

TABACO ‘CRIOLLO 98’: CONTENIDO FOLIAR DE CLOROFILA Y CALIDAD COMERCIAL COMO RESPUESTA A LA ENMIENDA EDÁFICA CON TURBA ÁCIDA

‘Criollo 98’ tobacco: leaf chlorophyll content and commercial quality, as influenced by soil amendment with acid peat

Óscar Ricote Jorge^{1✉}, Noel J. Arozarena Daza²,
Armando Trujillo González³, Lisette Monzón Herrera⁴,
Aylín Villalón Hoffman⁴ y Abdón J. Trémols González^{4†}

ABSTRACT. Tobacco soils of the Rhodic Ferralsol group affected by alkalinity were amended with acid peat (0; 15; 30; 45 and 60 m³ ha⁻¹) to reduce their pH and thus to increase the production of wrapper leaf for export cigars in the region of the Partido zone, located in Alquízar municipality, Artemisa province. The research was conducted for four consecutive crops at the UBPC “Felipe Herrera Acea” (Basic Unit of Cooperative Production) of the mentioned location, with the Cuban dark tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed ‘Criollo 98’. Indicators of the vegetable response were: the chlorophyll content [SPAD units, in crop] for each priming and the percentage of production with exportable quality, for every treatment. The photometric readings [SPAD units] for every priming and treatment were related with the vegetable response in terms of exportable commercial quality, for the calculation of chlorophyll critical levels [Cate & Nelson’s method]. Leaf chlorophyll variation as response to acid peat treatments follows quadratic models of $R^2 \geq 0,72$, although the greatest variation occurred between primings, in the opposite way to leaf harvesting: corona > centro gordo > centro fino > centro ligero > uno y medio > libre de pie and without relationship with the amendment. The wrapper production for export cigars increased by 10 % with respect to the 0 dose, being the [45 and 60 m³ ha⁻¹] treatments the best statistically responses. The critical levels calculated for chlorophyll content in every priming ~first reference of its kind for the seed in the Partido zone~ match the technical maturity moment [suitable for harvesting] with the possibility of obtaining, at least, 30 % of the total production with exportable commercial quality.

RESUMEN. Suelos tabacaleros Ferralíticos Rojos alcalinizados, se enmendaron con turba ácida [15; 30; 45 y 60 m³ ha⁻¹, además de un testigo], para disminuir pH y aumentar la producción de capa para puros de exportación del cultivar cubano de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) negro, ‘Criollo 98’, en áreas de la zona de Partido (UBPC “Felipe Herrera Acea”; municipio Alquízar, provincia Artemisa), durante cuatro campañas sucesivas. Los indicadores de respuesta vegetal fueron: contenido de clorofila [unidades SPAD; en cosecha] por piso foliar y porcentaje de producción con calidad exportable, por variante experimental. Se relacionaron las lecturas fotométricas [unidades SPAD] con la respuesta vegetal en términos de calidad comercial exportable, para el cálculo de niveles críticos de clorofila [método Cate y Nelson]. La variación de la clorofila foliar como respuesta a las dosis de turba ácida, se ajusta a modelos cuadráticos de $R^2 \geq 0,72$; pero, la mayor variación ocurrió entre pisos foliares, en orden contrario al de su recolección: corona > centro gordo > centro fino > centro ligero > uno y medio > libre de pie y sin relación con la enmienda. La producción de capa para puros exportables, aumentó un 10 % respecto al testigo, para las dosis estadísticamente de mejor respuesta [45 y 60 m³ ha⁻¹]. Los niveles críticos de clorofila para cada piso foliar ~primera referencia para el cultivar en la zona de Partido~ relacionan el momento de madurez técnica [aptitud para cosecha], con la posibilidad de obtener, al menos, un 30 % de producción con calidad exportable.

Key words: alkalinization, *Nicotiana tabacum* L.,
Rhodic Ferralsol soils, SPAD units, Partido zone

Palabras clave: alcalinización, *Nicotiana tabacum* L.,
suelos Ferralíticos Rojos, unidades SPAD,
zona de Partido

¹ Corporación Habanos, S. A. [Dirección de Calidad]

² Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” INIFAT-MINAG

³ UBPC “Felipe Herrera Acea” / Empresa Tabacalera “Lázaro Peña” provincia Artemisa/MINAG

⁴ Instituto de Investigaciones del Tabaco / MINAG

✉ oricote@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La clorofila es el principal pigmento fotosintético de las plantas y como tal (1,2), se asocia a la captación y transferencia de la energía luminosa, que desencadena los procesos de oxidación/reducción involucrados en la fijación en la planta del CO₂ atmosférico. El contenido foliar de clorofila depende de factores internos como la edad de la hoja y, a su vez, la expresión de su capacidad fotosintética junto a la intensidad de ese proceso y la tasa de movilización en la planta de los productos de la fotosíntesis; también influyen las características genéticas de la especie (1-3).

La determinación del contenido foliar de clorofila, basada en mediciones fotométricas y favorecida por el auge tecnológico de décadas recientes, se ha establecido como alternativa precisa, no destructiva y de fácil ejecución, para el seguimiento del crecimiento y desarrollo bajo diferentes condiciones de cultivo y tecnologías de manejo, de plantaciones de especies de interés agrícola, tan diversas como melón (*Cucumis melo* L.), soya (*Glycine max* (L.) Merr.), roble (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), cerezo (*Prunus serotina* (Ehrh.) Borkh.), arroz (*Oryza sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), maíz (*Zea mays* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.) y algodón (*Gossypium arboreum* L.) (1,4-6).

