

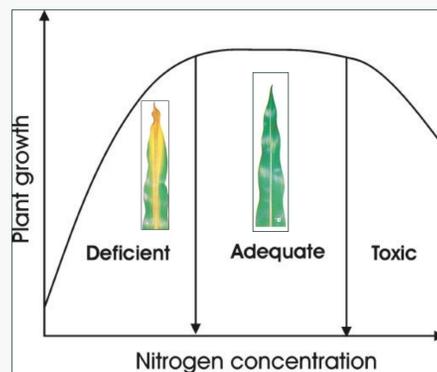
ABSTRACT

En la actualidad, existe una necesidad por parte de los agricultores peruanos, de una manera de estimar los niveles de macronutrientes (N, P y K) en sus cultivos, con tal de prevenir pérdidas y asegurar la calidad del producto. Una de las limitaciones en la determinación de dichos nutrientes para este contexto es el acceso a laboratorios de análisis, por lo cual los agricultores revisan visualmente sus cultivos en busca de deficiencias, sin embargo, este método falla en hallarlas de manera precisa y oportuna. El presente estudio propone el uso de un método espectrofotométrico portátil para un análisis preciso, accesible y en campo, con tal de maximizar el beneficio de los agricultores. La tecnología desarrollada se basa en la medición de la absorbancia y ajuste del color.

INTRODUCCIÓN

Nitrógeno

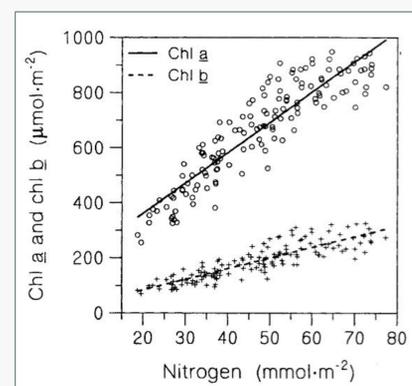
En Madre de Dios y Cusco, se observó que agricultores enfrentan condiciones climáticas de mayor incertidumbre cada año. Los cultivos requieren un especial cuidado para el cual es esencial optimizar el tipo y cantidad de abono en uso. Para ello, se desea estimar los niveles de nitrógeno porque ofrece un punto de referencia de los requerimientos nutricionales de los cultivos.



Relación entre nitrógeno y crecimiento [1]

Relación nitrógeno-clorofila

Se puede calcular el nivel de nitrógeno en una planta a partir del nivel de clorofila porque existe una relación directa entre sus concentraciones. Teniendo en cuenta que la clorofila emite un color observable, es posible utilizar sensores ópticos para estimar el nivel de clorofila en las plantas. Con este nivel de clorofila, se puede estimar el nivel de nitrógeno en el suelo



Correlación entre nitrógeno y clorofila [2]

Otros dispositivos

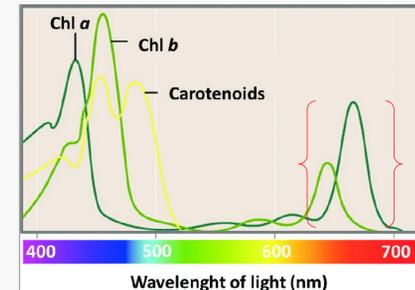
Actualmente, existen dispositivos en el mercado que cumplen la función de medir los niveles de nitrógeno en las hojas, sin embargo, poseen precios elevados, superiores a los \$2000, lo cual lo vuelve inaccesible para los agricultores nacionales.



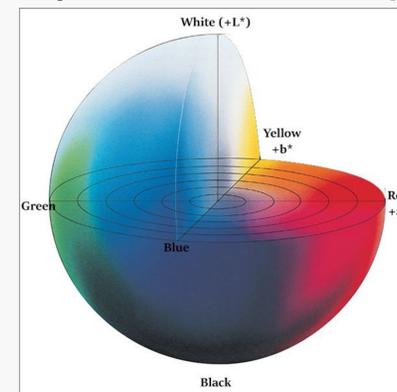
Dispositivo comercial para análisis [3]

METODOLOGÍA

- La clorofila se extrae colocando material foliar en etanol 95% (grado comercial).
- Se toma una fotografía de la muestra con el dispositivo, para estandarizar las condiciones de iluminación.
- Con un algoritmo de detección de objetos se filtra la muestra de la imagen. Se selecciona el color representativo de la muestra en formato CIELAB para aislar el tono del color de su luminosidad.
- Se aplica recolorado de imágenes por referencia para minimizar el error causado por el uso de diferentes sensores (cámaras).
- Mediante la ley de Beer-Lambert, se halla la concentración de clorofila de la muestra en base a la absorbancia (color absorbido). La concentración de nitrógeno se calcula mediante la relación lineal con la clorofila.



