

## ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA, NITRÓGENO Y BIOMASA EN ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) MEDIANTE MEDICIONES PORTÁTILES NO DESTRUCTIVAS

Rodrigo O. Mendoza-Tafolla<sup>1</sup>, Porfirio Juárez-Lopez<sup>1</sup>, Ronald E. Ontiveros-Capurata<sup>2</sup>, Irán Alia-Tejagal<sup>1</sup>, Dagoberto Guillén-Sánchez<sup>1</sup>, Oscar G. Villegas-Torres<sup>1</sup> y Ana T. Chávez-Bárceñas<sup>3</sup>

### RESUMEN

El nitrógeno es un nutrimento esencial para las plantas y el elemento más requerido en hortalizas de hoja, por lo que es importante conocer sus niveles en relación con la formación de clorofila y producción de biomasa. El objetivo de esta investigación fue estimar, mediante medidores portátiles no destructivos, la concentración de clorofila y relacionarla con los niveles de nitrógeno y de biomasa fresca en arúgula (*Eruca sativa* L.). La investigación se realizó en un invernadero donde las plantas fueron sometidas a diferentes dosis de fertilización nitrogenada empleando cinco tratamientos de N-NO<sub>3</sub> (0, 4, 8, 12 y 16 meq·L<sup>-1</sup>), con base en la solución nutritiva de Steiner. Se realizaron evaluaciones semanales en las plantas hasta 42 días después del trasplante utilizando los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, junto a determinaciones en el laboratorio de los niveles de clorofila, nitrógeno y biomasa fresca por planta. Los resultados mostraron que la relación entre lecturas SPAD, nitrógeno, clorofila y materia fresca fue positiva y significativa, con coeficientes de correlación de 0,93-0,97; para lecturas atLEAF, se observaron relaciones similares, con coeficientes de correlación de 0,96-0,99. Las relaciones entre lecturas SPAD, atLEAF y MC-100 fueron positivas y significativas, con coeficientes de correlación de 0,97-0,98. Esto indica que estos medidores son instrumentos válidos para estimar *in-situ* el estado de clorofila y nitrógeno en el cultivo de arúgula de manera no destructiva, rápida y precisa.

**Palabras clave adicionales:** atLEAF, hortaliza de hoja, MC-100, nutrición vegetal, SPAD

### ABSTRACT

**Estimation of concentration of chlorophyll, N, and biomass using non-destructive measurements in arugula (*Eruca sativa*)**  
Nitrogen is an essential nutrient for plants and the most required element in leafy vegetables, so it is important to know its levels in relation to chlorophyll formation and biomass production. The objective of this research was to estimate, using non-destructive portable meters, the concentration of chlorophyll and relate it to the levels of nitrogen and fresh biomass in arugula (*Eruca sativa* L.). The research was carried out in a greenhouse where the plants were subjected to different doses of nitrogen fertilization using five N-NO<sub>3</sub> treatments (0, 4, 8, 12 and 16 meq·L<sup>-1</sup>), based on the Steiner nutrient solution. Weekly evaluations were made on the plants up to 42 days after transplant using SPAD, atLEAF and MC-100 meters, together with laboratory determinations of the levels of chlorophyll, nitrogen and fresh biomass per plant. The results showed that the relationship between SPAD readings, nitrogen, chlorophyll and fresh matter was positive and significant, with R<sup>2</sup> coefficients of 0.93-0.97; for atLEAF readings similar relationships were observed, with coefficients of 0.96-0.99. The relationships between SPAD, atLEAF and MC-100 readings were positive and significant, with coefficients of 0.97-0.98. This indicates that these meters are valid instruments to estimate *in-situ* the status of chlorophyll and nitrogen in the arugula crop in a non-destructive, fast and precise way.

**Additional keywords:** atLEAF, MC-100, leafy vegetable, plant nutrition, SPAD

### INTRODUCCIÓN

El nitrógeno en las plantas es un elemento

esencial que forma parte de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y clorofila, este último, el pigmento esencial para la fotosíntesis

Recibido: Julio 26, 2021

Aceptado: Febrero 25, 2022

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. e-mail: rodrigoomt@hotmail.com; porfirio.juarez@uaem.mx (autor de correspondencia); iran.alia@uaem.mx; dagoberto.guillen@uaem.mx; voscar66@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Cátedra CONACYT-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México. e-mail: rononti@gmail.com; reontiverosca@conacyt.mx

<sup>3</sup> Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. e-mail: atchavez@umich.mx

(Taiz et al., 2014). La concentración de clorofila foliar está estrechamente relacionada con el contenido de N en la planta (Zebarth et al., 2002), por lo tanto, el monitoreo de las concentraciones de clorofila y N puede ayudar en el manejo de la nutrición para un adecuado crecimiento de los cultivos agrícolas y óptimos rendimientos (Gitelson et al., 2003).

Los métodos destructivos para la determinación de N y clorofila son precisos, pero requieren mucho tiempo y son costosos (Kalaji et al., 2017). En contraste, los medidores portátiles no destructivos se han utilizado con éxito en algunas especies para estimar el contenido de clorofila o N (Loh et al., 2002; Abdelhamid et al., 2004) en la misma hoja durante el tiempo de desarrollo del cultivo (Yamamoto et al., 2002; Kalaji et al., 2017).