Esto se debe a que, si bien el análisis químico foliar (básicamente secado y preparación/digestión /detección y cuantificación) sigue siendo una herramienta fundamental en el estudio de las relaciones suelo/planta/fertilizante cualquiera sea el manejo nutricional en uso, también hay que reconocer lo laborioso y caro que resulta como rutina de laboratorio y la falta de inmediatez entre la identificación de la situación que motiva el análisis y la disponibilidad de sus resultados, para la correspondiente toma de decisiones; además de que la cuantificación de la clorofila brinda información directa sobre la fotosíntesis y la productividad primaria (7,8).

Así, en la literatura científica ya se registran numerosos estudios acerca de la relación entre la cuantificación de la clorofila en hojas y los contenidos foliares principalmente de nitrógeno (1,6) y, en menor medida, de magnesio y de hierro, no solo en especies de interés alimentario sino también en el estudio de especies en peligro de extinción, que demandan métodos no destructivos de análisis (9) y en investigaciones sobre tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) utilizado como cultivo energético (10).

La determinación fotométrica (10,11) se basa en la relación entre la transmitancia de la hoja, a dos longitudes de onda: 650 nm, donde es característica la absorción por los pigmentos fotosintéticos y 940 nm, donde no ocurre ese fenómeno. Con base en la Ley de Lambert-Beer, dicho cociente, denominado Índice de Contenido de Clorofila, se cuantifica en unidades

SPAD (*Soil Plant Analysis Division*, acrónimo en inglés de la organización que desarrolló el método).

Como las clorofilas *a* y *b* son los pigmentos dominantes o de mayor absorción a 650 nm, se asume que la cuantificación en unidades SPAD es proporcional a la concentración foliar de clorofila. Así, los resultados en unidades SPAD, se han correlacionado positivamente con el contenido total de clorofila, en un amplio rango de estudios que incluyen a diferentes especies (11,12), lo que explicaría que muchas veces, durante la interpretación de datos obtenidos con clorofilómetros, se hable genéricamente de contenido de clorofila, tal y como sucede en la agricultura tabacalera cubana (13).

De esa forma, la medición con clorofilómetro se convierte en un método de análisis foliar, que detecta la especie química en estudio [la clorofila], sin interferencia o cuantificación de otras que no resulten de interés, con adecuada relación entre los resultados que aporta y el estatus nutricional de las plantas en diversas condiciones (1-4,6,12,13), con exactitud y precisión y de manera rápida y fácil. Estos son los criterios de validación propuestos por Bray (1948) y citados (14), sobre los requisitos a cumplir por un método analítico confiable en análisis de suelos, extrapolables en este caso al análisis foliar.

En el caso del tabaco, el análisis de clorofila, además de informar sobre el contenido nutricional de las hojas también es útil para anticipar la posible respuesta de dicho órgano en términos de calidad comercial obtenida (12), ante las condiciones a que se le somete durante los procesos de curado y beneficio que suceden a la recolección de cada piso foliar y se conoce la relación existente, entre el estado de madurez técnica de las hojas ~aptitud para la cosecha~ y su contenido de clorofila (13,15).

Sin embargo, el resultado de la cuantificación de la clorofila foliar, también es influido por las condiciones ambientales presentes al momento de la toma de las lecturas fotoeléctricas ~humedad relativa; intensidad de la radiación solar incidente y temperatura,~ así como por aspectos del manejo agronómico como la densidad de plantación, la fuente de suministro de nitrógeno a las plantas y la magnitud de los efectos de las plagas sobre las mismas (6,16).

Por eso es necesario que las relaciones entre el contenido foliar de clorofila y otros indicadores de respuesta vegetal, como el rendimiento agrícola y la concentración de nutrimentos en órganos de la planta, se establezcan de manera específica para especies, variedades y condiciones de manejo agronómico.

Por otra parte, en los suelos Ferralíticos Rojos de la zona de Partido, provincia Artemisa, una de las más importantes para la industria tabacalera cubana, con estatus de Denominación de Origen Protegida (17), se ha reducido la producción de capa de tabaco negro tapado para puros de exportación, debido a

procesos de alcalinización cuyos efectos llevaron a evaluar la aplicación de turba ácida, como alternativa adecuada, para disminuir el pH de los suelos y mejorar la respuesta productiva (18).

Como la enmienda edáfica también influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas ~cultivar cubano ‘Criollo 98’ bajo tapado~, se puede describir su efecto en los contenidos de clorofila foliar, a lo largo del ciclo de cosecha y también, caracterizar la relación entre el contenido foliar de clorofila por piso foliar cosechado y la respuesta productiva ~calidad exportable~ a la enmienda edáfica con turba ácida: a ese objetivo respondió el trabajo realizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló durante cuatro campañas (zafra tabacalera + beneficio) consecutivas entre 2012 y 2016, en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Felipe Herrera Acea”, ubicada en Alquizar, provincia Artemisa y perteneciente a la Empresa Tabacalera “Lázaro Peña”, del Ministerio de la Agricultura cubano.

El clima de la región clasifica como tropical subhúmedo (19), con una estación lluviosa con precipitación media anual de 1500 mm y una poco lluviosa, adecuada para la siembra y el cultivo de tabaco, con acumulados que oscilan entre 300 y 350 mm al año. En cuanto al régimen térmico, se registran temperaturas medias anuales de 24,7°C, con temperaturas promedio, máxima de 29,8 °C y mínima de 19,7°C.

El marco de plantación fue de 0,90 x 0,30 m y se utilizaron posturas en cepellón del cultivar de tabaco negro ‘Criollo-98’, afectado en la expresión de su potencial productivo por la alcalinización de suelos tabacaleros en la zona de Partido (18,20).

La preparación de los suelos (agrupamiento Ferralítico Rojo (21)) y las atenciones culturales, se ejecutaron de acuerdo con lo establecido en el Instructivo Técnico para el cultivo del tabaco tapado en Cuba (22).

