



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter complejo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

TEMA:

Influencia en el desarrollo fenológico con la medición de índice SPAD
en maíz.

AUTORA:

Jennifer Carolina Medina Salvatierra

TUTOR:

Ing. Agr. David Mayorga Arias, Mg.IA

Babahoyo- Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

Las evaluaciones con medidores de clorofila SPAD pueden proporcionar mediciones rápidas y confiables siempre que proporcionen una cantidad suficiente de mediciones relevantes para cada especie, cinco mediciones por una crean un modelo personalizado; también es importante la elección del estado fenológico de la planta y del sector en el que se realizan las mediciones, principalmente porque las hojas y su filotaxia tienen grandes diferencias en el contenido de clorofila. En este trabajo bibliográfico toda la información recopilada fue analizada, sintetizada y resumida con el único objetivo de proporcionar información específica sobre el índice de SPAD en el cultivo de maíz. Por lo anteriormente detallado se determinó que el Medidor de Clorofila SPAD 502 es un instrumento que puede evaluar de forma indirecta y no destructiva el contenido de clorofila, para poder entender el valor nutricional de tus cultivos. Para efectuar el muestreo de lecturas de clorofila, en plantas de maíz, se recomienda hacerlo en estado de seis a ocho hojas; la hoja a muestrear debe presentar el collar completo con una línea blanca, la que corresponderá a una hoja madura y de buen color. Existen una relación lineal del contenido de clorofila y los niveles de nitrógeno en las hojas de maíz, donde se ha evidenciado un aumento simultáneo a medida que aumentaban las lecturas de clorofila y viceversa. El valor de la clorofila en la etapa V6 está relacionado con el estado de nitrógeno de la planta; se encuentra una baja correlación entre los valores de SPAD en la etapa V6 y el rendimiento del maíz, destacando su limitado potencial como herramienta de diagnóstico en esta etapa. Existen altas correlaciones entre las lecturas de SPAD en las etapas fenológicas R3-R4 y el rendimiento del maíz. Se evidencian valores de clorofila SPAD significativos en el tercio medio de las hojas 6 a 13 hojas; oscilando entre 50 y 54 unidades SPAD, mostrándose los valores más altos en las hojas 10 y 11.

Palabras claves: Medidor, clorofila, fenología, área foliar.

SUMMARY

Evaluations with SPAD chlorophyll meters can provide fast and reliable measurements as long as they provide a sufficient number of measurements relevant to each species, five measurements to one create a custom model; The choice of the phenological state of the plant and the sector in which the measurements are made is also important, mainly because the leaves and their phyllotaxy have great differences in chlorophyll content. In this bibliographic work, all the information collected was analyzed, synthesized and summarized with the sole objective of providing specific information on the SPAD index in corn cultivation. The SPAD 502 Chlorophyll Meter is an instrument that can indirectly and non-destructively evaluate the chlorophyll content, in order to understand the nutritional value of your crops. To carry out sampling of chlorophyll readings in corn plants, it is recommended to do so in a state of six to eight leaves; The leaf to be sampled must have a complete collar with a white line, which will correspond to a mature leaf with good color. There is a linear relationship between chlorophyll content and nitrogen levels in corn leaves, where a simultaneous increase has been evidenced as chlorophyll readings increased and vice versa. The chlorophyll value at the V6 stage is related to the nitrogen status of the plant; A low assessment is found between SPAD values in the V6 stage and corn yield, highlighting its limited potential as a diagnostic tool at this stage. There are high correlations between SPAD readings in phenological stages R3-R4 and corn yield. Significant SPAD chlorophyll values are evident in the middle third of leaves 6 to 13 leaves; ranging between 50 and 54 SPAD units, with the highest values shown on sheets 10 and 11.

Keywords: Meter, chlorophyll, phenology, leaf area.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
I. CONTEXUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL	4
2.1.1. Estados fenológicos del cultivo de maíz	4
2.1.1.1. Desarrollo vegetativo.....	4
2.1.1.2. Desarrollo reproductivo.....	5
2.1.2. Medidores de clorofila (SPAD)	6
2.1.2.1. Tipos de medidores de clorofila.....	7
2.1.2.2. Funcionamiento del medidor de clorofila (SPAD).....	8
2.1.2.3. Clorofila y contenido de nitrógeno en la hoja	8
2.1.2.4. Factores que afectan el valor SPAD.....	9
2.1.2.5. Cuando se debe realizar el muestro de clorofila	10
2.1.2.6. Cuando se debe realizar un muestro de clorofila	10
2.1.3. Relación del índice SPAD y el contenido de clorofila en maíz.....	11
2.1.4. Uso del medidor de clorofila SPAD en la fenología del cultivo de maíz y sus momentos críticos.....	13
2.2. MARCO METODOLÓGICO	19
2.2.1. MÉTODO.....	19
2.2.2. METODOLOGÍA	19
2.3. RESULTADOS	20

2.4. DISCUSION DE RESULTADOS	21
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
3.1. CONCLUSIONES	22
3.2. RECOMENDACIONES	23
4. RERERENCIAS Y ANEXOS	24
4.1. REFERENCIAS	24
4.2. ANEXOS.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Contenido de clorofila en fases fenológicas del cultivo de maíz...	12
Tabla 2. Niveles de clorofila SPAD con la aplicación de sulfato de magnesio en el cultivo de maíz. Baba 2023.....	12
Tabla 3. Cantidad de clorofila con índice SPAD con la aplicación de nitrógeno y magnesio en el cultivo de maíz. Pueblo Viejo, 2023....	13

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Estados fenológicos del cultivo de maíz.....	30
Figura 2. Clorofila en las hojas de maíz.....	30
Figura 3. Medidor de clorofila SPAD.....	31

I. CONTEXUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays*, es una especie perteneciente a la familia de las Poáceas, comúnmente llamadas gramíneas, y presenta un metabolismo C4, lo que significa que su sistema fotosintético le permite convertir radiación en biomasa con gran eficiencia (Conti 2022).

Actualmente, los análisis de intensidad del verde de las hojas es una técnica muy utilizada en la evaluación del contenido de nitrógeno en una planta por el hecho de existir correlación directa entre la intensidad del verde y el contenido de clorofila con la concentración de nitrógeno en la hoja, el cual participa en la constitución de la molécula de clorofila (Taiz y Zeiger 2004).

Dentro de los requerimientos primarios para que se dé el proceso de fotosíntesis en las plantas, está la absorción de la radiación por parte de los cloroplastos. Los receptores de esta radiación son precisamente las clorofilas, que tienen una absorción máxima en la luz roja y azul, y otros pigmentos como los carotenos y los xantofilos que absorben la luz azul y la radiación UV. Por lo tanto, la absorción de la radiación depende en gran medida de la concentración de estos pigmentos fotosintéticamente activos (Larcher 2003).

Los medidores de clorofila son instrumentos que miden la cantidad de relativa de clorofila en la hoja y generalmente presentan los resultados en valores SPAD (Soil Plant Analysis Development). Particularmente el modelo Minolta SPAD®-502 cuenta con dos Leds los cuales emiten luz en el haz de la hoja, uno rojo y uno infrarrojo con un pico de longitud de onda de 650 y 940 nm respectivamente (Konica 2009 y López 2002).

La cantidad de luz roja que se absorbe (650 nm) es función de la cantidad de clorofila, por lo tanto, mientras mayor sea la cantidad de luz roja absorbida por las hojas, mayor es el contenido de clorofila presente. Por otro lado, la cantidad de

luz en el infrarrojo cercano (940 nm) funciona como un factor de corrección de humedad y espesor de la hoja (Marek *et al.* 2009).

