.12	14.04
Necoclí	133	7.23	3.57	0.17	0.10	0.71	0.33	4.21	88	167.97	1.98	6.27	8.58
Necoclí	134	7.25	03.07	0.17	0.09	1.00	0.39	3.72	231	127.14	3.51	7.80	8.97
Necoclí	135	9.87	2.88	0.17	0.09	0.72	0.35	04.02	75	88.90	2.10	6.30	10.50
San Juan	141	15.38	2.70	0.20	0.14	0.94	0.29	3.72	58	38.86	02.03	4.93	7.25
San Juan	142	10.80	2.34	0.15	0.07	0.99	0.40	2.92	127	182.80	2.00	6.40	8.40
San Juan	143	15.73	3.27	0.19	0.07	01.02	0.26	3.56	81	117.00	1.56	4.42	9.10
San Juan	144	11.22	2.54	0.16	0.07	1.33	0.30	3.22	64	82.20	1.50	4.80	9.90
San Juan	145	10.94	2.68	0.13	0.06	0.95	0.46	2.65	81	397.44	2.76	6.90	7.82
San Pedro	151	9.31	2.79	0.18	0.13	0.64	0.45	2.89	96	111.60	4.50	8.10	13.05
San Pedro	153	11.35	2.97	0.20	0.18	0.84	0.44	3.69	114	122.76	4.40	9.24	12.32
San Pedro	154	11.70	3.72	0.19	0.13	0.79	0.43	3.11	86	84.71	4.30	7.74	13.76
Turbo	161	11.20	2.76	0.16	0.13	0.70	0.37	2.94	72	96.20	2.96	8.51	4.44
Turbo	162	11.62	2.73	0.13	0.13	0.71	0.38	3.10	73	49.78	4.18	9.88	5.70
Turbo	163	20.50	2.14	0.13	0.12	0.51	0.29	3.80	78	35.38	02.03	7.83	3.77
Turbo	164	9.77	2.61	0.17	0.12	0.73	0.40	3.25	73	42.00	3.20	9.20	4.80

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

4.3 Validación de los resultados: La imagen 18 presenta los resultados de los índices de DRIS a partir de datos de prueba almacenados en la base de datos. La imagen 19 presenta los resultados esperados para los índices de DRIS para el mismo conjunto de datos de prueba. Como se puede observar los resultados obtenidos son idénticos a los resultados de validación con 4 cifras significativas. Comprobando el funcionamiento de la herramienta en términos de validez de la información.

	N	P	S	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn	B
0	-0.637909	0.696405	0.860270	-0.565429	0.322446	-0.675987	0.202513	-0.134161	0.652885	-0.281631	-1.027035
1	0.285185	-0.113659	-1.991357	-0.185673	0.428632	0.126071	1.099160	0.557875	-1.174315	-1.237296	-0.522921
2	-0.844797	-0.062688	0.402967	1.093273	-1.063504	-0.134325	-1.308405	-1.578049	0.010278	-0.061369	0.418380
3	0.727890	0.416623	-1.286763	0.123450	-0.820651	0.386430	-1.346629	1.548111	-2.121859	-0.970130	0.680812
4	0.853689	-0.144218	0.413036	-0.674899	0.859249	-0.591113	-0.480458	-0.784255	0.652375	-0.607300	0.775782
5	-1.741699	-2.164853	-0.114944	-1.085392	-0.980186	0.079201	0.325232	-1.355528	0.156667	1.790138	-1.906431
6	1.017147	0.691173	1.708570	-3.602702	1.639947	0.110134	-0.525339	3.691528	-1.363705	-1.095222	0.566583

Imagen 18: Resultados del cálculo de los índices de DRIS mediante la herramienta diseñada.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn
-0.6379087	0.69640533	-0.67598690	-0.5654287	0.3224457	0.8602699	0.2025128	-0.1341609	
0.2851850	-0.11365865	0.12607100	-0.1856732	0.4286323	-1.9913571	1.0991601	0.5578747	
-0.8447969	-0.06268763	-0.13432526	1.0932726	-1.0635038	0.4029674	-1.3084053	-1.5780493	
0.7278901	0.41662318	0.38642956	0.1234501	-0.8206515	-1.2867627	-1.3466291	1.5481109	
0.8536887	-0.14421775	-0.59111332	-0.6748985	0.8592492	0.4130358	-0.4804579	-0.7842555	
-1.7416993	-2.16485282	0.07920076	-1.0853922	-0.9801860	-0.1149436	0.3252324	-1.3555280	
1.0171468	0.69117267	0.11013356	-3.6027025	1.6399473	1.7085705	-0.5253390	3.6915281	
	Cu	Zn	B					
0.65288499	-0.28163053	-1.0270348						
-1.17431473	-1.23729553	-0.5229215						
0.01027836	-0.06136856	0.4183799						
-2.12185941	-0.97012962	0.6808116						
0.65237460	-0.60730021	0.7757823						
0.15666673	1.79013792	-1.9064310						
-1.36370513	-1.09522236	0.5665826						