Los tratamientos se dispusieron en parcelas de 320 m² y se replicaron cuatro veces en cada zafra tabacalera; se distribuyeron según diseño de bloques al azar. Los tratamientos en estudio se presentan en la Tabla I.

Se tomaron cada año muestras de suelo para análisis de pH (H₂O) y para caracterizar el efecto de la enmienda en la clasificación del suelo según su acidez (23), al momento del trasplante, ya incorporada la turba ácida en los tratamientos correspondientes. Se tomaron 4 muestras compuestas de 1 kg por variante experimental.

Tabla I. Tratamientos para evaluar la respuesta de tabaco ‘Criollo 98’ a la enmienda con turba ácida, de suelos Ferralíticos Rojos de la zona de Partido, provincia Artemisa

Tratamiento	Dosis de turba ácida (m ³ ha ⁻¹)
1	0
2	15
3	30
4	45
5	60

La turba ácida, procedente de la turbera “Caimanera”, ubicada al sur de la provincia Pinar del Río (municipio San Luis), se incorporó al suelo de forma manual en cada año y por parcela, antes del trasplante. Los análisis de laboratorio (6 muestras compuestas) informan como caracterización química, valores promedio de 0,77 % de P; 0,20 % de K; 0,04 % de Na; 0,12 % de Mg; 2,68 % de Ca; 1,51 % de N y 21,87 % de materia orgánica, además de pH = 5,20 .

VARIABLES DE RESPUESTA Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

a) Determinación del contenido de clorofila

Se empleó un clorofilómetro de la marca japonesa Minolta, modelo SPAD-502. Las mediciones (unidades SPAD) se efectuaron inmediatamente antes de la cosecha de cada piso foliar (sucesivamente y en orden ascendente, libre de pie; uno y medio; centro ligero; centro fino; centro gordo y corona), directamente en el limbo de las hojas y en un punto entre el centro y el ápice de las mismas (22). Se tomaron 20 lecturas al azar por variante experimental (cinco en cada réplica) en cada campaña.

Se comprobó la falta de diferencias estadísticas entre réplicas de la misma variante en cada año y entre los años para cada variante. Como procesamiento de la información, se realizó análisis de varianza de clasificación doble para precisar el efecto de la enmienda edáfica en la citada propiedad vegetal y la prueba de Duncan para la separación de medias estadísticamente diferentes. La información de cada variante en estudio, se presenta como valor promedio para todo el período experimental y por piso foliar cosechado.

Se realizaron análisis de regresión a) para modelar con funciones cuadráticas, la relación contenido foliar de clorofila/dosis de turba ácida, para cada piso foliar y b) para modelar la relación lineal ascendente, del contenido foliar de clorofila desde libre de pie a corona, para cada uno de los tratamientos incluidos en el esquema experimental.

b) Porcentaje obtenido de producción con calidad comercial exportable

En cada campaña y para cada réplica por variante experimental, se calculó el porcentaje de producción con calidad exportable respecto a la producción total obtenida, a partir del manejo postcosecha de acuerdo a las normas y especificaciones vigentes en Cuba (13,15,22).

Se realizó análisis de regresión entre la respuesta productiva (% de calidad comercial exportable) y la enmienda edáfica (dosis de turba ácida), para modelar la tendencia de la respuesta vegetal.

Igualmente se descartó la existencia de diferencia estadística entre réplicas para cada variante en cada año y entre años, para los resultados de cada variante. Para el procesamiento estadístico ~análisis de varianza de clasificación doble~ se transformaron los datos de x a $2 \arccos \sqrt{x}$, donde x es el porcentaje de producción de capa para puros de exportación, respecto a la producción total obtenida. Los resultados que se presentan, también corresponden al valor promedio de cada variante en estudio, para las cuatro campañas de evaluación experimental.

c) Relación funcional entre contenido de clorofila foliar y porcentaje de producción con calidad comercial exportable

A partir de las indicaciones metodológicas para el cálculo de niveles críticos (24), se modeló matemáticamente la relación unidades SPAD de clorofila foliar/% de calidad comercial exportable, con el objetivo de establecer el valor crítico de la determinación fotométrica para cada piso foliar.

Como valor de referencia máximo para el cálculo del porcentaje de Rendimiento Relativo (% RR), se consideró el promedio de las mejores respuestas obtenidas para el porcentaje de producción con calidad exportable, según la evaluación estadística de las réplicas de las variantes en estudio y para el total de campañas (24,25).

Cada nivel crítico propuesto, se calculó a partir de 20 pares de valores (SPAD/%RR) y se acompaña de su correspondiente coeficiente de determinación (R^2).

Todo el procesamiento de datos se realizó mediante el software *IBM SPSS Statistics* versión 20 y la hoja de cálculo *Microsoft Excel*, en ambiente *Windows 7*. Para cada análisis de regresión, se realizó el análisis de varianza correspondiente y se calculó e informa el coeficiente de determinación (R^2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH del suelo permitió caracterizarlo al momento del trasplante como ligeramente alcalino (rango: 7,81 a 7,87 para la totalidad de las campañas) en las parcelas sin incorporación de turba ácida y como neutral (rango: $7,31 \pm 0,02$ a $7,58 \pm 0,02$ para todas las campañas) en las parcelas en que se realizó la enmienda edáfica. Los valores de la determinación fotométrica se muestran en la Tabla II. Hay una respuesta evidente a la enmienda edáfica, en términos de contenido foliar de clorofila, de acuerdo con la antes comentada interpretación sobre las unidades SPAD (11,12), que alcanza sus valores máximos con las dosis de 45 y $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, según la prueba estadística.