La presente investigación permitió conocer sobre el uso de medidor de clorofila (SPAD) como herramienta de diagnóstico de deficiencia de nitrógeno durante el ciclo de crecimiento de las plantas de maíz.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los países en desarrollo, los agricultores suelen utilizar el verdor de las hojas como un indicador subjetivo de las necesidades de N de los cereales, aunque la estimación visual del verdor de las hojas está influenciada por la variabilidad de la luz solar no puede cuantificarse con precisión. Para evaluar las necesidades de N en tiempo real y específicas del sitio de las plantas de cultivo, la estimación cuantitativa del estado de N de las hojas utilizando herramientas de diagnóstico adecuadas constituye un elemento esencial (Fageria *et al.* 2005).

Visualmente, es difícil determinar el estado nutricional de las plantas de maíz. Las hojas de las plantas de maíz pueden parecer verdes, incluso si tienen una deficiencia nutricional. El índice de SPAD proporciona una medida numérica de la coloración de las plantas de maíz, lo que hace que sea más fácil detectar problemas nutricionales. Al utilizar el índice de SPAD, los agricultores y los técnicos agrícolas pueden tomar decisiones informadas sobre la fertilización y otras prácticas de manejo, lo que puede ayudar a mejorar el rendimiento y la calidad del maíz.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El maíz es un alimento básico importante para los seres humanos y los animales. Sin embargo, la producción de maíz puede verse afectada por factores ambientales como la disponibilidad de agua y nutrientes. La clorofila es un pigmento verde que se encuentra en las plantas y es responsable de la fotosíntesis. La cantidad de clorofila en las plantas es un indicador de su salud y productividad.

Los medidores de clorofila pueden ayudar a los agricultores a identificar plantas que necesitan más nutrientes o que están estresadas. Esto puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la fertilización y el riego, lo que puede conducir a una mayor producción de maíz.

Los agricultores pueden utilizar el índice SPAD para identificar plantas que están creciendo o desarrollándose a un ritmo lento. Estas plantas pueden recibir un mayor nivel de atención y cuidado para mejorar su crecimiento y desarrollo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Establecer la influencia en la medición del índice SPAD en maíz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer los momentos críticos del uso del medidor de clorofila SPAD en la fenología del cultivo de maíz.
- Describir cómo se relacionan el índice SPAD y el contenido de clorofila en maíz.

1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología.

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea de investigación: Nutrición vegetal

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Estados fenológicos del cultivo de maíz

La fenología es la descripción de las etapas de vida de las plantas; es importante comprender y distinguir entre estas fases, ya que cada una representa una función metabólica, un requerimiento de agua, un contenido de nutrientes y un equilibrio diferentes (Martínez *et al.* 2018).

González *et al.* (2019) manifiesta que el desarrollo del cultivo de maíz consta de una serie de etapas, especificadas en una secuencia estricta e irreversible, correspondientes a la iniciación de nuevos órganos, que es un fenómeno puramente cualitativo; la secuencia de etapas desde la germinación de la semilla hasta la floración y la formación del fruto se denomina ciclo de desarrollo. Este ciclo consta de dos etapas claramente definidas: desarrollo vegetativo y desarrollo reproductivo. En el caso del maíz, las etapas vegetativa y reproductiva se distinguen de la siguiente manera:

2.1.1.1. Desarrollo vegetativo

- **VE: emergencia.** - Cuando la semilla ha completado la etapa de imbibición, aparece el germen y luego los cotiledones se alargan, exponiéndose los cotiledones a la superficie del suelo (Vite 2020).
- **V1: primera hoja.** - Aspecto de las primeras páginas tras la emergencia (Vite 2020).
- **V2: segunda hoja.** - Inmediatamente después de la aparición de la primera hoja, aparece la segunda hoja y forma el primer par de hojas verdaderas (Guzmán 2017).
- **V3: tercera hoja.** - Unos 8 días después de la germinación, la planta aparece con 2 hojas y 12 días después con 3 hojas. La punta del brote V3 permanece debajo de la superficie del suelo. En este punto, a la planta finalmente le empiezan a crecer todas las hojas y espigas. El granizo, el viento o las

heladas pueden dañar las hojas V3 expuestas, pero tendrán poco o ningún efecto sobre los puntos de crecimiento o el rendimiento final del grano (Guzmán 2017).

- **V(n): enésima hoja.** - Las plantas de maíz tienen un promedio de 14 hojas a los 56 días de emergencia, un promedio de 15 hojas a los 2 meses de emergencia y se encuentran de 10 a 12 días desde la etapa R1. Esta fase es el período más importante para determinar el rendimiento de grano al inicio de la etapa R1 (Villa y Ortega 2019).
- **VT: Panojamiento.** - La etapa VT comienza aproximadamente 2-3 días antes de la aparición de la barba, momento en el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza a liberar polen. El tiempo entre VT y R1 puede variar mucho según la especie y las condiciones ambientales (Villa y Ortega 2019).

2.1.1.2. Desarrollo reproductivo

- **R1: Barba.** - La etapa R1 comienza cuando algunos bigotes son visibles fuera de la vaina, aproximadamente 66 días después de la emergencia. La polinización se produce cuando los granos de polen se depositan en la barba. Por lo general, todos los lóbulos de las orejas quedan expuestos y polinizados después de 2 a 3 días. Los efectos del estrés hídrico desde 2 semanas antes de R1 hasta 2 semanas después de R1 causarán una reducción significativa en el rendimiento de grano. Lo mismo ocurre con otros tipos de estrés, como las deficiencias nutricionales, el calor o el granizo. Las cuatro semanas previas y posteriores a la floración son los momentos más importantes para el riego (Yáñez *et al.* 2023).
- **R2: Ampolla.** - Unos 10-14 días después de la aparición de la barba, la mazorca casi ha alcanzado o alcanzado su tamaño completo. Una vez que la barba ha terminado su función de floración, se oscurece y comienza a secarse. La humedad del grano es aprox. 85 %, y su porcentaje se reduce gradualmente a la cosecha (Yáñez *et al.* 2023).

- **R3: Lechoso:** 18-22 días después de la emergencia de las barbas, el grano es de color amarillo y fluido interno blanco lechoso, debido a la acumulación de almidón, los granos son amarillos y el fluido interno es blanco lechoso. La materia seca del grano se acumula rápidamente y contiene aproximadamente un 80% de humedad. El rendimiento final depende del número de granos formados y del tamaño o peso final de los granos. Aunque no es tan grave como R1, una falla de R3 puede tener un impacto significativo en el rendimiento al degradar ambos componentes de rendimiento (Martínez *et al.* 2018).
- **R4: Pastoso.** -La acumulación continua de almidón en el endospermo hace que el líquido interno adquiera una consistencia pastosa. (Martínez *et al.* 2018).
- **R5: Dentado.** - El grano se seca por la parte superior, donde aparece una capa de almidón duro. Las condiciones desfavorables en esta etapa reducirán el rendimiento al reducir el peso de los granos en lugar de su número. Las heladas intensas pueden interrumpir la acumulación de materia seca y provocar la formación prematura de manchas negras. También puede provocar menores rendimientos, retrasando las operaciones de cosecha porque el grano se seca más lentamente en el maíz dañado por las heladas (Conti 2022).
- **R6: Madurez fisiológica.** - La etapa R6 se define como cuando todos los granos en la mazorca han alcanzado la máxima masa seca o máxima acumulación de materia seca, y se forman absorbentes marrones o negros en la zona donde los granos se adhieren al matraz. Este abandono es un buen indicador de la acumulación máxima de materia seca y marca el final del crecimiento del grano. La humedad promedio del grano en R6 es del 30-35 %, pero puede variar según la variedad y las condiciones ambientales (Novoa 2018).