Imagen 19: Resultados de validación para los datos de prueba.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

4.4 Visualización de los resultados: A continuación se presentan resultados gráficos para los índices de DRIS calculados. En las imágenes 20 y 21 se representan los índices de dris mediante un gráfico de barras de error, el punto anaranjado representa el promedio de los índices de DRIS para las fincas más productivas de la región de interés. El punto morado representa los índices de DRIS de la muestra evaluada. Las barras representan el coeficiente de variación de la población de interés.

La imagen 20 presenta los índices de DRIS de manera gráfica para los nutrientes móviles, en la sesión de análisis se discuten algunas de estas gráficas y se comparan con la información obtenida con el método de comparación directa. de acuerdo a la ecuación 3, los índices de DRIS son unidades adimensionales.

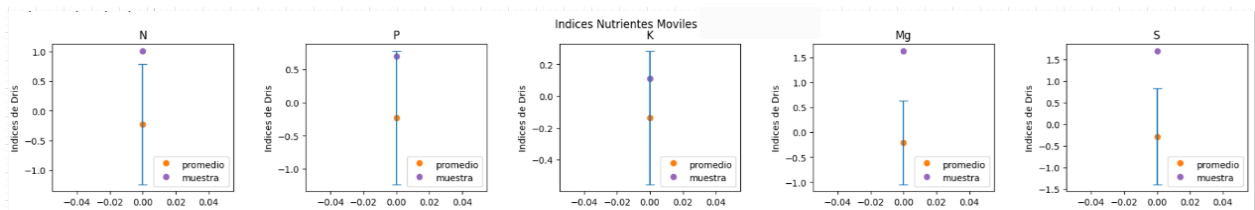


Imagen 20: Índices de DRIS de nutrientes móviles.

La imagen 21 presenta los índices de DRIS para los nutrientes no móviles, nuevamente, algunos de estos resultados se comparan en la sesión de análisis.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

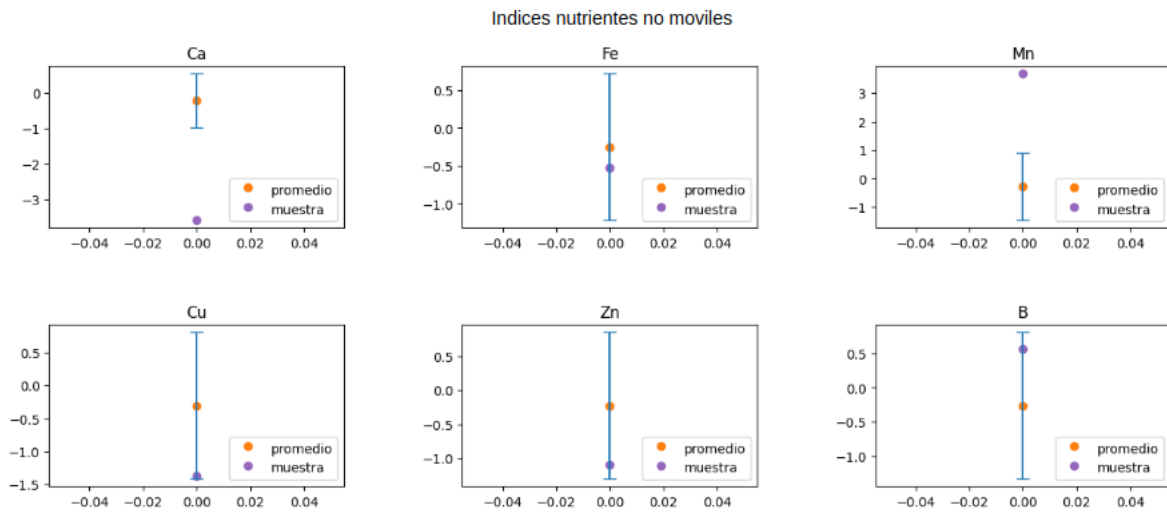


Imagen 21: Índices de DRIS de nutrientes no móviles.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

5 Análisis

5.1 Análisis de resultados obtenidos: A continuación se discuten algunos de los resultados obtenidos a partir de la herramienta diseñada, sin embargo, dichos análisis solo utilizan la información de análisis foliares. No corresponden a una evaluación definitiva del estado nutricional de los cultivos, para esto se requiere información de análisis de suelos, dicho análisis está por fuera del alcance del presente trabajo. Los siguientes análisis son realizados para muestras de la misma población, en particular, la región del Urabá antioqueño.