Si se considera que para tabaco en Cuba, se asume que valores SPAD en hojas a partir de 39 unidades indican contenidos del pigmento asociables al estado de madurez técnica óptima (22,26), se puede afirmar que, según los valores que aparecen en la Tabla II, cada piso foliar fue cosechado oportunamente, en términos de crecimiento y desarrollo de las hojas y de estado fisiológico de la planta. La tendencia de la respuesta obtenida para cada piso foliar, se puede describir según las ecuaciones cuadráticas de la Tabla III.

Tabla II. Efectos de la enmienda edáfica sobre el contenido de clorofila foliar en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) negro tapado 'Criollo 98', cultivado en la zona de Partido, provincia Artemisa

Turba ácida [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$]	Clorofila [unidades spad] por piso foliar					
	Libre de pie 60 ddt	Uno y medio 67 ddt	Centro ligero 74 ddt	Centro fino 81 ddt	Centro gordo 86 ddt	Corona 90 ddt
0	40 ^c	40,4 ^d	43,07 ^d	45,2 ^d	48,2 ^c	49,1 ^c
15	40,3 ^b	40,9 ^c	43,8 ^c	46,4 ^c	48,4 ^{bc}	49,3 ^c
30	40,5 ^b	41,4 ^b	44,2 ^b	47,15 ^b	48,6 ^b	49,7 ^b
45	40,8 ^a	41,9 ^a	44,8 ^a	47,6 ^a	49 ^a	50,2 ^a
60	40,8 ^a	41,9 ^a	44,8 ^a	47,5 ^a	48,9 ^a	50,15 ^a
E. S. [X] [* = 0,05]	0,0782*	0,1386*	0,1536*	0,2075*	0,0777*	0,1073*

ddt: días desde el trasplante hasta recolección; letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según Prueba de Duncan para $p \leq 0,05$

Tabla III. Relación contenido de clorofila foliar (unidades SPAD) vs enmienda edáfica ($m^3 ha^{-1}$) por piso foliar cosechado en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) negro tapado 'Criollo 98'

Piso foliar	Ecuación	R ²
Libre de pie	$y = -0,0002x^2 + 0,0238x + 39,995$	0,78**
Uno y medio	$y = -0,0003x^2 + 0,0457x + 40,357$	0,92**
Centro ligero	$y = -0,0004x^2 + 0,0535x + 43,066$	0,93**
Centro fino	$y = -0,0009x^2 + 0,0939x + 45,196$	0,97**
Centro gordo	$y = -0,0001x^2 + 0,021x + 48,163$	0,72**
Corona	$y = -0,0001x^2 + 0,0276x + 49,033$	0,83**

**estadísticamente significativo para $p \leq 0,01$ según Prueba de Duncan

Nótese que la respuesta a la enmienda edáfica exhibe un patrón único para el cultivar, con independencia del momento en que se tomaron las lecturas fotométricas, lo que se hizo entre los 60 y los 90 días después del trasplante y antes de cosechar cada piso foliar.

Los valores calculados para el coeficiente de determinación de los modelos cuadráticos validan su elección para describir la tendencia de esa respuesta vegetal. Los mismos indican que las dosis de turba ácida fueron correctamente seleccionadas y, además, que la velocidad de descomposición del enmendante en el suelo, no es directamente proporcional a la cantidad incorporada del mismo.

Si no hay una relación lineal entre lecturas SPAD y enmienda edáfica es porque los procesos químicos, físicos, biológicos y físico-químicos que describen la interacción turba ácida/suelo y determinan en buena medida el efecto de la enmienda sobre la respuesta vegetal, transcurren de manera regulada, bajo la influencia de factores externos como la temperatura, las precipitaciones y el manejo agronómico de las plantaciones. Se alcanza una tasa de mineralización, que a la vez que aporta nutrientes, también satisface la demanda de energía, carbono y minerales de las sucesivas poblaciones de microorganismos presentes en el suelo. Por esa razón los portadores de materia orgánica incorporados a los suelos como enmienda son considerados fertilizantes de liberación lenta (27).

El efecto de la enmienda edáfica sobre el pH del suelo, se evidenció en que los suelos enmendados pasaron de la clasificación como *medianamente alcalinos*, de la variante testigo o no enmendada similar a la de suelos Ferralíticos Rojos degradados en el occidente cubano (28,29), a clasificar como *neutrales*, con independencia de la cantidad de turba incorporada al suelo, lo que avala la anterior interpretación sobre la interacción turba ácida/suelo.

Pero la degradación del suelo no solo se expresa en la elevación del pH: se manifiestan otros efectos

limitantes de la productividad de ese recurso natural en la zona en estudio, como la compactación, el mal drenaje y la disminución del contenido de materia orgánica (28,30,31). Esos efectos son contrarrestados con la enmienda edáfica; la turba, como portador de materia orgánica influye positivamente en la porosidad, la retención de humedad y la estabilidad de los agregados; también disminuye la densidad *bulk* y aporta nutrientes al suelo (32), lo que se expresó en la respuesta vegetal obtenida.

También se observa en la Tabla II que, con independencia de la dosis de turba ácida aplicada al suelo para reducir su pH, los valores de la variable respuesta aumentan entre pisos foliares, desde libre de pie hasta corona y que las mayores diferencias se dan entre pisos foliares para cada nivel de enmienda y no entre las dosis de turba manejadas, para cada piso foliar. Esa tendencia se describe con los modelos de regresión lineal que aparecen en la Tabla IV.

Tabla IV. Análisis de regresión lineal del contenido foliar de clorofila [unidades SPAD] vs tiempo [días] de cosecha, de libre de pie a corona en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) negro tapado 'Criollo 98'

Turba ácida ($m^3 ha^{-1}$)	Ecuación	R ²
0	$y = 0,328 x + 38,97$	0,96**
15	$y = 0,326 x + 39,53$	0,98**
30	$y = 0,333 x + 39,87$	0,98**
45	$y = 0,333 x + 40,29$	0,99**
60	$y = 0,330 x + 40,30$	0,99**

** estadísticamente significativo para $p \leq 0,01$ según Prueba de Duncan

Hay una fuerte correlación entre ambas variables, que no depende ni de la aplicación o no de turba ácida, ni del valor establecido para la enmienda edáfica.