2.1.2. Medidores de clorofila (SPAD)

El contenido de clorofila en las hojas está estrechamente relacionado con la concentración de nitrógeno, ya que se requiere nitrógeno para la síntesis de

clorofila; esto determina qué tan verdes son las hojas y qué tan eficientemente realizan la fotosíntesis; por tanto, las plantas bien alimentadas con nitrógeno tendrán hojas más verdes que las plantas mal fertilizadas; de hecho, la deficiencia de nitrógeno se manifiesta inicialmente por un color amarillento de las hojas más viejas (hojas basales), y este síntoma puede ser grave; utilizando esta base fisiológica, se puede concluir que midiendo el contenido de clorofila se puede estimar el contenido de nitrógeno de la planta y así entender el valor nutricional del cultivo; este hecho nos permitirá mejorar este estado nutricional en caso de deficiencias de nutrientes (Villa y Ortega 2019).

Una herramienta alternativa para determinar el valor nutricional del nitrógeno de los cultivos es el uso de un medidor de clorofila, que produce lecturas correspondientes al contenido relativo de clorofila de las hojas; los medidores de clorofila pueden estimar indirectamente el valor nutricional del nitrógeno de los cultivos; los más utilizados son el N-Tester® (Yara) y el SPAD-502® (Minolta), los cuales funcionan de la misma manera, toman lecturas instantáneas y no destructivas de las hojas de los cultivos para medir el contenido de clorofila a lo largo del tiempo y evaluar el estado del nitrógeno de las plantas.; si existe alguna duda sobre los valores obtenidos, se pueden tomar muestras tantas veces como sea necesario (Azia y Stewart 2018).

2.1.2.1. Tipos de medidores de clorofila

Villa y Ortega (2019) expresan que existen diversos tipos de medidores de clorofila tales como:

- Medidor de clorofila TYS-A J&G SCIENTIFIC
- Medidor de clorofila SPAD-502Plus - Aquateknica
- Medidor de Clorofila MC-110 APOGEE
- Medidor de clorofila CM 1000 (2950)
- Medidor Portátil de Clorofila LH-T615
- Medidor de clorofila. Modelo ECO-TYS

- Medidor de clorofila Apogee MC-100
- Medidor de Clorofila con Data Logger & RS-232 MINOLTA
- Medidor de clorofila Yara N-Tester

2.1.2.2. Funcionamiento del medidor de clorofila (SPAD)

Un medidor de clorofila es una herramienta de diagnóstico portátil que evalúa instantáneamente la cantidad relativa de este compuesto en las hojas sin dañar el tejido; este valor se calcula a partir de la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda donde la absorción (inversamente proporcional a la reflectancia) es diferente (Guo y Col 2018).

La máxima absorción correspondiente a la mínima reflectancia es en la región azul y roja, la región verde (mayor reflectancia) tiene muy poca absorción y es casi nula en la región infrarroja donde la reflectancia es máxima; por lo tanto, para las mediciones se utilizan longitudes de onda correspondientes a los rayos rojos (alta absorción y no afectados por el caroteno) e infrarrojos (Gordon 2018).

La luz emitida por el dispositivo (LED, diodo emisor de luz) corresponde a luz roja (longitud de onda de 650 nm) y luz infrarroja (longitud de onda de 940 nm); a través de la lámina ingresa al receptor SPD (fotodiodo de silicio), que convierte la luz transmitida en una señal eléctrica; la señal se envía a un amplificador y desde allí se convierte en una señal digital que utiliza un microprocesador para calcular un valor llamado SPAD, que corresponde al contenido relativo de clorofila; este valor se transmite a través de la pantalla del instrumento; puede almacenar hasta 30 lecturas, pero se puede conectar a un registrador de datos para aumentar la capacidad de memoria a 4000 mediciones (Hawkins y Gardiner 2019).

2.1.2.3. Clorofila y contenido de nitrógeno en la hoja

Existe una correlación directa entre las lecturas del SPAD y el contenido de nitrógeno de la planta, ya que este último es necesario para la síntesis de clorofila y, por tanto, determina el color verde de las hojas y la eficiencia de los procesos

fotosintéticos que se llevan a cabo en ellas; las plantas fertilizadas con suficiente nitrógeno tienen hojas más verdes que las plantas fertilizadas con suficiente nitrógeno; de hecho, la deficiencia de nitrógeno se manifiesta inicialmente por un color amarillento de las hojas más viejas (hojas basales) y los síntomas se vuelven graves cuando se generaliza; utilizando esta base fisiológica, se puede concluir que midiendo el contenido de clorofila, se puede estimar el contenido de nitrógeno de una planta, comprendiendo así el valor nutricional de los cultivos y decidiendo si se debe aplicar fertilización con nitrógeno (Lan y Col 2018).

En un estudio con plantas de maíz, además de analizar muestras de hojas para nitrógeno total, se determinaron tratamientos con diferentes niveles de nitrógeno y se midió el contenido de clorofila en diferentes estados nutricionales para determinar la correlación entre las dos variables; se descubrió que, en la octava etapa de hoja desplegada, cuando generalmente se aplica la segunda dosis de nitrógeno, la relación era lineal y se observó que los niveles de nitrógeno aumentaban a medida que aumentaban las lecturas de clorofila y viceversa; esta relación se puede utilizar para recomendar dosis de N apropiadas para la segunda aplicación (Padilla y Col 2018).

2.1.2.4. Factores que afectan el valor SPAD

Roslan y Col (2019) manifiestan que las lecturas de los medidores pueden variar debido a los siguientes factores:

- **Factores genéticos:** Las variedades o cruces pueden tener diferentes tonos de verde (más oscuro o más claro) dependiendo de su definición genética, lo que puede afectar los resultados de las mediciones.
- **Estado de crecimiento:** Las plantas aparecen en diferentes tonos de verde a lo largo de su crecimiento, por lo que no importa si mides en un estado u otro. Factores estresantes: como la falta de agua, enfermedades, deficiencias nutricionales, etc. afectarán a los valores obtenidos.
- **Factores ambientales:** temperatura, humedad, luz, tipo de suelo, etc. afectan el color verde de las hojas.

Los mismos autores expresan que los medidores de clorofila deben calibrarse para las especies y cultivares para los que están destinados y para condiciones ambientales similares a las que encuentren los productores.

2.1.2.5. Cuando se debe realizar el muestro de clorofila

Para efectuar el muestreo de lecturas de clorofila, en plantas de maíz, se recomienda hacerlo en estado de seis a ocho hojas; la hoja a muestrear debe presentar el collar completo con una línea blanca, la que corresponderá a una hoja madura y de buen color; no se recomienda realizar las mediciones en estados más inmaduros porque las plantas son pequeñas y todavía pueden presentar respuesta a la fertilización inicial (Uddling y Col 2017).

En estados más avanzados en maíz (más de seis a ocho hojas), el medidor de clorofila no es utilizado porque resultan en recomendaciones de fertilización mayores, ya que se produce una subestimación de los valores de N; además, desde el punto de vista práctico, la última aplicación de N en maíz se hace al estado de octava hoja. La zona de la hoja en que se debe tomar la lectura es la mitad en sentido longitudinal y transversal; esto es la mitad desde de la punta de la hoja al collar y, transversalmente, la mitad entre el margen de la hoja y la nervadura central (Huesa 2018).