El medidor de clorofila SPAD 502 Plus (Konica Minolta, Japón) se utiliza para la determinación rápida y no destructiva de la concentración relativa de clorofila en la hoja (Gianquinto et al., 2003). La transmisión de luz a través de la hoja se mide a la longitud de onda de 650 y 940 nm, donde la primera coincide con la región espectral de la actividad máxima de clorofila y la segunda longitud de onda es utilizada para compensar factores como el contenido de humedad de la hoja y su espesor (De Souza et al., 2019). Los valores obtenidos mediante el SPAD oscilan entre 0 y 99 y se ha reportado que están relacionados con la concentración de clorofila foliar (Uddling et al., 2007; Basyouni y Dunn, 2014; Basyouni et al., 2015), lo que permite tener estimaciones de clorofila de forma rápida, precisa y no destructiva (Padilla et al., 2018).

El medidor de clorofila atLEAF Plus (FT Green LLC, USA) funciona de manera similar con una longitud de onda de 940 nm, pero a diferencia del medidor SPAD, el atLEAF utiliza una longitud de onda de 660 nm (Zhu et al., 2012), y se obtienen lecturas con valores similares a las obtenidas con el SPAD (Basyouni et al., 2015); asimismo, este medidor representa una alternativa más económica en comparación con el SPAD (Zhu et al., 2012; Basyouni y Dunn, 2014; Mendoza et al., 2019).

Por su parte, el medidor MC-100 (Apogee Instruments, Logan, UT, USA) registra la concentración relativa de clorofila en la longitud

de onda de 653 nm y 931 nm en un área de aproximadamente 64 mm<sup>2</sup> (De Souza et al., 2019) y se ha empleado para la determinación de la concentración de clorofila en hojas, evaluación del estrés nutrimental y la optimización de cosechas en pimiento dulce (Padilla et al., 2018).

Se ha reportado que la concentración de clorofila y de nitrógeno determinados en laboratorio presentan altas correlaciones con las lecturas SPAD en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Fontes y Ronchi, 2002; Reis et al., 2006), papa (*Solanum tuberosum*) (Gianquinto et al., 2003; Coelho et al., 2010), cebolla (*Allium cepa*), repollo (*Brassica oleracea*), zanahoria (*Daucus carota*) (Westerveld et al., 2003), remolacha (*Beta vulgaris*) y orégano (*Origanum vulgare*) (Calderón et al., 2011); mientras que con atLEAF se han reportado altas correlaciones en papa (*Solanum tuberosum*), salvia (*Salvia splendens*) (Dunn et al., 2018a) y clavel (*Dianthus chinensis*) (Basyouni et al., 2015).

Mendoza et al. (2019) reportaron coeficientes de correlación de 0,94 y 0,98 para la concentración de nitrógeno y de clorofila, respectivamente, determinados con los medidores portátiles SPAD y atLEAF en lechuga romana. Sin embargo, los estudios en hortalizas *gourmet* son escasos, más aun en especies que tienen potencial de incrementar su superficie cultivada, como es el caso de arúgula. Se considera muy útil la generación de información relacionada con la concentración de clorofila y nitrógeno, lo que representa la posibilidad de realizar ajustes en la fertilización nitrogenada en los cultivos agrícolas. El objetivo de esta investigación fue estimar la concentración de clorofila, mediante mediciones portátiles no invasivas, y correlacionarla con las determinaciones de laboratorio de nitrógeno y biomasa fresca en plantas de arúgula sometidas a diferentes aplicaciones de fertilizante nitrogenado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización y material vegetal.** El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, localizado en Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, en los meses junio y julio de 2020, en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica de color blanquecino con 30 % de sombraje y con malla

ubicado en las coordenadas 18°58'51" N, 99°13'55" W, altitud de 1,866 m. La temperatura media fue de 23 °C, humedad relativa media 69 % y radiación solar media 480  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Se utilizó el cultivar de arúgula Wild Rocket cuyas semillas fueron sembradas en bandejas de poliestireno con sustrato comercial BM2 Berger; después se trasplantaron a bolsas de polietileno (una planta por bolsa) con capacidad de 10 L que contenía roca volcánica (localmente llamado tezontle) como sustrato, con granulometría de 1 a 7 mm.

**Tratamientos y medición de variables.** Los tratamientos se aplicaron durante 42 días a partir del trasplante y correspondieron a cinco niveles de fertilización nítrica con base en la solución nutritiva de Steiner (1984) de 0, 4, 8, 12 y 16  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ . Para su aplicación se regó diariamente con 0,5 L por planta de la solución durante los primeros 7 días, con 1,0 L del día 8 al 21, y con 1,5 L los últimos 21 días. Los volúmenes indicados se dividieron en cuatro riegos diarios y para evitar la acumulación de sales se consideró un drenaje de 15 a 20 % que permitió un drenaje diario total de 75 a 100 mL. Con el mismo fin, cada semana se dio un riego de agua acidulada a pH de 6.0 con ácido sulfúrico.

Las determinaciones *in situ* se realizaron semanalmente hasta los 42 días usando los medidores portátiles SPAD 502 Plus Minolta, atLEAF CHL Plus y MC 100 Apogee, de acuerdo a la metodología propuesta por León et al. (2007). Cada valor de los medidores portátiles se obtuvo del promedio de 10 lecturas (5 a cada lado de la nervadura central de la hoja), en tres hojas recientemente maduras y completamente expandidas, entre las 11:00 y las 12:00 h, con seis repeticiones. Posteriormente, para la determinación de la concentración de clorofila, las mismas hojas utilizadas para las lecturas de SPAD, atLEAF y MC 100 fueron cortadas y se conservaron a -80 °C durante una semana hasta su análisis en laboratorio.