Queda descrito un patrón de respuesta en términos de contenido de clorofila foliar a lo largo de la cosecha ~obsérvense los valores del coeficiente de regresión~, para las condiciones de manejo agronómico creadas en la zona de Partido: corona > centro gordo > centro fino > centro ligero > uno y medio > libre de pie, que constituye la primera referencia de su tipo para el cultivar 'Criollo 98', en la misma.

Las diferencias entre pisos foliares se deben esencialmente a que éstos no se recolectan de forma simultánea y en la medida en que continua el ciclo vegetal durante la cosecha escalonada, factores como el tapado de la plantación, el consumo de nutrientes, el desbotonado y deshije, la fertilización foliar con $Mg(NO_3)_2$ a los 40 ddt según instructivos técnicos vigentes (22,33) inciden en la síntesis y/o redistribución de nutrientes y sustancias que definen la composición química (clorofila incluida) de las hojas remanentes en la planta.

Si se considera que por ser la hoja el objetivo principal de producción del cultivo del tabaco, el manejo agronómico de las plantaciones se dirige a que la planta acumule tanta biomasa como sea posible en ese órgano (22,33), que la aptitud para cosecha según el contenido foliar de clorofila (26), también supone una plantación en estado óptimo de desarrollo y, la relación que hay entre la capacidad fotosintética de las hojas y su contenido de nitrógeno (2), se entenderá el papel de la continua absorción y traslación de nutrimentos propia del crecimiento y desarrollo de las plantas, en el aumento del contenido de clorofila foliar, a lo largo de la cosecha tabacalera.

La variación en el tiempo del contenido foliar de clorofila, también ha sido reportada en otras especies agrícolas, como trigo [*Triticum durum* L.], soya y cártamo [*Carthamus tinctorius* L.] (3,5,34).

Para tabaco es descrita también en sentido creciente desde las hojas inferiores a las superiores (35,36), en relación con el crecimiento de las hojas y con la variación de su contenido de nitrógeno, para fundamentar la interpretación de la lectura fotométrica, como indicador del estatus nutrimental de la planta.

Igualmente se asocia al contenido de clorofila, con la absorción por la planta de magnesio elemento constituyente de la molécula del pigmento (37) y de hierro, micronutriente que participa en su síntesis (38), así como de fósforo, en tanto la energía obtenida a través de la fotosíntesis y del metabolismo de compuestos del carbono, se almacena y transporta fundamentalmente en compuestos fosforados, (39).

Los resultados obtenidos con la enmienda edáfica son congruentes con reportes sobre el empleo de turba ácida en ensayos conducidos en el Instituto de Investigaciones del Tabaco, para la corrección del pH en suelos Ferralíticos Rojos de la zona de Partido, con empleo de tabaco como planta índice (40); el patrón uniforme de respuesta vegetal y de cambios en el pH, obtenido a lo largo de las cuatro zafras tabacaleras incluidas en este estudio, no deja dudas sobre el favorable efecto de la enmienda, como único factor de variación del esquema experimental.

Téngase en cuenta que la incorporación al suelo del portador de materia orgánica, junto a la aplicación de la fertilización establecida para áreas tabacaleras (22,33), condiciona una nutrición de base organomineral, práctica de manejo agronómico de carácter conservacionista y como tal, válida en el manejo de suelos degradados como es el caso (30,31), además de favorable al crecimiento y desarrollo de las especies cultivadas (32, 41).

La respuesta vegetal en términos de contenido foliar de clorofila es punto de partida o garantía de la futura calidad comercial de la producción obtenida, porque condiciona la respuesta de las hojas, ante el estrés postcosecha que implican los sucesivos procesos de curación bajo temperatura y humedad

controladas, de fermentación natural y de humectación controlada (22), que preceden a su selección y clasificación comercial como capa para exportación, capa para consumo nacional y tripa para cigarrería, (13).

Cuando ese contenido es igual o superior a 39 unidades SPAD, luego de su acopio y beneficio, las hojas alcanzan una tonalidad marrón variable pero sin manchas ni vetas, espesor delgado y notable elasticidad, de acuerdo a los criterios vigentes en la agroindustria tabacalera cubana (15,42).

Ésa relación clorofila/calidad para el cultivar 'Criollo 98', se expresa en el hecho de que la respuesta productiva a la enmienda edáfica [X], en términos de porcentaje de producción con calidad comercial exportable [Y], describe matemáticamente una tendencia similar a la de la determinación de clorofila por piso foliar Tabla III, según la ecuación:

$$Y = -0,0026 X^2 + 0,3286 X + 22,83$$

$$R^2 = 0,98^{**}$$

En la Tabla V, se presenta información sobre la respuesta productiva, como tradicionalmente se evalúa en la zona de Partido (% de producción como capa para puros de exportación). Nótese cómo se repite el orden de mérito obtenido para las dosis de turba ácida, que se observa en la Tabla II. La mejor respuesta productiva, estadísticamente justificada, se logra con las dosis de 45 y 60 m³ ha⁻¹, lo que igualmente fundamenta la recomendación de la dosis inferior, como parte del manejo agronómico en las condiciones estudiadas.