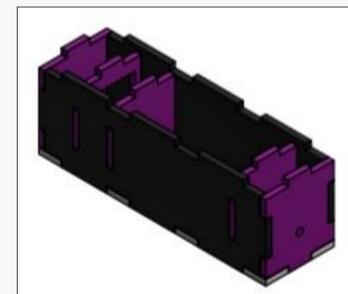
Espectro de absorbancia de la clorofila [4]



Espacio de color CIELAB [5]

DISPOSITIVO

El dispositivo se basó en análisis de colorimetría. Fue diseñado con la intención de controlar parámetros (e.g. iluminación y tono del color, posición de la muestra respecto a la fuente de luz) para reducir fuentes de error causadas por luz externa, reflejos en el envase de la muestra y luz de frecuencias que no excitan la clorofila, entre otros.



CAD del dispositivo, elaboración propia.

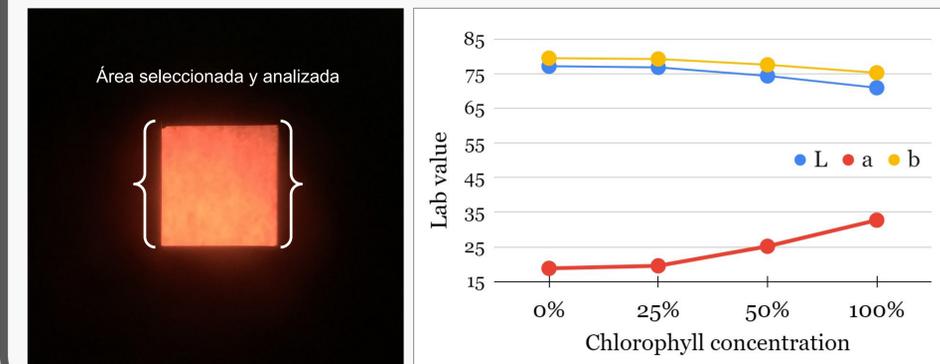
Consta de cuatro divisiones destinadas al aislamiento de la fuente de luz (LED), la muestra y la cámara. Entre la fuente y la muestra se coloca un filtro de luz naranja, cuya longitud de onda únicamente excita a la clorofila. Se deja un espacio libre de longitud mayor al resto en el medio del dispositivo para minimizar el ángulo de apertura de la luz al llegar a la cámara. De igual manera, se utiliza un envase de base cuadrada para minimizar la distorsión de la luz al atravesar ambas paredes del envase. Un modelo CAD del dispositivo fue diseñado para facilitar su reproducibilidad.



Prototipo del dispositivo.

RESULTADOS

- El software reconoció de manera exitosa la región de interés y aisló los colores de la muestra de los colores del fondo.
- El prototipo de "case" logró aislar la muestra y el sensor de la interferencia del ambiente, como la luz solar o artificial del lugar.
- Se halló una correlación directa del valor de "a" respecto a la concentración de clorofila, mientras que para "L" y "b", la relación hallada fue inversa.



CONCLUSIONES

- El software es eficiente y permitió extraer la data importante de las imágenes.
- Se apreció una fuerte correlación entre la concentración de clorofila y el parámetro "L".
- Se requiere un cambio de concentración significativo para poder obtener un cambio evidente de los valores de LAB.
- En muestreos a diferentes concentraciones no se obtuvieron canales a y b similares, a diferencia de lo esperado.

Como sugerencia del trabajo a futuro, se puede emplear análisis monocromático para estimar el nivel de clorofila, ya que reduce la complejidad del software a la corrección de error en las lecturas del sensor y reduce las fuentes de ruido.

REFERENCIAS

- [1] A. J. Bloom, "The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources," *Curr. Opin. Plant Biol.*, vol. 25, pp. 10–16, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.pbi.2015.03.002.
- [2] Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Massantini, F. (1993). Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in maize leaves. *European Journal of Agronomy*, 2(2), 113–117. doi:10.1016/s1161-0301(14)80141-x
- [3] Maruplast, "SPAD 502 PLUS, Medidor de Clorofila". Accessed on: Aug. 5, 2020.
- [4] L. Guidi, M. Tattini and M. Landi, "How Does Chloroplast Protect Chlorophyll Against Excessive Light?", *Chlorophyll*, 2017. Available: 10.5772/67887.
- [5] "What is CIE 1976 Lab Color Space? - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments", Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments, 2020.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud con nuestros asesores Carlos Ríos PhD. y Joost Vlassak PhD, así como nuestros compañeros del equipo de Harvard SEAS.