En un ensayo de maíz, se efectuaron mediciones en estado de octava hoja expandida, emisión de panoja, floración y finalmente en cosecha. La mayor correlación entre nitrógeno y clorofila se determinó al estado de cosecha, pero en la práctica, ese valor no es útil, pues ya es tarde para hacer recomendaciones de fertilización; en cambio, en estado de octava hoja expandida todavía es temprano en la temporada para corregir deficiencias nutricionales, por lo que conociendo el contenido de nitrógeno foliar y utilizando distintas aproximaciones, que se verán más adelante, se puede ajustar la dosis de fertilización nitrogenada (Hoel 2019).

2.1.2.6. Cuando se debe realizar un muestro de clorofila

Es importante crear un mapa de lecturas de clorofila, donde el medidor de clorofila debe estar conectado a un sistema de posicionamiento global (GPS) para que cada lectura tenga una coordenada geográfica asociada; luego se utiliza un programa de sistema de información geográfica (SIG) para crear mapas y determinar la variabilidad de las lecturas de clorofila dentro del área de producción, reflejando la variabilidad del nitrógeno en el cultivo; de esta manera se pueden identificar sectores subfertilizados y potencialmente sobrefertilizados (Varvel *et al.* 2018).

La dependencia espacial del maíz en grano se determina a 20 m, lo que sugiere que cada 25 muestras por hectárea que requieren mapeo; promediar las lecturas de clorofila: si este es el objetivo, no es necesario conectar el medidor de clorofila al GPS; para garantizar la independencia de los datos, el intervalo de muestreo debe ser superior a 20 m (Allen *et al.* 2018).

2.1.3. Relación del índice SPAD y el contenido de clorofila en maíz

El contenido de clorofila, el área foliar y la absorción de radiación aumentan a medida que las hojas maduran fotosintéticamente; este sensor de clorofila SPAD se ha probado en cultivos de maíz, donde se ha demostrado una correlación entre la intensidad verde y la aplicación de fertilizantes aplicados en estados vegetativos. En principio, esto se explica porque, al ser constante el índice de rendimiento del maíz, el principal componente del rendimiento es el número de granos y su peso, por lo que, en condiciones adecuadas, mayor biomasa aérea se traduce en mayor rendimiento (Callejas *et al.* 2013).

En otros modelos de producción, donde se deben determinar las dosis de nitrógeno aplicadas al maíz en diferentes estados fenológicos, otros estudios han correlacionado los valores de SPAD obtenidos en etapas posteriores de la fenología con el rendimiento del cultivo, encontrando que las respuestas no son estables durante las primeras etapas vegetativas (Chang y Robinson 2018).

En la etapa fenológica de R3 88 dds, el llenado de grano ocurre en esta etapa, lo cual concuerda con estudios previos que mencionaron que, en las etapas

tempranas, principalmente vegetativas, el índice de verdor puede subestimarse utilizando SPAD, lo que significa que su valor es menor que en el último período reproductivo, por lo que la adición de nitrógeno puede ser innecesaria (Novoa y Villagrán 2019).

Tabla 1. Contenido de clorofila en fases fenológicas del cultivo de maíz.

Etapas fenológicas	V(10) - 52 dds	V(12) - 56 dds	R2 - 73 dss	R3 - 80 dds	R3 - 88 dds	R4 - 94 dds	R6 - 121 dds
Clorofila (Unidades SPAD)	52,63	52,27	54,07	55,13	55,89	54,60	50,60
	53,43	56,21	55,80	58,27	57,17	57,43	51,83
	53,80	54	53,37	56,87	56	56,50	52,17
	56,53	57,96	58,43	59,90	58,53	61	53,50

Fuente: Novoa y Villagrán (2019).

Tabla 2. Niveles de clorofila SPAD con la aplicación de sulfato de magnesio en cultivo de maíz. Baba 2023.

Tratamientos	Dosis kg/ha	30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
Testigo	0	9,34 a	6,53 a	7,12 a	7,24 a
Sulfato de magnesio	10	8,86 a	6,72 a	5,70 a	6,87 a
Sulfato de magnesio	20	8,88 a	6,55 a	6,36 a	7,34 a
Sulfato de magnesio	30	10,19 a	6,90 a	7,58 a	8,64 a
Sulfato de magnesio	40	10,83 a	6,48 a	6,84 a	7,98 a
Promedio general		9,62	6,64	6,72	7,61
Significancia estadística		ns	ns	ns	ns
Coeficiente de variación (%)		21,92	11,42	10,91	12,46

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según prueba de Tukey

Ns: no significancia.

dds: días después de la siembra

Fuente: Ramos (2023)

Tabla 3. Cantidad de clorofila con índice SPAD con la aplicación de nitrógeno y magnesio en el cultivo de maíz. Puebloviejo, 2023.

Tratamiento	Nitrógeno	Magnesio	Índice de SPAD			
			30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
T1	0	0	4,44 b	6,13 b	5,16 b	4,93 a

T2	109	83	6,16 a	7,83 a	6,06 a	6,91 a
T3	94	66	5,24 bc	5,92 b	5,90ab	5,25 a
T4	78	50	5,16 bc	5,83 b	5,89ab	5,52 a
T5	63	33	5,57 a	5,77 b	5,91ab	4,96 a
T6	47	17	4,92 bc	5,45 b	5,66ab	4,77 a
Promedio			5,24	6,16	5,75	5,42
Significancia estadística			**	**	**	Ns
Coeficiente de variación			7,20	9,20	6,33	18,41

Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales según Tukey 5% (P > 0,05)

** : Altamente significativa

Ns: No significativa

Dds: días después de la siembra

Fuente: Peña (2023).

2.1.4. Uso del medidor de clorofila SPAD en la fenología del cultivo de maíz y sus momentos críticos.

El alto requerimiento de nitrógeno para el cultivo del maíz y el efecto de este nutriente en el rendimiento hacen necesario diagnosticar correctamente su disponibilidad en el suelo; si otros factores no limitan el crecimiento del cultivo, la falta de nitrógeno durante el período crítico de rendimiento (15 días antes de la floración a 15 días después de la floración) reduce la tasa de crecimiento y afecta la cantidad de granos por unidad de área. Por lo tanto, es necesario diagnosticar el uso de fertilizantes nitrogenados en cultivos desde la etapa de seis hojas (V6) (aproximadamente 15 días antes del inicio del período crítico) hasta etapas reproductivas avanzadas como la etapa de grano de leche (R3) (15 a 20 días después de la floración) (Ocon 2018).

El medidor de clorofila SPAD es una herramienta que puede evaluar el valor nutricional del cultivo de maíz y así determinar la necesidad de insumos tardíos adecuados, que pueden corregir la deficiencia de nitrógeno del cultivo y mejorar el rendimiento y aumentar el contenido de proteína del grano; si el valor nutricional es suficiente, se evitarán los fertilizantes nitrogenados innecesarios (Richardson *et al.* 2019).

Con la deficiencia de nitrógeno, las lecturas del medidor de clorofila pueden verse afectadas por diferencias genéticas, condiciones de crecimiento de los cultivos, factores de estrés (estrés hídrico), enfermedades y factores ambientales

(temperatura, humedad, luz, tipo de suelo, etc.); para evitar los factores de variabilidad mencionados anteriormente, se utilizan valores relativos que relacionan los valores del lector con los obtenidos en la superficie sin deficiencia de N; esto soluciona el mayor inconveniente del dispositivo, que de otro modo tendría que calibrarse para cada especie y variedad (Rincón y Ligarreto 2010).