La concentración de clorofila se determinó con el método espectrofotométrico según Wettstein (1957). Un gramo de hoja fresca se homogenizó con 20 mL de acetona concentrada, se filtró el homogenizado y aforó a 50 mL de acetona al 80 %. Las suspensiones se mantuvieron en oscuridad entre los pasos de procesamiento. Después se realizaron lecturas de absorbancia a 645 y 663 nm en un espectrofotómetro Hach DR

5000.

Inmediatamente después de terminar las mediciones *in situ* se cosechó la parte aérea de las plantas para cuantificar el peso de biomasa fresca con aproximación de 0,01 g. Estas muestras se secaron con un horno de aire forzado a 70 °C durante 72 horas para luego cuantificar el nitrógeno total por el método de microkjeldahl.

**Diseño y análisis estadístico.** Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos de fertilización y seis repeticiones.

Se compararon mediante regresión lineal los valores obtenidos *in situ* con los obtenidos en las determinaciones de laboratorio de la concentración de N y clorofila, y biomasa fresca aérea de la planta usando el programa SigmaPlot v. 12,5. A los datos obtenidos en la cosecha (42 días), se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey, con el programa SAS 2004 (Cary, NC, USA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Condiciones de cultivo y respuesta a los niveles de N.** Se observaron diferencias ( $P\leq 0,01$ ) para todas las variables evaluadas en función de los niveles de N aplicados, con incrementos al aumentar el nivel de nitrógeno en la solución nutritiva (Cuadro 1). Al respecto, Dunn et al. (2018a) también reportó una tendencia similar para la concentración de nitrógeno y las lecturas del medidor SPAD en hojas de *S. splendens*.

En estudios de crecimiento en otros cultivos herbáceos se ha reportado una tendencia similar en variables de crecimiento, como los obtenidos por Cruz et al. (2017) quienes en cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) reportaron un incremento biomasa fresca cuando evaluaron concentraciones de la solución nutritiva de Steiner de 25 a 100 %, lo cual fue atribuido a la mayor disponibilidad nutrimental, entre ellos el nitrógeno, es decir, el elemento esencial más requerido por las plantas después del carbono (Hawkesford et al., 2012).

**Asociación entre las diferentes variables.** Se observaron asociaciones significativas ( $P\leq 0,01$ ) para las lecturas de SPAD, atLEAF y MC 100 con las concentraciones de N y clorofila, y biomasa fresca (Cuadro 2). Igualmente, Basyouni et al. (2015) informaron una tendencia similar para la concentración de nitrógeno y de lecturas SPAD en

hojas de flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*). **Relación entre el contenido de clorofila y las lecturas *in situ*.** La relación entre lecturas SPAD y la concentración de clorofila (Cuadro 2) fue significativa y positiva ( $R^2=0,96$ ;  $P\leq 0,01$ ). Estos resultados son similares a los de Fenech-Larios et al. (2009) quienes encontraron alta correlación entre lecturas SPAD y concentración de clorofila ( $R^2=0,98$ ) en plántulas de albahaca, y similares a los reportados por Mendoza et al. (2019) en

lechuga romana ( $R^2=0,99$ ). Sin embargo, son notoriamente superiores a los reportados por Martín et al. (2007), quienes en laurustina (*Viburnum tinus*), tobira (*Pittosporum tobira*) y madroño (*Arbutus unedo*), encontraron coeficientes de determinación entre 0,12 y 0,27. Estas diferencias tan contrastantes podrían atribuirse al tipo de planta, ya que esas tres especies son perennes y arbustivas en comparación a la naturaleza herbácea de la albahaca y la lechuga.

**Cuadro 1.** Lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, cantidad de materia fresca y concentraciones de N y clorofila durante la cosecha de arúgula

N aportado (mEq·L <sup>-1</sup> )	Lecturas SPAD	Lecturas atLEAF	Lecturas MC-100	Nitrógeno (%)	Clorofila (mg·g <sup>-1</sup> )	Biomasa fresca (g·planta <sup>-1</sup> )
0	39,2 c	43,4 c	44,3 c	1,67 c	3,15 c	101,9 c
4	40,1 c	44,0 c	45,3 c	1,74 c	3,34 c	108,3 c
8	45,7 b	46,6 bc	47,8 c	2,01 b	3,67 b	126,2 b
12	46,2 b	51,2 b	53,4 b	2,09 b	3,75 ab	146,7 a
16	49,5 a	57,3 a	59,1 a	2,46 a	3,87 a	150,2 a
DMS	3,88	5,99	6,03	0,34	0,16	14,87

Medias con la misma letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $P\leq 0,05$ ).

DMS: diferencia mínima significativa

En cuanto al medidor atLEAF (Cuadro 2), se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0,92$  ( $P\leq 0,01$ ) para el modelo de regresión lineal, valor superior a los reportados por Zhu et al. (2012) quienes obtuvieron coeficientes de determinación entre 0,72 y 0,88 para la relación entre el nivel de clorofila y la lectura del atLEAF en maíz, trigo, cebada, papa y canola, y también superior a los

reportados por Hebbbar et al. (2016) de 0,46 y 0,90 en hojas de palmera cocotera (*Cocos nucifera*). Con respecto al medidor MC-100 (Cuadro 2), el coeficiente de determinación obtenido en nuestro estudio fue de 0,96 ( $P\leq 0,01$ ). Padilla et al. (2018) reportaron coeficientes de determinación entre 0,76 y 0,94 en pimiento dulce al utilizar este mismo medidor.