En la imagen 20 la representación gráfica del análisis mediante índices de DRIS presenta un exceso de los nutrientes Nitrógeno, magnesio y azufre respecto a la población de referencia. Si bien este exceso no necesariamente indica que el nutriente alcance niveles tóxicos en la muestra, indica una desviación en comparación a los niveles de nutrientes presentes en las poblaciones de alto rendimiento, sin embargo, si el análisis se realiza por el método de comparación directa (figura 22), no se observa el comportamiento anteriormente descrito. Esto puede deberse a diferentes factores como la edad de la planta, el tipo de tejido, entre otros. Que introducen sesgos en el análisis por comparación directa.

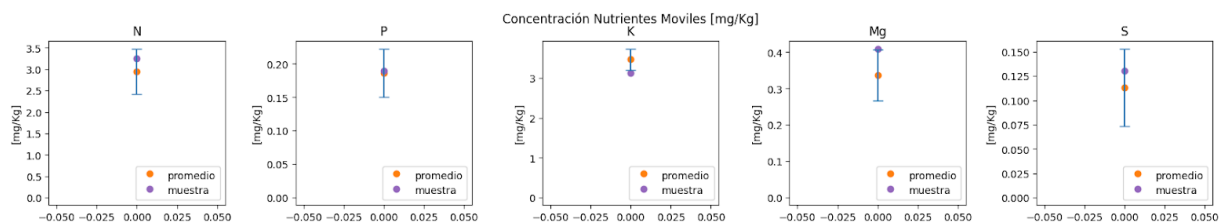


Imagen 22: Análisis por comparación directa para nutrientes móviles.

En la imagen 21 se puede observar que mediante un análisis por índices de DRIS la muestra evaluada presenta un exceso de manganeso. Por el método de comparación directa, no se observa el exceso de manganeso, pero se observan leves excesos de zinc, boro y cobre. Nuevamente, el método de comparación directa podría sugerir acciones a tomar equivocadas sugiriendo una

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

reducción de dichos nutrientes cuando por el método de los índices de DRIS da otras interpretaciones.

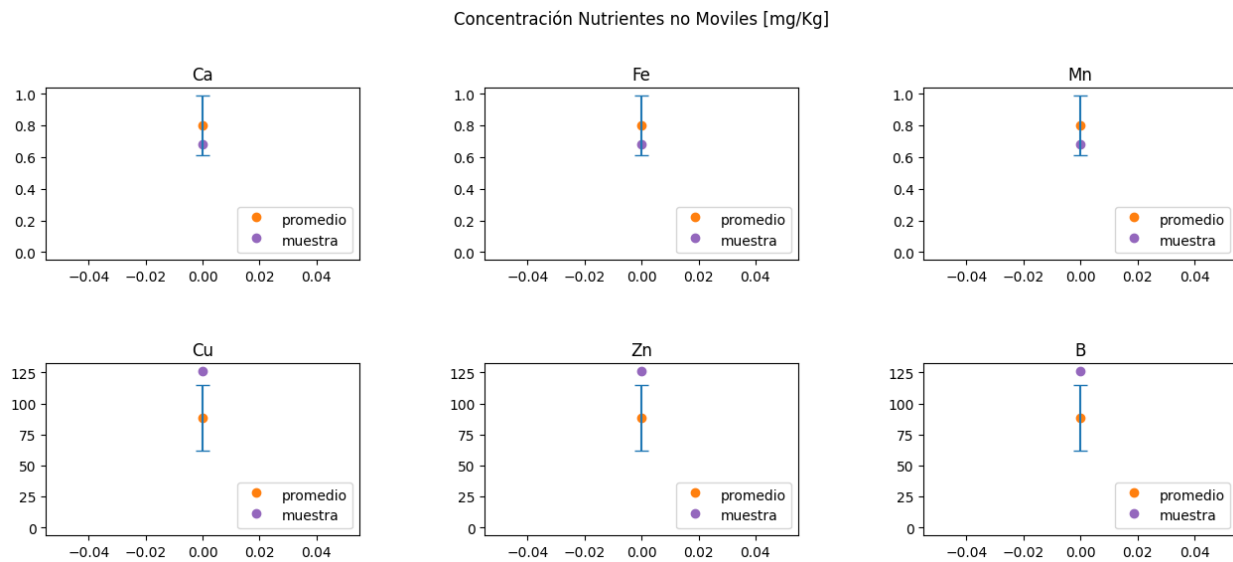


Imagen 23: Análisis por comparación directa para nutrientes no móviles.