El medidor de Clorofila SPAD 502 es un instrumento que le permite evaluar de forma indirecta y no destructiva el contenido de clorofila de las hojas y por tanto el valor nutricional de sus cultivos mediante lecturas sencillas; el valor de la clorofila en la etapa V6 está relacionado con el estado de nitrógeno de la planta; se encontró una baja correlación entre los valores de SPAD en la etapa V6 y el rendimiento del maíz, destacando su limitado potencial como herramienta de diagnóstico en esta etapa y de mejora en etapas fenológicas posteriores; también existe una alta correlación entre las lecturas de SPAD en la etapa R3-R4 y el rendimiento del maíz (Rodríguez *et al.* 2018).

Las diferentes temperaturas medias del aire observadas antes de la fase V6 (el primer día de diciembre en ambos años) pueden ser responsables de las diferentes correlaciones entre los valores de lectura SPAD observados en las dos campañas y el RR en V6; luego de esta etapa, la temperatura promedio aumenta y entra en el rango óptimo para la síntesis de clorofila, cuya concentración dependerá más de la disponibilidad de nitrógeno; por lo tanto, pequeños cambios en la temperatura media al comienzo de la temporada de crecimiento pueden afectar la concentración de clorofila de las hojas y, por lo tanto, las lecturas de SPAD independientemente de la disponibilidad de nitrógeno (Castañeda *et al.* 2020).

El Medidor de Clorofila SPAD 502 es un instrumento que puede evaluar de forma indirecta y no destructiva el contenido de clorofila, para que puedas entender el valor nutricional de tus cultivos simplemente leyendo las hojas; el valor de la clorofila en la etapa V6 está relacionado con el estado de nitrógeno de la planta; se encuentra una baja correlación entre los valores de SPAD en la etapa V6 y el rendimiento del maíz, destacando su limitado potencial como herramienta de diagnóstico en esta etapa y de mejora en etapas fenológicas posteriores; también

se han informado altas correlaciones entre las lecturas de SPAD en la etapa R3-R4 y el rendimiento del maíz (Sainz y Echeverria 2018).

Además de la disponibilidad de N, otros factores ambientales pueden afectar el contenido de clorofila en las hojas de maíz; a medida que la temperatura aumenta de 16 a 23 °C, se registra un rápido aumento en la concentración de clorofila en las hojas de maíz; factores ambientales como la temperatura promedio afectan la síntesis de clorofila y existe una relación parabólica entre la temperatura promedio y la concentración de clorofila en las hojas de maíz; a medida que la temperatura aumenta entre 15 y 20°C, la concentración de clorofila aumenta rápidamente, y por encima de 20°C la tasa de aumento de la concentración de clorofila disminuye rápidamente al aumentar la temperatura (Sainz y Echeverria 2017).

Los mayores valores medios relativos de clorofila (56 unidades SPAD) se observaron a los 80 días después de la siembra (dds) en el tratamiento con fertilizante aplicado sólo a la siembra (RFS) y en el tratamiento con fertilizante en las etapas de siembra, vegetativo y llenado de grano (RFVLL). En otros tratamientos; fertilizante en siembra y llenado de grano (RFLL) y fertilización nitrogenada en siembra y fase vegetativa (RFV), se determinaron valores a los 88 y 94 dds, respectivamente, en todos los tratamientos, este valor máximo se encontró en la etapa reproductiva y luego disminuyó hasta la madurez fisiológica, probablemente porque se requieren fotoasimilados para endurecer y llenar el grano, y las hojas son un sitio de respaldo como fuente de fotoasimilados (Sims *et al.* 2018).

El índice de verdor y la clorofila total tienen sólo dos aspectos de correlación con el rendimiento; positivos y negativos, en el primer caso con tratamiento RFLL de V12 a R3 y negativos con RFS de R2 a R6. No hubo diferencias significativas en el índice de verdor, diferentes concentraciones de clorofila y rendimiento entre todos los tratamientos a lo largo del ciclo del maíz. Esto sugiere que el índice de verdor obtenido con SPAD es un indicador indicativo de la suficiencia de nitrógeno del cultivo o, por el contrario, de su deficiencia de nitrógeno, pero al final no será un indicador para predecir su rendimiento (Cunha *et al.* 2015).

Los mismos autores mencionan que para determinar la distribución de clorofila de las plantas de maíz y tener en cuenta las hojas en futuras evaluaciones, se midieron todas las hojas de la planta utilizando un medidor de clorofila, que indica entre 6 y 13 hojas. El tercio medio de la composición fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$). Los valores oscilan entre 50 y 54 unidades SPAD, y los valores más altos se muestran en las páginas 10 y 11.

En un ensayo de maíz se determinó que el valor de clorofila en estas hojas debe ser superior a 50 unidades SPAD para un buen rendimiento de maíz; además el valor de corte de 35,3 unidades SPAD para el maíz, correspondiente al 1,83% del nitrógeno presente en la planta (Llagas 2023).

Los valores más bajos de clorofila (30 a 48 unidades SPAD) se encuentran en el tercio inferior y superior de la planta; el tercio inferior corresponde a las hojas inferiores (incluida la quinta hoja) en proceso de senescencia, y el tercio superior corresponde a las hojas 14 a 17, que se encuentran en proceso de formación. El nitrógeno es uno de los elementos de mayor movilidad en las plantas y favorece la formación de mazorcas, pues este nutriente tiene buena disponibilidad en las hojas 7 a 9, que es el sitio de desarrollo de mazorcas, con valores mayores a 50 unidades SPAD (Rincón y Ligarreto 2018).

Es importante resaltar que en el tercio medio de las hojas de las plantas de maíz se puede evaluar utilizando el medidor de clorofila SPAD 502. En estas hojas que crecen y se desarrollan, sólo una pequeña fracción de los productos de la fotosíntesis permanece en el lugar de producción y la mayoría se transfiere a otras partes de la planta. Durante el crecimiento de las plantas, el coeficiente de distribución de la materia seca entre los diferentes órganos cambia continuamente; las exportaciones de productos asimilados se dirigen principalmente a los centros de crecimiento activo y luego a las mazorcas de maíz (Ferreira *et al.* 2016).

En un ensayo de maíz se tomaron medidas en la base, mitad y parte superior de cada hoja para determinar la concentración de clorofila de toda la hoja de maíz. Se encontró que el contenido de clorofila fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en el tercio inferior o base de las hojas con valores que oscilaron entre 49.7 y 55

unidades SPAD desde la hoja 6 a la hoja 13. Mientras tanto, en el tercio medio de las hojas, el contenido de clorofila fue mayor entre las hojas 4 y 13, oscilando entre 49 y 54,4 unidades SPAD. (Gianquinto *et al.* 2018).

El mismo autor menciona que en el tercio superior o extremos de las hojas, los mejores resultados se encuentran entre las hojas 7 y 14 con 48,6 a 53,6 unidades SPAD. Por lo tanto, se encontraron concentraciones de clorofila superiores a 50 unidades SPAD en tres tercios de las hojas simultáneamente en las hojas 7 a 13 con un valor promedio de 52.5; la parte inferior, media y superior tenían 53,1 y 52 unidades SPAD, respectivamente.