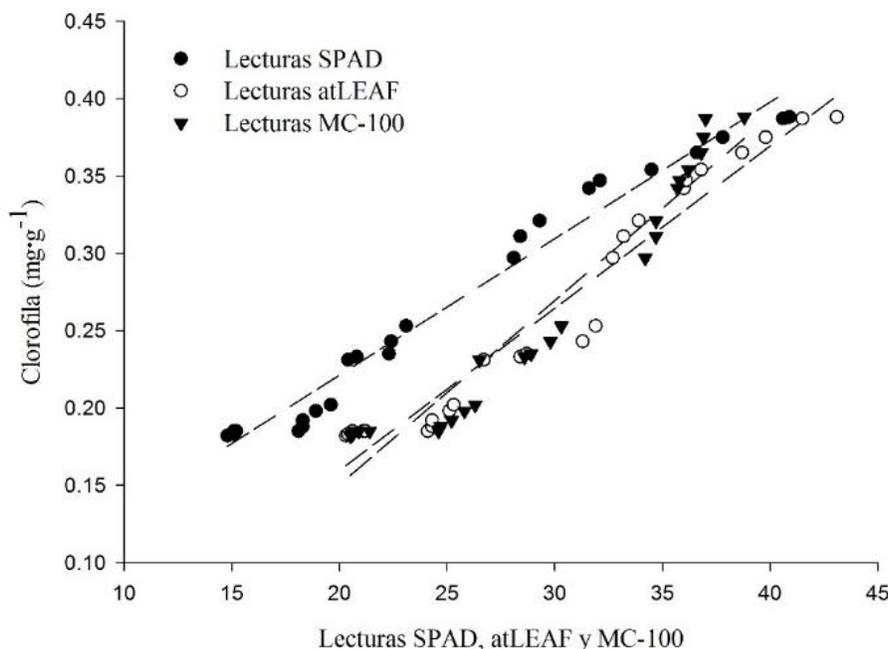
**Cuadro 2.** Ecuaciones de regresión, y coeficientes de determinación  $R^2$  para las interrelaciones entre las lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, así como las concentraciones de nitrógeno y clorofila, y biomasa fresca en arúgula

Variables	Ecuación de regresión	$R^2$	CME
SPAD y N	% N = 0,0336 SPAD + 0,1751	0,94**	0,03
atLEAF y N	% N = 0,0378 atLEAF - 0,1298	0,96**	0,03
MC-100 y N	% N = 0,0502 MC-100 - 0,4549	0,88**	0,05
SPAD y clorofila	Clorofila = 0,0079 SPAD + 0,0650	0,96**	0,06
atLEAF y clorofila	Clorofila = 0,0086 atLEAF + 0,0036	0,92**	0,03
MC-100 y clorofila	Clorofila = 0,0121 MC-100 - 0,0922	0,96**	0,04
SPAD y biomasa fresca	Materia fresca = 4,3016 SPAD - 64,9720	0,88**	0,06
atLEAF y biomasa fresca	Materia fresca = 6,1576 atLEAF - 13,7030	0,86**	0,02
MC-100 y biomasa fresca	Materia fresca = 4,9606 MC-100 - 10,777	0,94**	0,05
N y clorofila	Clorofila = 0,3119 N - 0,0431	0,98**	0,03
N y biomasa fresca	Biomasa fresca = 65,262 N - 30,079	0,97**	0,03
Clorofila y biomasa fresca	Biomasa fresca = 208,23 Clorofila - 20,749	0,98**	0,03

\*\*Indica  $R^2$  altamente significativo ( $P\leq 0,01$ ) de la regresión.  $R^2$ : coeficiente de determinación; CME: cuadrado medio del error

Las regresiones significativas que fueron obtenidas para los medidores SPAD, atLEAF y MC-100 (Figura 1) permiten hacer predicciones de la concentración de clorofila de forma precisa y

confiable en plantas de arúgula, lo cual puede servir para estimar el estado nutricional del cultivo, y a partir de esto, sugerir dosis de fertilización nitrogenada.



**Figura 1.** Regresión lineal entre las lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, y la concentración de clorofila en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)

**Relación entre el contenido de nitrógeno y las lecturas *in situ*.** La relación de las lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100 con la concentración de nitrógeno fue significativa ( $P \leq 0,01$ ) y mostró coeficientes de determinación  $R^2$  de 0,94, 0,96 y 0,88, respectivamente (Cuadro 2, Figura 2). Ali et al. (2007) encontraron coeficientes de determinación entre 0,86 a 0,94 para la relación entre el medidor SPAD y concentración de nitrógeno en el cultivo de tomate de invernadero. Por otra parte, Dunn et al. (2018b) reportó valores de  $R^2$  de 0,92 para la relación entre atLEAF y N en plántulas de salvia, y De Souza et al. (2019) usaron los medidores atLEAF y MC-100 para estimar la concentración de N en pimiento dulce y obtuvieron valores de  $R^2$  entre 0,81 y 0,94 para ambos medidores.