5.2 Análisis técnico de la API: A nivel técnico, la API se diseñó considerando diferentes aspectos del desarrollo limpio como el desacople y la reutilización de componentes. Como ya se mencionó en la sesión de resultados (figuras 16 y 17) se ha desarrollado una API con bajo acoplamiento entre los componentes. Este diseño permitió desarrollar una solución limpia, con baja redundancia y reutilizable.

La base de datos diseñada en mongodb y con tecnologías de contenerización, puede ser reutilizada por otras aplicaciones que requieran el consumo de la información almacenada ya que no está acoplada al resto de la aplicación.

En términos de rendimiento, la aplicación es más veloz que la reportada en trabajos anteriores y presenta resultados adecuados como se presentó en la sesión de resultados.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

De acuerdo a las ecuaciones 1, 2 y 3, ya que los índices de DRIS dependen de la población en si, no es óptimo almacenarlos en la base de datos de la forma en que se hizo con las relaciones, ya que al ingresar nuevos datos a la base de datos los parámetros poblacionales utilizados para el cálculo de las funciones de DRIS cambiarán.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

6 Conclusiones

- Se realizó una aplicación web que utiliza un contrato JSON, así, interesados en el consumo de la aplicación pueden utilizarla siempre y cuando sigan el contrato JSON establecido por la API.
- Se diseñó una API y base de datos contenerizadas, desacopladas entre sí. Debido al desacople, la base de datos puede ser reutilizada para otros propósitos según el interesado.
- El análisis por índices de DRIS puede dar conclusiones diferentes cómo se demostró en la sesión de discusión cuando se compararon los métodos de comparación directa y análisis por índices de DRIS.
- Para aumentar la velocidad de cálculo de la API se utilizó la estrategia del cálculo de los índices de DRIS y almacenamiento de las relaciones en la base de datos. Posteriormente se realizó el cálculo de los índices de DRIS a partir de la información de relaciones almacenada. No es recomendable almacenar los índices de DRIS en la base de datos ya que al depender estos de estadísticos del conjunto de datos, sería necesario calcularlos para todos los datos cuando se realicen nuevos registros o se cambie la proporción utilizada para determinar las fincas más productivas.

Las tablas 3 y 4 presentan diferentes opciones disponibles para diferentes etapas del presente trabajo.

Tabla 3: Matriz de diseño para algunos métodos de interpretación de análisis foliares.

Método	Ventajas	Desventajas
Rangos de suficiencia.	<ul style="list-style-type: none">● Comparación directa entre concentraciones de nutrientes.● Fácil de implementar, no requiere métodos	<ul style="list-style-type: none">● Susceptible a diferentes tipos de sesgos asociados a la planta, el nutriente y el ambiente.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

	matemáticos avanzados.	
Desviación del óptimo porcentual.	<ul style="list-style-type: none"> ● Fácil de implementar. ● Reduce sesgos asociados a factores de la planta y el ambiente para algunos nutrientes. ● 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mantiene sesgos para algunos nutrientes.
Índices de DRIS	<ul style="list-style-type: none"> ● Reduce los sesgos de las interpretaciones asociados a la planta y el ambiente para todos los nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementación matemática compleja.

- Los diferentes métodos de interpretación de análisis foliares implican consideraciones para su implementación, la principal complicación del método de los índices de DRIS es la complejidad matemática del cálculo, sin embargo, el presente proyecto presenta una alternativa para facilitar su implementación.

Tabla 4: Matriz de diseño para algunas opciones de tecnología disponibles para la implementación del presente proyecto.