La determinación del contenido de N-NO₃ en el suelo en la etapa V6 y en la base de los tallos de las plantas de maíz es un método adecuado para diagnosticar la necesidad de fertilización con nitrógeno; sin embargo, una desventaja común de tales métodos es el esfuerzo requerido para la adquisición, el procesamiento y el tiempo requerido para el análisis de la muestra; el contenido de clorofila en las hojas de maíz está estrechamente relacionado con la concentración de nitrógeno en las hojas y, por tanto, refleja el estado del nitrógeno del cultivo (Sexton y Carroll 2020).

Las lecturas de SPAD deben ser del 95 al 96 % de la variación máxima del rendimiento durante el ciclo del cultivo; estos valores son 49 y 51,5 unidades SPAD en DDE 32, 50 y 56, DDE 59; y 60 y 61 para DDE 73, 81 y 91 respectivamente. Se encontró que los valores necesarios para alcanzar el 95% del rendimiento máximo eran mayores para V6 (49 y 46,5 en los años 1 y 2, respectivamente) que el valor de 43,4 (Volpi 2022).

2.1.4.1. Mediciones de SPAD en nitrógeno en las fases fenológicas del maíz

Los niveles adecuados de nitrógeno pueden dar lugar a bajos rendimientos si se producen plagas, enfermedades o escasez de agua. Además, puede ocurrir que el contenido de nitrógeno sea bueno en la fase de 6 hojas e insuficiente antes de la floración. Esto significa que se deben tomar medidas periódicamente hasta que comience la floración. Una mayor fertilización con nitrógeno no aumentará el

rendimiento, solo aumentará la cantidad de nitrógeno en el grano. En esta prueba se puede obtener en el mismo papel un rango de valores N adecuados para calibración y mediciones SPAD. Creemos que se necesita más investigación sobre este dispositivo para mejorar los resultados y aplicarlos a otras culturas (Reyes et al. 2017).

El mismo autor menciona que en el segundo período, la relación entre el valor SPAD y el porcentaje N sigue siendo buena, pero no tan estrecha como en el primer período; el coeficiente de correlación es 0,9 y el coeficiente de determinación es 0,81. Se utilizó el mismo sistema anterior para determinar el valor crítico en este momento, y se encontró que una lectura SPAD de menos de 56 (correspondiente a 2,3% N) sería crítica; sin embargo, en esta etapa del desarrollo de la planta, ya no es posible aumentar el rendimiento utilizando nitrógeno.

2.1.4.2. Mediciones de SPAD en Magnesio en las fases fenológicas del maíz

En el resultado de la aplicación de sulfato de magnesio se evidencio mejoras en el funcionamiento fisiológico y morfológicas de la plantación, el cultivo presento un desarrollo favorable en aumentando el crecimiento en las plantas. Por lo que se denota en la dosis de mayor concentración de 40 kg/ha. Donde a los 30 días después de la siembra el tratamiento sulfato de magnesio 40 kg/ha con 10,83 tuvo la mayor concentración según SPAD, siendo estadísticamente igual a todos los tratamientos. El menor promedio se encontró 32 en sulfato de magnesio 10 kg/ha con 8,86, con un coeficiente de variación de 21,92% (Ramos 2023).

2.1.4.3. Mediciones de SPAD en Hierro en las fases fenológicas del maíz

Concentraciones como 80, 100 y 150 % de Fe siempre tendrían valores SPAD superiores a 36,66; incluso, la concentración de 200 % registraría valores superiores a 44,19. Esta opción representa una alternativa sencilla para la discriminación entre diferentes clases de deficiencias debido aa las condicionantes que presenta para descartar una u otra opción, por lo que su aplicación en campo sería relativamente sencilla una vez que el método pudiera ser calibrado y mejorado.(García-Cruz et al. 2017)

2.2. MARCO METODOLÓGICO

2.2.1. MÉTODO

Este documento presentara una revisión de la literatura científica sobre el índice SPAD en el cultivo de maíz. La revisión se llevó a cabo mediante la recopilación de información de distintas fuentes, incluyendo páginas web de libre acceso, artículos científicos, tesis de grado y otras documentaciones bibliográficas disponibles en plataformas digitales.

Para concluir, cabe destacar que toda la información recopilada fue analizada, sintetizada y resumida con el único objetivo de proporcionar información específica sobre el índice de SPAD en el cultivo de maíz. Este documento proporciona fundamentos generales para el conocimiento académico y social de los lectores.

2.2.2. METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó una metodología de investigación exploratoria y explicativa. La investigación exploratoria se basó en la recopilación de información de fuentes secundarias que se utilizó para obtener una comprensión general del tema de estudio, y la investigación explicativa analiza la relación entre las variables de estudio.

2.3. RESULTADOS

El medidor de clorofila es una herramienta con gran potencial para lograr una mayor productividad y una mejor conservación de los recursos naturales; aplicar sólo la cantidad de nitrógeno que necesita el cultivo en el momento adecuado puede reducir la pérdida de este elemento en el sistema suelo-planta, con lo que se produce la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y la acidificación del suelo, mejorando la eficiencia en el uso del nitrógeno y aumentando así la producción del cultivo de maíz.

Cuanto mayor sea el tiempo de lectura, mejor será el rendimiento del medidor de clorofila; en etapas fenológicas posteriores, los valores del medidor de clorofila se correlacionan mejor con el rendimiento y el contenido de proteína del grano, pero se ha identificado que las etapas fenológicas más tardías responden a la fertilización con nitrógeno.

Las evaluaciones con medidores de clorofila SPAD pueden proporcionar mediciones rápidas y confiables siempre que proporcionen una cantidad suficiente de mediciones relevantes para cada especie, cinco mediciones por una crean un modelo personalizado; también es importante la elección del estado fenológico de la planta y del sector en el que se realizan las mediciones, principalmente porque las hojas y su filotaxia tienen grandes diferencias en el contenido de clorofila.

El contenido de clorofila, el área foliar y la absorción de radiación aumentan a medida que las hojas maduran fotosintéticamente; este sensor de clorofila SPAD se ha probado en cultivos de maíz, donde se ha demostrado una correlación entre la intensidad verde y la aplicación de fertilizantes aplicados en estados vegetativos. En principio, esto se explica porque, al ser constante el índice de rendimiento del maíz, el principal componente del rendimiento es el número de granos y su peso, por lo que, en condiciones adecuadas, mayor biomasa aérea se traduce en mayor rendimiento.

2.4. DISCUSION DE RESULTADOS

Existe una correlación directa entre las lecturas del SPAD y el contenido de nitrógeno de la planta, ya que este último es necesario para la síntesis de clorofila y, por tanto, determina el color verde de las hojas y la eficiencia de los procesos fotosintéticos que se llevan a cabo en ellas; las plantas fertilizadas con suficiente nitrógeno tienen hojas más verdes que las plantas fertilizadas con suficiente nitrógeno; de hecho, la deficiencia de nitrógeno se manifiesta inicialmente por un color amarillento de las hojas más viejas (hojas basales) y los síntomas se vuelven graves cuando se generaliza; utilizando esta base fisiológica Sainz y Echeverría (2017) mencionan que midiendo el contenido de clorofila, se puede estimar el contenido de nitrógeno de una planta, comprendiendo así el valor nutricional del cultivo de maíz y determinando si se debe aplicar fertilización con nitrógeno.