**Relación entre el contenido de biomasa fresca y las lecturas *in situ*.** La relación entre las lecturas SPAD y biomasa fresca (Figura 3) fue significativa y positiva ( $P \leq 0,01$ ) con coeficiente

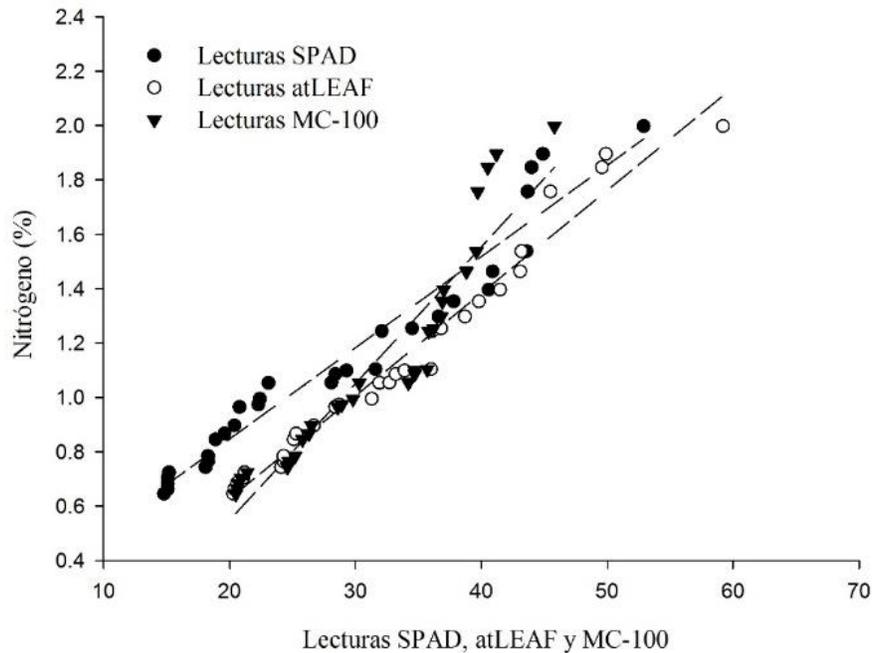
de determinación de 0,88 (Cuadro 2). Este resultado está dentro del intervalo reportado por Cunha et al. (2015) quienes obtuvieron coeficientes de determinación entre 0,85 y 0,94 en la relación entre la lectura SPAD y peso fresco de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). En este sentido, Cho et al. (2007) mencionan que el medidor SPAD puede ser utilizado en campo para estimar el rendimiento de biomasa fresca y predecir el rendimiento en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*).

En cuanto a la relación entre las lecturas del medidor atLEAF y biomasa fresca (Figura 3), ésta fue significativa ( $P \leq 0,01$ ) y presentó buen ajuste a la regresión lineal con coeficiente de determinación de 0,86 (Cuadro 2). Por su parte, Dey et al. (2016) reportaron coeficiente de determinación de 0,94 en la planta ornamental betel (*Piper betle*).

En cuanto al coeficiente de determinación de las mediciones con el MC-100 y la biomasa fresca se encontró un valor significativo ( $P \leq 0,01$ ) de

0,94 fue significativa (Cuadro 2), ajustado al modelo de regresión lineal (Figura 3). Al respecto, en la literatura no se encontraron estudios sobre el uso del MC-100 en hortalizas

de hoja, por lo que el presente estudio puede constituir el primer reporte del uso de este medidor portátil para la predicción de producción de biomasa fresca en arúgula.



**Figura 2.** Regresión lineal entre las lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, y la concentración de nitrógeno en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)

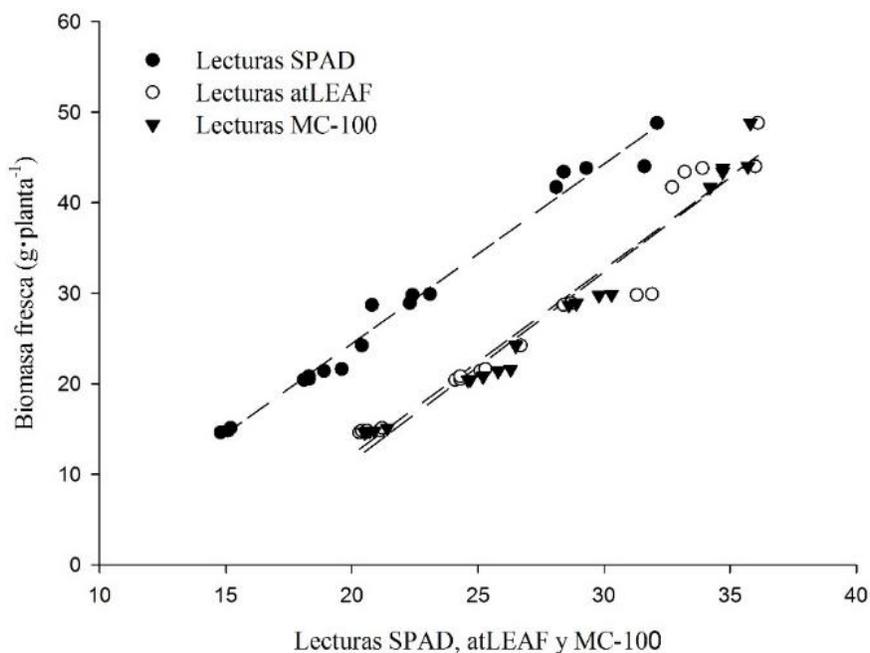
**Interrelación entre las concentraciones de nitrógeno y clorofila, y biomasa fresca.** La relación entre las concentraciones de nitrógeno y clorofila resultó significativa ( $P \leq 0,01$ ) con un coeficiente de determinación de 0,98 (Cuadro 2), lo que indica un adecuado ajuste a la ecuación de regresión lineal (Figura 4). Estos resultados son similares a los reportados por Castro y Blanco (2018) quienes obtuvieron coeficientes de determinación superiores a 0,97 entre las mismas variables en plantas de pimiento dulce. Por su parte, Yadav et al (2010) encontraron relaciones significativas ( $R^2=0.96$ ) entre las concentraciones de nitrógeno y clorofila en el cultivo de papa.