Tabla V. Efecto de la enmienda edáfica con turba ácida sobre la calidad comercial de la producción de tabaco (*Nicotina tabacum* L.) negro tapado 'Criollo 98' cultivado en la zona de Partido, provincia Artemisa

Turba ácida [m ³ ha ⁻¹]	PRODUCCIÓN CON CALIDAD COMERCIAL EXPORTABLE [%]	
	valor real	valor transformado
0	23	1,00 ^d
15	26,9	1,09 ^c
30	30	1,16 ^b
45	33,2	1,23 ^a
60	33	1,22 ^a
E.E. _y [* = 0,05]	-	0,0198*

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según Prueba de Duncan para p ≤ 0,05

La enmienda de los suelos ha posibilitado la mejora de la calidad comercial de la producción, algo congruente con el estatus de Denominación de Origen Protegida que ostenta la zona de Partido, que tributa alrededor del 60 % del tabaco para capa de puros de exportación en Cuba.

Un incremento del 10 % en la producción de capa con calidad exportable en una zona en la que los rendimientos agrícolas para tabaco, de acuerdo con los registros de la UBPC "Felipe Herrera Acea" oscilan entre 1,0 y 1,5 t ha⁻¹ puede representar a partir de los porcentajes obtenidos del tratamiento sin enmienda (23 %) y del tratamiento con 45 m³ ha⁻¹ (33,2 %) una diferencia de producción neta a favor de la enmienda, estimada en 130 kg ha⁻¹ de capa para puros de exportación.

La información presentada en las Tablas II, III y V fundamentó la evaluación de la relación funcional existente, entre contenido foliar de clorofila por piso foliar y % de producción con calidad comercial exportable obtenida, para proponer valores críticos de la determinación fotométrica, por piso foliar. Esa evaluación aparece en la Tabla VI.

Tabla VI. Valores críticos de contenido de clorofila por piso foliar (unidades SPAD), asociados a la obtención de no menos de un 30 % de producción con calidad comercial exportable, en plantaciones de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) negro tapado 'Criollo 98' en la zona de Partido, provincia de Artemisa

Piso Foliar Tabaco Negro Tapado 'CRIOLLO 98'	Clorofila Foliar como indicador de madurez técnica	
	Valor mínimo admisible	R ²
LIBRE de PIE	40,5	0,74
UNO y MEDIO	41,2	0,80
CENTRO LIGERO	44,2	0,73
CENTRO FINO	47	0,78
CENTRO GORDO	48,7	0,74
CORONA	49,5	0,80

El rango de valores recomendados es congruente con la ya argumentada variación entre cosechas en las lecturas con el clorofilómetro, lo que coincide con resultados en que se informan variaciones en la determinación de clorofila, con el crecimiento y desarrollo de las plantas (9,36). Al nivel crítico de clorofila foliar, se le reconoce utilidad para el manejo de la nutrición de las especies cultivadas y como alternativa de uso de las mediciones de clorofila en unidades SPAD (43).

Los valores obtenidos para el coeficiente de determinación son adecuados respecto a la propuesta de niveles críticos (24,44), a la vez que congruentes con la versatilidad reconocida al citado procedimiento de separación de datos en dos poblaciones (25); constituyen el primer reporte de su tipo para el cultivar 'Criollo 98' en las condiciones biofísicas de la zona de Partido.

Como tal, también aportan elementos sobre la conveniencia del uso de las determinaciones fotométricas de clorofila, como parte del manejo de otras especies de interés agrícola, en el mismo escenario agroproductivo, basado en evidencias como que el contenido foliar de clorofila es un importante indicador del estatus fisiológico de las plantas y que su variación puede considerarse como una respuesta vegetal ante el estrés ambiental (16,45) o en la existencia de relaciones entre contenido de clorofila en unidades SPAD de una parte, y el estatus hídrico de las hojas, la actividad microbiana, el nivel de humedad y la disponibilidad de nutrientes, influidos por los procesos que transcurren en los suelos como consecuencia del sistema de labranza puesto en práctica, de la otra (46).

Debe señalarse que los niveles críticos foliares de clorofila que se proponen como referencia, sólo resultan alcanzables a través de un manejo agronómico del cultivar que destaque por el estricto cumplimiento de la disciplina tecnológica (22,42), a partir de la indispensable corrección del pH de los suelos, por lo que podrían ser utilizados igualmente, como indicadores de calidad, en las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantaciones, dado el complejo conjunto de procesos fisiológicos y de mecanismos bioquímicos, involucrados en la construcción y mantenimiento de sistemas fotosintéticos eficientes en las plantas (47), que se pueden monitorear directa o indirectamente a través de estas lecturas fotométricas.

CONCLUSIONES

- ◆ Los cambios inducidos por enmienda con turba ácida, en suelos tabacaleros Ferralíticos Rojos de la zona de Partido afectados en su agroproductividad por la alcalinización, se expresan en aumentos del contenido de clorofila foliar y de la producción con calidad exportable, en siembras del cultivar de tabaco negro 'Criollo 98'.
- ◆ Los pisos foliares del cultivar 'Criollo 98' se ordenan respecto a su contenido de clorofila, en sentido contrario al de su recolección: corona > centro gordo > centro fino > centro ligero > uno y medio > libre de pie.
- ◆ La aplicación de 45 m³ ha⁻¹ de turba ácida como enmienda antes del trasplante, es suficiente para la obtención de los mayores contenidos de clorofila para cada piso foliar y la mejor calidad comercial del tabaco cosechado.
- ◆ Se proponen valores críticos para el contenido de clorofila (unidades SPAD) en cada piso foliar, asociados a la obtención de no menos de un 30 % de producción con calidad comercial exportable y adecuados para dar seguimiento al manejo agronómico de las plantaciones de este cultivar en la zona de Partido, municipio Alquizar, provincia Artemisa.

RECOMENDACIONES

Estudiar la interacción turba ácida/suelo en experimentos de incubación, para conocer de otros posibles efectos o usos de la enmienda edáfica, en el manejo agronómico del tabaco.

Socializar el empleo de los niveles críticos determinados, en el manejo de plantaciones tabacaleras en la zona de Partido.