Además Reyes *et al.* 2017 mencionan que el contenido de clorofila, el área foliar y la absorción de radiación aumentan a medida que las hojas maduran fotosintéticamente; teniendo de cuenta que el sensor de clorofila SPAD se ha probado en cultivos de maíz, donde se ha demostrado una correlación entre la intensidad verde y la aplicación de fertilizantes aplicados en estados vegetativos; considerando que el principal componente del rendimiento es el número de granos y su peso, por lo que, en condiciones adecuadas, mayor biomasa se traduce en mayor rendimiento.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Mediante la información analizada se determinó las siguientes conclusiones:

- El Medidor de Clorofila SPAD 502 es un instrumento que puede evaluar de forma indirecta y no destructiva el contenido de clorofila, para poder entender el valor nutricional de tus cultivos.
- Existen una relación era lineal del contenido de clorofila y los niveles de nitrógeno en las hojas de maíz, donde se ha evidenciado un aumento simultaneo a medida que aumentaban las lecturas de clorofila y viceversa.
- Se evidencian valores de clorofila SPAD significativos en el tercio medio de las hojas 6 a 13 hojas; oscilando entre 50 y 54 unidades SPAD, mostrándose los valores más altos en las hojas 10 y 11.
- El valor de la clorofila en la etapa V6 está relacionado con el estado de nitrógeno de la planta; se encuentra una baja correlación entre los valores de SPAD en la etapa V6 y el rendimiento del maíz, destacando su limitado potencial como herramienta de diagnóstico en esta etapa.
- Existen altas correlaciones entre las lecturas de SPAD en las etapas fenológicas R3-R4 y el rendimiento del maíz.
- Para efectuar el muestreo de lecturas de clorofila, en plantas de maíz, se recomienda hacerlo en estado de seis a ocho hojas; la hoja a muestrear debe presentar el collar completo con una línea blanca, la que corresponderá a una hoja madura y de buen color.

3.2. RECOMENDACIONES

Por lo anteriormente detallado se recomienda lo siguiente:

- Realizar de forma progresiva mediciones de clorofila en los diferentes estados fenológicos del cultivo de maíz, para evidenciar el estado nutricional de las plantas.
- Establecer programas nutricionales en base a los valores de nitrógeno en la planta.
- Ejecutar investigaciones sobre la correlación existente entre la clorofila y el contenido de nitrógeno en las plantas de maíz.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS

Azia, F., Stewart, K. 2018. Relaciones entre clorofila extraíble y valores de SPAD en hojas de melón». En: Revista de Nutrición Vegetal 24(6): 961-966.

Allen, F., Center, T., Mattison, E. 2018. Estimaciones in situ del nitrógeno del tejido foliar del jacinto de agua utilizando un medidor de clorofila SPAD-502. Agua. Bot 100: 72-75.

Callejas, R., Kania, A., Contreras, C., Peppi, L., Morales, L. 2013. Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. Idesia 31(5): 19-26.

Chang, S., Robinson, D. 2018. Estimación rápida y no destructiva del estado del nitrógeno foliar de madera dura utilizando el medidor de clorofila SPAD-502. Ecología forestal. Administrador 181(3): 331-338.

Conti, MA. 2022. Efecto de la densidad de plantas sobre la calidad de los granos en híbridos prolíficos de maíz (zea mays) (en línea). s.l., Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/285/TFG-Mar%C3%ADa%20Antonella%20Conti%20Ing.%20Agron%C3%B3mica.pdf?sequence=2>.

Castañeda, S., Almanza, P., Pinzón, P., Cely, G., Serrano, S. 2020. Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (Vitis vinifera L.) cv. Riesling Becker. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 12(2): 329-337

Cunha, A., Ribeiro da, K., leoschua, S., Martinez, R. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. Idesia (Arica) 33(2): 97-105.

Fageria, NK; Baligar, VC. Mejora de la eficiencia en el uso del nitrógeno en plantas de cultivo. Adv. Agrón. 2005, 88, 97–185.

Ferreira, M., Ferreira, G., Fontes, P., Dantas, J. 2016. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres* 53(305): 83-92.

García-Cruz, E; Sandoval-Villa, M; Carrillo-Salazar, JA; Pérez-Rodríguez, P; Etchevers-Barra, JD; Macedo-Cruz, A. 2017. Modelos de predicción y clasificación de deficiencias de hierro en hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con redes neuronales bayesianas regularizadas y árboles de clasificación (en línea). (Vol. 40 Núm. 1 (2017)). Disponible en <https://revfitotecnica.mx/index.php/RFM/article/view/135/116>.

Gianquinto, G., Sambo, P., Bona, S. 2018. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological Approach. *Acta Horticulturae* 32(607): 197-204.

Guzmán, D. 2017. Etapas fenológicas del maíz (*Zea mays* L.) Var. Tusilla bajo las condiciones climáticas del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo. Tesis Ingeniero Agrónomo, Quito, Universidad Técnica de Ambato. 68 p.

González, A., Figueroa, U., Delgado, J., Núñez, G., Cueto, J., Preciado, P., Palomo, A. 2019. Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 27(4): 303-309.

Guo, T., Col, H. 2018. Estimación del contenido de clorofila de las hojas del tabaco en función de varios parámetros hiperespectrales del dosel". En: *Revista de Inteligencia Ambiental y Computación Humanizada* 10: 3239-3247.

Gordon, R. 2018. Uso del clorofilómetro SPAD 502 en el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Instituto de Investigación agropecuaria de Panamá. Azuero, Panamá. 54 p.

Hawkins, T., Gardiner, G. 2019. Modelado de la relación entre la clorofila extraíble y las lecturas de SPAD-502 para la investigación de especies de plantas en peligro de extinción. *Revista para la Conservación de la Naturaleza* 17(2): 123-127

- Huesa, A. 2018. Efecto de la variedad vegetal sobre las medidas de sensores ópticos. Tesis Ingeniero Agrónomo, España, Universidad de Almería. 58 p.
- Hoel, B. 2019. Lecturas del medidor de clorofila en trigo de invierno: diferencias entre cultivares y predicción del contenido de proteína del grano. *Acta Agriculturae Scandinavica* 5(3): 147-157.
- Konika Minolta Seneing. Inc. 2009. Chlorophyll meter SPAD-502. Japón. 4 p.
- Larcher, M. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4th ed. Springer. Germany. 513 p.
- López, L. 2002. *Cultivos industriales*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 1071 p.
- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A. y Herrera-Estrella, L. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current opinion in plant biology*, 6(3): 280-287
- Lan, S., Col, L. 2018. El etanol supera a múltiples disolventes en la extracción de clorofila-a de las costras biológicas del suelo. *Biología y bioquímica del suelo* 43(4): 857-861.
- Llagas, J. 2023. Estimación del índice de verdor de diversos cultivos. Tesis Ingeniero Agrónomo, México, Instituto Tecnológico de Tlajomulco. 48 p.
- Marek, S; Tremblay, N; Fallo, E. 2009. Strategies to make use of plant sensorsbased diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal* 101: 800-816.
- Martínez, J., Galantini, J., Landriscini, M. 2018. Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense mediante el uso de un clorofilómetro en trigo. *Ciencia del suelo* 33(1): 1-15.
- Novoa, R., Villagran, A. 2019. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agric. Téc* 62(1): 165-171.
- Novoa, R., Villagran, A. 2018. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 63 (1):59-71.

Ocon, P. 2018. Utilización del clorofilometro SPAD 502 para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno en sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) bajo distintas dosis de nitrógeno. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, Managua. 85 p.

Padilla, F., Col, L. 2018. Valores de referencia para las fases fenológicas de lecturas de medidores de clorofila e índices de reflectancia para una nutrición óptima de N del tomate fertirrigado. V Simposio Internacional sobre Estrategias de Fertilización Ecológicamente Razonadas para la Producción de Hortalizas de Campo 1192: 65-72.