En cuanto a la relación de la concentración de nitrógeno y biomasa fresca (Figura 5), el coeficiente de determinación fue de 0,97 (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los obtenidos por Elsayed et al. (2018) quienes reportan coeficientes de determinación entre 0,94 y 0,97 durante el crecimiento vegetativo del cultivo de

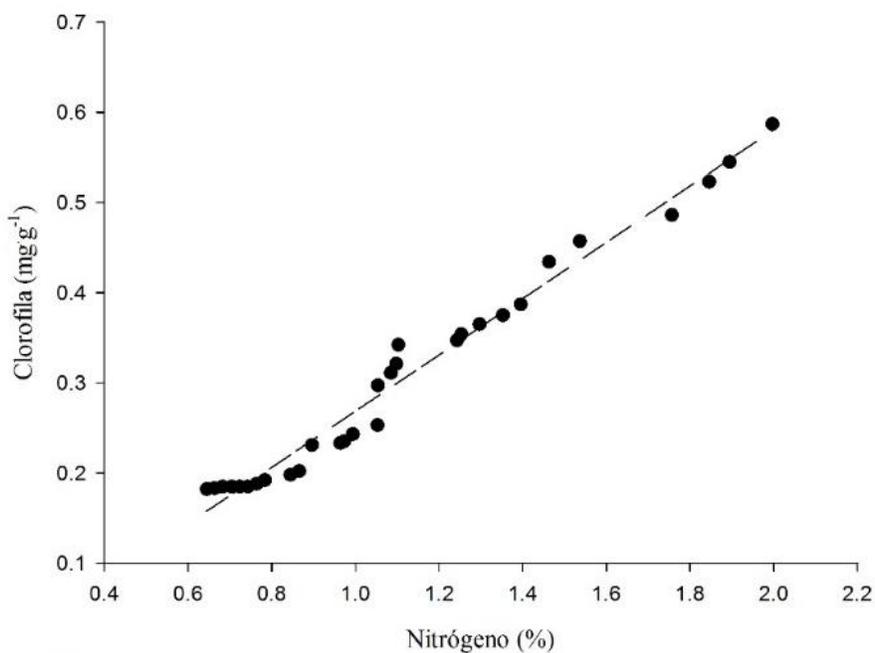
trigo. El alto coeficiente obtenido se atribuye a que el nitrógeno, siendo un elemento esencial para el crecimiento, influye en la acumulación de biomasa por la planta.

La relación entre la concentración de clorofila y la biomasa fresca (Figura 6) tuvo un coeficiente de determinación de 0,98 (Cuadro 2), lo cual se atribuye a que este pigmento es componente fundamental en el proceso de fotosíntesis, y por consiguiente, en la acumulación de biomasa (Kumar-Sharma, 2013; Taiz et al., 2014).

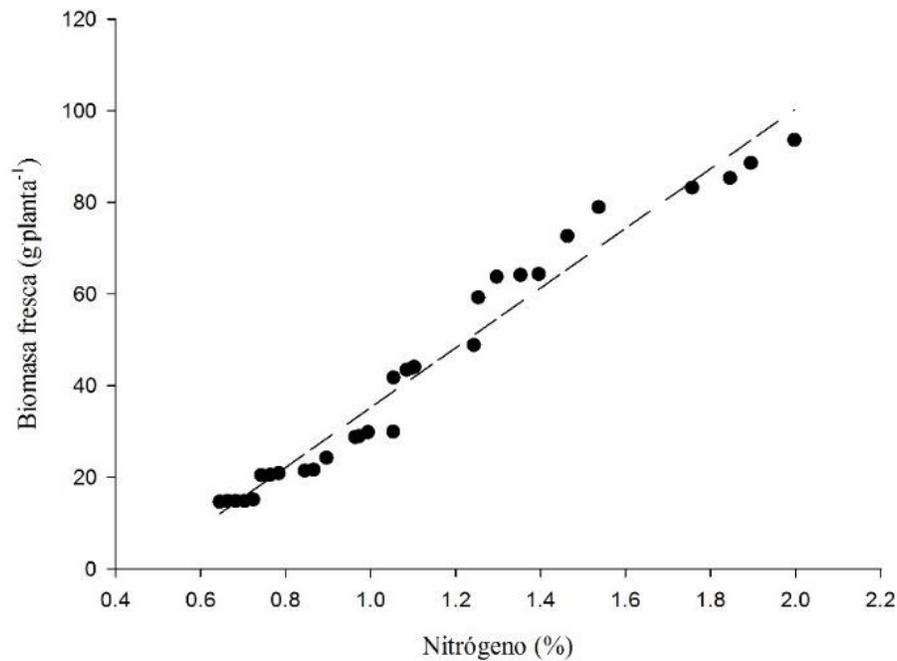
Los resultados anteriores tienen particular importancia en las hortalizas de hoja como la arúgula, dada su utilidad como estimadores de biomasa fresca que permita predecir el volumen de cosecha de forma rápida y precisa, a la vez que podrían promover el uso racional de fertilizantes nitrogenados en la producción de esta planta y sus consecuentes beneficios, tanto para el ambiente como para los productores, en un contexto donde los fertilizantes nitrogenados son cada vez más costosos.