Realizar estudios similares para la determinación del nivel crítico foliar de clorofila, en otros cultivares y agroecosistemas tabacaleros.

AGRADECIMIENTOS

Gratitud y gran reconocimiento a la administración y los trabajadores de la UBPC “Felipe Herrera Acea”, sin cuya contribución y colaboración este proyecto no hubiera sido posible; al Instituto de Investigaciones del Tabaco, por todo el apoyo brindado y al Dr.C. Adriano Cabrera Rodríguez, por el valioso aporte de las herramientas para el procesamiento matemático de parte de la información.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bielinis, E, Jozwiak ,W, Robakowski ,P. Modelling of the relationship between the SPAD values and photosynthetic pigments content in *Quercus petraea* and *Prunus serotina* leaves. *Dendrobiology*. 2015;73:125-34. doi:10.12657/denbio.073.013
2. Latsague M, Sáez P, Mora M. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f. *Gayana. Botánica*. 2014;71(1):37-42. doi:10.4067/S0717-66432014000100007
3. Wang G, Bronson KF, Thorp KR, Mon J, Badaruddin M. Multiple leaf measurements improve effectiveness of chlorophyll meter for *Durum wheat* nitrogen management. *Crop Science*. 2014;54(2):817. doi:10.2135/cropsci2013.03.0160
4. Peña MT, Thompson RB, Martínez-Gaytán C, Gallardo C, Giménez M. Sistemas ópticos de monitorización del estado del nitrógeno en melón. *Actas de Horticultura*. 2012;60:820-4.
5. Saadpanah A, Rokhzadi A, Mohammadi K. Growth response of soybean to the application of *Bradyrhizobium japonicum* and foliar methanol spraying in field conditions. *International Journal of Biosciences*. 2013;3:128–34.
6. Xiong D, Chen J, Yu T, Gao W, Ling X, Li Y, et al. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific Reports*. 2015;5(1). doi:10.1038/srep13389
7. Correndo A, García F. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. *Archivo Agronómico [International Plant Nutrition Institute]*. 2012;14:1 – 8.
8. Lin C, Popescu SC, Huang SC, Chang PT, Wen HL. A novel reflectance-based model for evaluating chlorophyll concentrations of fresh and water-stressed leaves. *Biogeosciences*. 2015;12(1):49-66. doi:https://doi.org/10.5194/bg-12-49-2015
9. Ruttanaprasert R, Jogloy S, Vorasoot S, Kesmla T, Kanwar RS, Holbrook CC. Relationship between chlorophyll density and spad chlorophyll meter reading for Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L. SABRAO *Journal of Breeding and Genetics*. 2012;44(1):149-62.
10. Altuna A. Evaluación del uso de variedades comerciales de tabaco transformadas con el gen de la tiorredoxina f como posible cultivo energético para la producción de bioetanol. [España]: Universidad Pública de Navarra; 2012. 132 p.
11. Pereyra MS, Davidenco V, Núñez SB, Argüello JA. Chlorophyll content estimation in oregano leaves using a portable chlorophyll meter: relationship with mesophyll thickness and leaf age. *Agronomía & Ambiente*. 2014;34(1-2):77-84.
12. Ligoska A, Kowalczyk-Jusko A, Kosciak B. Possible use of the chlorophyll meter [SPAD-502] for evaluating nitrogen nutrition of the Virginia tobacco. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Series Agronomy*. 2002;1(05).
13. Izquierdo A, Borges A. Diagnóstico del momento de recolección del tabaco negro variedad ‘Corojo’99 mediante el índice de madurez técnica. *Cuba Tabaco*. 2010;11(1):3-9.
14. Arozarena NJ. Criterios para el manejo sostenible de la nutrición vegetal en la agrotecnología zeopónica [Tesis de Doctorado]. [La Habana, Cuba]: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”; 1999. 102 p.
15. Valladares Díaz R. Instructivo para el acopio y beneficio del tabaco negro tapado. La Habana: Agrinfor; 2003.
16. Huang J, Zhang J. Changes in the photosynthetic characteristics of cotton leaves infested by invasive mealybugs tended by native ant species. *Arthropod-Plant Interactions*. 2016;10(2):161-9. doi:10.1007/s11829-016-9418-z
17. MINAG. Reglamento de la Denominación de Origen Protegida Habanos y de las restantes denominaciones de origen tabacaleras cubanas. [Resolución no. 201/2009]. La Habana ,Cuba; 2009. 30 p.
18. Ricote O, Trémols AJ, Arozarena NJ, Trujillo A. Recuperación de la calidad de suelos tabacaleros Ferralíticos Rojos en la provincia de Artemisa: la oportunidad de la turba ácida. En: XX Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Mayabeque, Cuba; 2016. [CD-Rom]. Memorias.
19. Hoyos R, Gutiérrez Tde J, Peñate M. Estudio de las características agroclimáticas de la zona de Partido en el occidente de Cuba, aplicado al cultivo de tabaco negro tapado. *Cuba Tabaco*. 2010;11(1):10-23.
20. Monzón L, Trémols AJ, Álvarez L, Díaz M, Reyes D. Estrategia varietal para enfrentar la degradación química de los suelos de la zona tabacalera de Partido. En: XX Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Mayabeque, Cuba; 2016. [CD-Rom]. Memorias.