Opciones tecnológicas	Ventajas	Desventajas
Python	<ul style="list-style-type: none"> ● Facilidad de uso. ● Cantidad de librerías disponibles para los casos de uso requeridos. ● Capacidad nativa de procesamiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● No es un lenguaje adaptado específicamente para la web. ● La falta de tipado dificulta el control sobre los datos de entrada y salida. ● Es un lenguaje interpretado y por lo tanto es más lento en comparación a lenguajes compilados.
Java	<ul style="list-style-type: none"> ● Orientado al diseño backend. ● Lenguaje compilado. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Curva de aprendizaje relativamente alta. ● No está pensado para procesamiento de datos.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Matlab	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad para procesamiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> No está pensado para aplicaciones web. Es un lenguaje interpretado.
No contenerización	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> Se pueden presentar muchos problemas de compatibilidad a la hora de la distribución.
Contenerización (Docker)	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad en el desarrollo.
SQL	<ul style="list-style-type: none"> Estructura definida y rígida para las tablas. 	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo de lectura aumenta
noSQL (MongoDB)	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de lectura y escritura. 	<ul style="list-style-type: none"> No hay una estructura rígida para las tablas.

- Existen diferentes opciones tecnológicas (ver tabla 4) para el desarrollo de este tipo de proyectos, sin embargo, se escogió python como lenguaje de programación principal por su facilidad de uso y la capacidad para tratamiento de datos, se eligió contenerizar la aplicación para realizar una aplicación fácil de desplegar y compatible con cualquier sistema que tenga docker y una base de datos basada en mongoDB debido a la velocidad de escritura, lectura y que no se requería una estructura rígida en las tablas.

7 Recomendaciones

- La disponibilización de la aplicación vía web puede realizarse mediante aws utilizando contenerización de EC2, esto no requiere un esfuerzo técnico considerable ya que la aplicación fue diseñada bajo tecnologías de contenerización y los scripts de creación de las imágenes están consolidados en el repositorio de github.
- La aplicación para cálculo de índices de DRIS, presenta una alternativa para facilitar la adopción de este método superando los inconvenientes asociados a la complejidad matemática de los resultados, se recomienda utilizar las funcionalidades diseñadas en el presente trabajo para la interpretación de análisis foliares mediante el método de los índices de DRIS ya que ofrecen resultados probados (ver sección 4.3). Adicionalmente se recomienda realizar trabajos similares para la interpretación de análisis de suelos ya que dichos trabajos podrán ser utilizados por productores para evaluar el estado nutricional de los cultivos mediante basados estudios compuestos de análisis foliares y de suelos.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Referencias

Arboleda, C., Arcila, J., & Martínez, R. (1988). Sistema integrado de recomendación y diagnóstico. Una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. *Agronomía Colombiana*, 5, 17-30.

Brockley, R. P. (2001). Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. En *Proceedings Enhanced Forest Management: Fertilization & Economics Conference* (pp. 62-67). Edmonton, Canadá.

Dilling T. J. (2020). Artificial Intelligence Research: The Utility and Design of a Relational Database System. *Advances in radiation oncology*, 5(6), 1280–1285. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2020.06.02>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Indicadores e instrumentos cadena plátano. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/2018-10-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Montañés, L., Heras, L. y Sanz, M. (1991). Desviación del Óptimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Dei*. 20(3-4), 93- 107. <https://doi.org/10.1080/01904169309364613>

Pereira Morales, C. A., Maycotte Morales, C. C., et al. (2011). *Sistemas de producción vegetal II* (Primera edición). Caldas, Colombia: Espacio gráfico comunicaciones S.A.

Pérez, J.J. Et al (2022). Plant analysis based on the DRIS system: programming interface with a case study in plantain crop. *chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(3), 252-264

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Toledo, L., Saavedra, R., Trujillo, D., Prado, Y., Nowaki, R., Junior, R. (2018). Diagnóstico nutricional de cultivos en Colombia. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura Servicio Nacional de Aprendizaje.

Torri, S. (2016). Análisis foliar. *Revista de Botánica Aplicada*, 52(3), 123-135.

Recuperado de

https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Torri/publication/305849363_Analisis_foliar/links/57a378f208ae455e85306f89/Analisis-foliar.pdf

Ulloa, F. V., García, S. M., Estrada, M. C., López, D. C., Cruz, M. J., & García, P. S. (2012). MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS NUTRIMENTAL EN NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Terra Latinoamericana*, 30(2), 139-145. <http://www.redalyc.org/pdf/573/57324446005.pdf>

Villaseñor, D. A. O., De Mello Prado, R., Da Silva, G. P., Carrillo, M., & Durango, W. (2020a). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785-2796.

Diseño de API de interpretación de análisis foliar, mediante indicadores DRIS para cultivos, caso de estudio: cultivo de plátano en las subregiones de Urabá y el suroeste de Antioquia.

Anexo

En el siguiente enlace se encuentra el repositorio de GIT con los códigos fuente de la API diseñada en el trabajo: <https://github.com/koyomi-san/trabajo-grado>