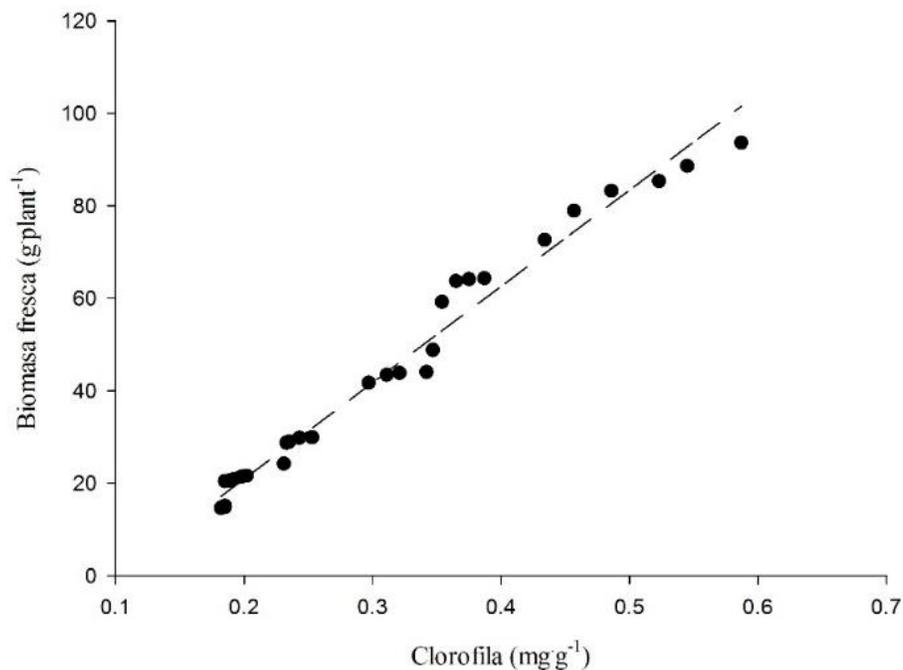
**Figura 3.** Regresión lineal entre las lecturas de los medidores SPAD, atLEAF y MC-100, y la concentración de nitrógeno en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)



**Figura 4.** Regresión lineal entre los niveles de nitrógeno y de clorofila en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)



**Figura 5.** Regresión lineal entre los niveles de nitrógeno y la biomasa fresca en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)



**Figura 6.** Regresión lineal entre los niveles de clorofila y la biomasa fresca en arúgula (ecuaciones de regresión en el Cuadro 2)

## CONCLUSIONES

Se demostró que las lecturas realizadas utilizando

los medidores SPAD, atLEAF y MC 100 están relacionados linealmente con los niveles de nitrógeno y clorofila, así como con la producción

de materia fresca en arúgula.

En función de los anterior, estos medidores pueden usarse para estimar el estado nutrimental de nitrógeno de manera no destructiva, rápida y precisa durante el crecimiento del cultivo, y a partir de esto, sugerir dosis de fertilización nitrogenada. Dado que no hubo diferencias entre las lecturas de los medidores, cualquiera de ellos puede ser utilizado con este fin.

Las lecturas de los tres medidores portátiles, así como los niveles de clorofila, nitrógeno y biomasa fresca aumentaron paulatinamente a medida que se incrementaron los niveles de NO<sub>3</sub> en la solución nutritiva.

Los medidores portátiles evaluados permiten estimar, de forma rápida y precisa, el volumen de biomasa fresca y a su vez, de cosecha, por lo que constituyen una herramienta para promover el uso racional de fertilizantes nitrogenados en la producción de la planta

#### LITERATURA CITADA

1. Abdelhamid, M., T. Horiuchi y S. Oba. 2004. Evaluation of the SPAD value in faba bean (*Vicia faba* L.) leaves in relation to different fertilizer applications. *Plant Production Science* 6(3): 185-189.
2. Ali, M.M., A. Al-Ani, D. Eamus y D.K. Tan. 2007. Leaf nitrogen determination using handheld meters. *Precision Agriculture. Journal of Plant Nutrition* 40(7): 928-953.
3. Basyouni, R. y B. Dunn. 2014. Use of reflectance sensors to monitor plant nitrogen status in horticultural plants. *Agricultural and Forest Meteorology* 6: 581-584
4. Basyouni, R., B. Dunn y C. Goad. 2015. Use of non-destructive sensors to assess nitrogen status in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L. (Willd. ex Klotzsch)) production. *Scientia Horticulturae* 192: 47-53.
5. Calderón M.L.A., R.A.M. Bernal y T. Pérez. 2011. Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanum vulgare* L.). *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 7(2): 150-166.
6. Castro, Y. y E. Blanco. 2018. Estimación del contenido de clorofila y nitrógeno en plantas de pimentón inoculadas con bacterias rizosféricas. *Revista científica UNET Agropecuaria* 30: 105-112.
7. Cho, Y.Y., S. Oh, M.M. Oh y J.E. Son. 2007. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Scientia Horticulturae* 111(4): 330-334.
8. Coelho, F.S., P.C.R. Fontes, M. Puiatti, J.C.L. Neves y M. C. de C. Silva. 2010. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 34(4): 1175-1183.
9. Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, J. Loera-Rosales, G. Aguilar-Benítez, J. Pineda-Pineda, y R. Bugarín-Montoya. 2017. Extracción de N-P-K en *Coriandrum sativum* 'Pakistan' en hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2): 355-367.
10. Cunha, A.R. da, I. Katz, A. de P. Sousa y R.A. Martinez-Urbe. 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.
11. De Souza, R., M.T. Peña-Fleitas, R.B. Thompson, M. Gallardo, R. Grasso y F.M. Padilla. 2019. The use of chlorophyll meters to assess crop n status and derivation of sufficiency values for sweet pepper. *Sensors* 19(13): 2949-2955.
12. Dey, A.K., M. Sharma y M.R. Meshram. 2016. An analysis of leaf chlorophyll measurement method using chlorophyll meter and image processing technique. *Procedia computer science* 85: 286-292.
13. Dunn, B.L., H. Singh y C. Goad. 2018a. Relationship between chlorophyll meter readings and nitrogen in poinsettia leaves. *Journal of Plant Nutrition* 41(12): 1566-1575.
14. Dunn, B.L., H. Singh, M. Payton y S. Kincheloe. 2018b. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on SPAD-502 and atLEAF sensor readings of Salvia. *Journal of Plant Nutrition* 41(13): 1674-1683.
15. Elsayed, S., G. Barmeier y U. Schmidhalter. 2018. Passive reflectance sensing and digital