21. Hernández, A, Pérez J, Castro, N, Bosch, D. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA; 2015. 91 p.
22. Colectivo de autores. Instructivo Técnico para el Cultivo del Tabaco Tapado en Cuba. AGRINFOR; 2012. 148 p.
23. Norma Cubana. Calidad del Suelo. Determinación de pH [NC ISO 10390]. Oficina Nacional de Normalización (NC); 1999. 11 p.
24. Cate RB, Nelson LA. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes 1. Soil Science Society of America Journal. 1971;35(4):658-60. doi:10.2136/sssaj1971.03615995003500040048x
25. Mangiafico SS. Cate-Nelson Analysis for bivariate data Using R-project. Journal of Extension [Internet]. 2013 [citado 16 de marzo de 2018];51(5). Disponible en: <https://www.joe.org/joe/2013october/tt1.php>
26. Borges A, Izquierdo A, Hernández B, León Y. La clorofila foliar como criterio para recolectar el tabaco Negro *Nicotiana tabacum* L. Var. «Corojo 99» cultivada bajo tela. Cuba Tabaco. 2007;8(1):3-9.
27. Lino A, Arozarena NJ, Dibut B, Ríos Y, Croche G, Fernández J, et al. Cultivo Protegido sobre suelos Ferralíticos Rojos. II) Alternativas nutricionales de menor impacto ambiental para el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) y pepino (*Cucumis sativus*, L). Agrotecnia de Cuba. 2006;30(2):1-12.
28. Hernández A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO, et al. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de la "Llanura Roja de La Habana", por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2014. 156 p.
29. Febles-González JM, Vega-Carreño MB, Do Amaral-Sobrinho NMB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo XB. Good Soils in Extinction: Degradation of Red Ferralitic Soils in Western Cuba. Soil Science. 2014;179(6):304. doi:10.1097/SS.0000000000000070
30. Ricote-Jorge Ó, Monzón-Herrera L, Villalón-Hoffmann A. Degradation of Red Ferralitic (Rhodic Ferralsol) tobacco soils in the Artemisa province, Cuba. Acta Agronómica. 2017;66(1):88-94. doi:10.15446/acag.v66n1.52771
31. Cánepa Ramos Y, González T, J A, González Mederos A, Hernández Jiménez A. Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa Lázaro Peña de la provincia Artemisa. Cultivos Tropicales. 2015;36(1):80-5.
32. Dey A, Dasgupt S, Bhattacharya S, Chaitanya AK, Pati S, Pal B. Soil physical fertility and performance of potato crop as affected by integration of organic and inorganic fertilizers in new alluvial soil of West Bengal. Journal of Crop and Weed. 2015;11(1):132-7.
33. Instituto de Investigaciones del Tabaco - MINAG. Guía para el cultivo del tabaco. San Antonio de los Baños (La Habana): Instituto de Investigaciones del Tabaco; 2011. 59 p.
34. Khaki-Moghadam A. Growth and yield parameters of safflower (*Carthamus tinctorius*) as influenced by foliar methanol application under well-watered and water deficit conditions. Environmental and Experimental Biology. 2015;13:93-97.
35. Hoyos V. Respuesta fisiológica y de producción del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila [Tesis de Magister en Ciencias Agrarias]. Facultad de Agronomía/Universidad Nacional de Colombia; 2013. 116 p.
36. Wang Q, Xi L, Ren Y, Ma X. Determination of tobacco leaf maturity degree based on computer vision technology. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2012;28(4):175-9.
37. Cakmak I, Yazici AM. Magnesium: a forgotten element in crop production. Better Crops with Plant Food. 2010;94(2):23-5.
38. Zevada, KJ. Aplicación de nitrógeno y magnesio para estimular el contenido de clorofila y los parámetros de crecimiento en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), bajo condiciones de invernadero. [Trabajo de Diploma]. [Obregón, México]: Instituto Tecnológico de Sonora; 2005. 84 p.
39. Aznar Antoñanzas Y. Caracterización fisiológica del Bitter Pit: aspectos nutricionales, fenológicos y de diagnóstico [Internet] [Tesis de Doctorado]. Estación Experimental del Aula Dei Zaragoza; 2001 [citado 14 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/2852>
40. Ricote O, Trémols AJ. Efecto de la aplicación de turba ácida sobre el pH de un suelo Ferralítico Rojo y el crecimiento de plántulas de tabaco negro. Cuba Tabaco. 2013;14(2):65-8.
41. Dubey M, Agrawal KK, Ahirwar AD, Ahirwar SK. Rice-berseem cropping system influenced a remarkable effect on growth of different soil micro organisms in different rice based cropping systems. Plant Archives. 2015;15(1):115-8.
42. Espino E. El Habano: de la semilla al puro en 539 pasos. Madrid: GAVD; 2014. 92 p.
43. Villar D, Ortega R. Medidor de clorofila. Bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. Agronomía y Forestal. 2012;(12):4-9.
44. Rodríguez S. Algunas consideraciones necesarias en la aplicación del método de Cate y Nelson para correlacionar el análisis de suelo con la respuesta de la planta. Ciencia y Técnica de la Agricultura (Serie Suelos y Agroquímica). 1980;3(2):5-20.
45. Percival GC, Keary IP, Noviss K. The potential of a Chlorophyll Content SPAD Meter to quantify nutrient stress in foliar tissue of sycamore (*Acer pseudoplatanus*), english oak (*Quercus robur*) and european beech (*Fagus sylvatica*). Arboriculture & Urban Forestry. 2008;34(2):89-100.
46. Mirassón1 HR, Faraldo ML, Fioretti MN, Miravalles M, Brevedan RE. Relaciones entre el índice de verdor y el nivel hídrico foliar en trigo con diferentes sistemas de labranza. Phytion (Buenos Aires). 2010;79(2):183-7.
47. Terashima I, Araya T, Miyazawa S-I, Sone K, Yano S. Construction and Maintenance of the Optimal Photosynthetic Systems of the Leaf, Herbaceous Plant and Tree: an Eco-developmental Treatise. Annals of Botany. 2005;95(3):507-19. doi:10.1093/aob/mci049

Recibido: 31 de enero de 2017

Aceptado: 19 de octubre de 2017