Peña, A. 2023. Efecto de la fertilización de nitrógeno y magnesio sobre la concentración de clorofila en el híbrido de maíz (*Zea mays* L.) en la zona de Pueblo Viejo. Tesis Ing. Agrónomo, Universidad Técnica de Babahoyo. 77 p.

Ramos, E. 2023. Eficiencia agronómica del sulfato de magnesio para la emisión foliar del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Parroquia Isla de Bejucal, cantón Baba. Tesis Ing. Agrónomo, Universidad Técnica de Babahoyo. 72 p.

Roslán, N., Col, L. 2019. Monitoreo del crecimiento de hojas de mango Harumanis (*Mangifera Indica*) en etapa vegetativa utilizando el medidor SPAD y el medidor de área foliar». En: Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales 557(1): 012010.

Reyes, J., Correa, C., Zúñiga, J 2017. Fiabilidad de diferentes espacios de color para estimar los valores SPAD de nitrógeno en maíz. Electo. Agrícola. 143: 14-22.

Richardson, A., Duigan, S., Berlyn, G. 2019. Evaluación de métodos no invasivos para estimar el contenido de clorofila foliar. Nuevo fitol 153: 185-194.

Rincón, A., Ligarreto, G. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el piedemonte llanero colombiano. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu 11(2): 122-128.

Rincón, C., Ligarreto, G. 2018. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero Colombiano. *Rev. Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(2): 122-128.

Rodríguez, M., Alcántar, G., Aguilar, A., Etchevers, J., Zantizó, J. 2018. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoam.* 16(2): 135-141.

Sainz, H., Echeverria, H. 2017. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 103(1): 37-44.

Sainz, H., Echeverria, E. 2018. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía La Plata* 103 (1): 12-22.

Schachtman, D.P. y Shin, R. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 58: 47-69

Sims, J., Vasilas, K., Gartley, B., Milliken, V., Green, D. 2018. Evaluation of soil and plant nitrogen test for maize on manured soils of the atlantic coastal plain. *Agronomy Journal* 87: 213-222.

Sexton, P., Carroll, J. 2020. Comparison of SPAD chlorophyll meter readings vs. petiole nitrate concentration in sugarbeet. *Journal of Plant Nutrition* 25(9): 1975-1986.

Taiz, L; Zeiger, E. 2004. *Fisiología Vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 719 pp.

Uddling, J., Col, L. 2017. Evaluación de la relación entre la concentración de clorofila foliar y las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502. *Investigación de fotosíntesis* 91: 37-46.

Varvel, G., Wilhelm, W., Shanahan, J., Schepers, J. 2018. Un algoritmo para las recomendaciones de nitrógeno del maíz utilizando un índice de suficiencia basado en un medidor de clorofila. *Agrón* 99:701–706.

Volpi, H. 2022. Índice de verdor relativo de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) fertirrigado y su correlación con el rendimiento. Tesis Ingeniero Agrónomo, Argentina, Universidad Nacional de Luján. 57 p.

Villar, D., Ortega, L. 2019. Bases Teóricas y su Aplicación para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos. *Tecnología* 8(5): 1-9.

Vite, J. 2020. Producción orgánica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) aplicando cuatro dosis de guano de murciélago cantón naranjal. Tesis Ingeniero Agrónomo, Guayaquil, Universidad Agraria del Ecuador. 78 p.

Yáñez, S., Silvestre, L., Chamorro, I. 2023. Contenido de clorofila en hojas de papas de altura para estimar la calidad de los tubérculos. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* 38(2): 46-58.

4.2. ANEXOS

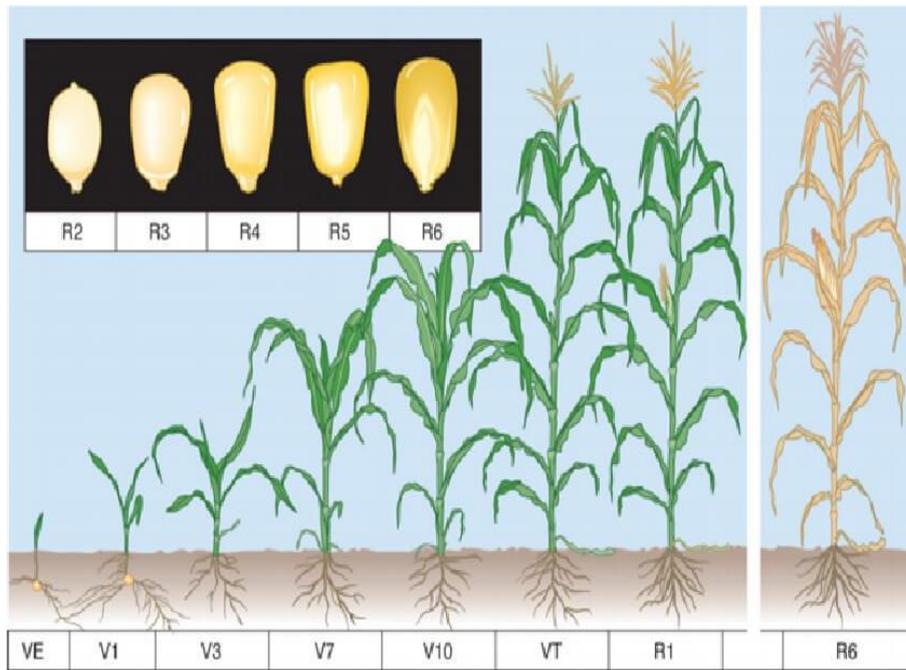


Figura 1. Estados fenológicos del cultivo de maíz

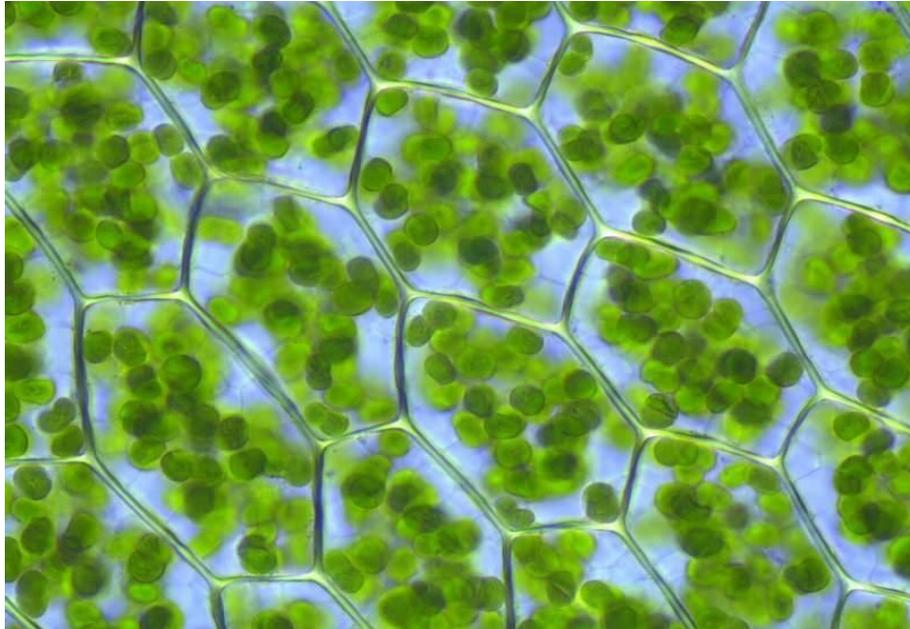


Figura 2. Clorofila en las hojas de maíz



Figura 3. Medidor de clorofila SPAD