- image analysis allows for assessing the biomass and nitrogen status of wheat in early and late tillering stages. *Frontiers in Plant Science* 9: 1978-1989
16. Fenech-Larios, L., E. Troyo-Diéguez, M. Trasviña-Castro, F. Ruiz-Espinoza, A. Beltrán-Morales, B. Murillo-Amador y S. Zamora-Salgado. 2009. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Universidad y Ciencia* 25(1): 99-102.
  17. Fontes, P.C.R. y C.P. Ronchi. 2002. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37(10): 1421-1429.
  18. Gianquinto, G., P. Sambo y F. Pimpini. 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: First results. *Acta Horticulturae* 607: 191-196.
  19. Gitelson, A.A., Y. Gritz y M.N. Merzlyak. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* 160(3): 271-282.
  20. Hebbar, K.B., P. Subramanian, T.L. Sheena, K. Shwetha, P. Sugatha, M. Arivalagan y P.V. Varaprasad. 2016. Chlorophyll and nitrogen determination in coconut using a non-destructive method. *Journal of Plant Nutrition* 39(11): 1610-1619.
  21. Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I.S. Moller y P. White. 2012. Functions of macronutrients. *In: P. Marschner (ed.). Marschners's Mineral Nutrition of higher plants. 3rd ed. USA. Academic press. pp. 135-189*
  22. Kalaji, H.M., P. Dąbrowski, M.D. Cetner, I.A. Samborska, I. Łukasik, M. Brestic y B.M. Panchal. 2017. A comparison between different chlorophyll content meters under nutrient deficiency conditions. *Journal of Plant Nutrition* 40(7): 1024-1034.
  23. Kumar-Sharma, M. 2013. An Introduction to Plant Nutrition. *In: Kumar P. y M. Kumar-Sharma (eds.). Nutrient deficiencies of field crops: guide to diagnosis and management. CABI International. Tarxien, Malta. 1-7 p.*
  24. León, A.P., S.Z. Viña, D. Frezza, A. Chaves y A. Chiesa. 2007. Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(19-20): 2877-2885.
  25. Loh, F.C., J.C. Grabosky y N.L. Bassuk. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of benjamin fig and cottonwood leaves. *HortTechnology* 2: 682-686.
  26. Martín, I., N. Alonso, M. López, M. Prieto, C. Cadahía y E. Eymar. 2007. Estimation of leaf, root, and sap nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter for ornamental shrubs. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(13-14): 1785-1803.
  27. Mendoza-Tafolla, R.O., P. Juárez-Lopez, R.E. Ontiveros-Capurata, M. Sandoval-Villa, I. Alia-Tejacal y G. Alejo-Santiago. 2019. Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and atLEAF readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(3): 751-760.
  28. Padilla, F., R. De Souza, M. Peña-Fleitas, M. Gallardo, C. Giménez y R. Thompson. 2018. Different responses of various chlorophyll meters to increasing nitrogen supply in sweet pepper. *Frontiers in Plant Science* 9: 63-72.
  29. Reis, A., E. Furlani Junior, S. Buzetti y M. Andreotti. 2006. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia* 65(1): 163-171.
  30. Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. (pp. 633-649). Wageningen, The Netherlands.*
  31. Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Moller y A. Murphy. 2014. *Plant Physiology & Development. 6<sup>th</sup> Oxford University Press. United Kingdom.*
  32. Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki y H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* 91(1): 37-46.

33. Westerveld, S.M., A.W. McKeown, M.R. McDonald y C.D. Scott-Dupree. 2003. Chlorophyll and nitrate meters as nitrogen monitoring tools for selected vegetables in southern Ontario. *Acta Horticulturae* 627: 259-266.
34. Wettstein, D. 1957. Chlorophyll-letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden *Experimental Cell Research*. 12(3): 427-506.
35. Yadav, S., I.Y. Prakash y G. Dutta S. 2010. Estimation of the chlorophyll content of micropropagated potato plants using RGB based image analysis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 2: 183-188.
36. Yamamoto, A., T. Nakamura, J. Adu-Gyamfi y M. Saigusa. 2002. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). *Journal of Plant Nutrition* 25(10): 2295-2301.
37. Zebarth, B.J., M. Younie, J. Paul y S. Bittman. 2002. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(5-6): 665-684.
38. Zhu, J., N. Tremblay y Y. Liang. 2012. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science* 92(4): 645-648.

