

DETERMINACIÓN DE AZUFRE, BORO Y FÓSFORO EN TEJIDO FOLIAR POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE EMISIÓN POR ACOPLAMIENTO DE PLASMA INDUCTIVO Y DETECCIÓN ÓPTICA

DETERMINATION OF SULFUR, BORON AND PHOSPHORUS IN
LEAF TISSUE BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ATOMIC EMIS-
SION SPECTROMETRY

Adrián Pachacama S.¹ & Yolanda Jibaja A.¹

PALABRAS CLAVES: Espectrofotometría, fósforo, azufre, boro,
ICP-OES, tejido foliar

KEYWORDS: Spectrophotometry, Phosphorus, Sulfur, Boron,
ICP-AES, leaf tissue.

RESUMEN

Las técnicas fotocolorimétricas utilizadas tradicionalmente para la cuantificación de fósforo, azufre y boro, presentan desde el punto de vista analítico serias limitaciones: el tiempo de desarrollo y la escasa estabilidad del color, por ejemplo, dificultan la lectura, así como el empleo de reactivos altamente tóxicos que afectan la salud y la calidad del medio ambiente. Por esta razón en este

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Quito Ecuador (fpachacama@puce.edu.ec), yjibaja@puce.edu.ec).

estudio se optimizó la técnica de espectroscopía de emisión atómica por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica para determinar el contenido de fósforo, azufre y boro en tejido foliar de banano en las variedades Maqueño y Dominico cultivado en la provincia de El Oro y de rosas en las variedades Grandiflora e Híbridas de Té, en cultivos en la provincia de Cotopaxi. La cuantificación de los analitos en los diferentes cultivos y variedades permite conocer si éstos se encuentran o no dentro de los límites establecidos como adecuados para el desarrollo normal de las plantas en lo referente a fósforo, azufre y boro. El contenido promedio de fósforo, azufre y boro en las muestras de banano, variedad Dominico fue de: 0,48 y 0,38% y 44 mg/kg respectivamente; en la variedad Maqueño 0,50 y 0,39% y 44 mg/kg. En el caso de tejido foliar de rosas, en la variedad Grandiflora los valores corresponden a 0,39 y 0,30% y 40 mg/kg para fósforo, azufre y boro; y finalmente para la variedad Híbridas de Té, el contenido de fósforo, azufre y boro fue de 0,46 y 0,36% y 42 mg/kg. Al considerar el número de muestras analizadas, cantidad de reactivos y tiempo empleado se puede concluir que la técnica de espectroscopía de emisión atómica por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica ofrece una serie de ventajas: permite el análisis simultáneo de analitos, presenta una baja susceptibilidad a las interferencias químicas debido a las altas temperaturas de trabajo y por lo tanto los límites alcanzados son adecuados para la cuantificación de fósforo, azufre y boro en tejido foliar.

ABSTRACT

The photocolormetrics techniques traditionally used for quantification of phosphorus, sulfur and boron, presented from the point of view serious analytical limitations: development time and low color stability, for example, difficult to read, and the use of highly reactive toxic affecting health and environmental quality. Therefore in this study the technique of atomic emission spectroscopy was optimized by coupling inductive plasma and optical detection to determine the content of phosphorus, sulfur and boron in leaf tissue of banana in Maqueño and Dominico varieties cultivated in the province of El Oro and roses in the Híbridas de Té and Grandiflora varieties, crops in Cotopaxi province. The quantification of the analytes in the different crops and varieties reveals whether or

not these are within the limits as appropriate for the normal development of the plants in relation to phosphorus, sulfur and boron. The average content of phosphorus, sulfur and boron in the samples of banana Dominico variety was 0,48 and 0,38% and 44 mg/kg respectively, and 0,50 and 0,39% and 44 mg/kg in Maqueño variety. In the case of leaf tissue roses Grandiflora variety in the values correspond to 0,39 and 0,30% and 40 mg/kg for phosphorus, sulfur and boron, and finally for Híbridas de Té variety, the content of phosphorus, sulfur and boron was 0,46 and 0,36% and 42 mg/kg. When considering the number of samples tested, amount of reagents and time taken it can be concluded that the technique of atomic emission spectroscopy by coupling inductive plasma and optical detection offers a number of advantages: it allows the simultaneous analysis of analytes, has a low susceptibility to chemical interferences due to high working temperatures and therefore reached the limits are suitable for quantification of phosphorus, sulfur and boron in leaf tissue.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país netamente agrícol, la agricultura ha sido y es un factor determinante en la dinámica de la economía ecuatoriana, actualmente se ha convertido en un activo estratégico para la mayoría de las naciones en el mundo. Sin embargo, a medida que la agricultura se ha ido desarrollando, los aspectos que giran alrededor de esta actividad, sobre todo su relación con el medio ambiente, la industria, las finanzas, el comercio y los consumidores, se han vuelto más complejos, exigen nuevas políticas de control de calidad y análisis que fortalezcan este recurso y

atiendan adecuadamente las necesidades de la seguridad alimentaria del siglo XXI.

Las excelentes condiciones de orden climático y ecológico que tiene nuestro país, han permitido que pequeños, medianos y grandes productores se dediquen al cultivo, entre otros, de banano y rosas, de tal manera que aseguran la posibilidad de abastecer la demanda mundial los 365 días del año (Proecuador, 2011).

El crecimiento y desarrollo de las plantas están determinados por nu-

merosos factores del suelo y del clima, así como por factores inherentes a las plantas mismas. Algunos de éstos están bajo control del hombre, pero muchos de ellos no. El hombre tiene poco control sobre el aire, la luz y la temperatura, pero puede influir en la provisión de nutrientes del suelo modificando las condiciones del suelo o añadiéndolos en forma de fertilizantes (Sánchez, 2007).

Hay nutrientes que son esenciales para el ciclo de vida de las plantas e intervienen directamente en la nutrición de las mismas, a más de corregir alguna condición desfavorable del suelo o del medio de cultivo (Navarro, 2003).

En la actualidad se considera que hay por lo menos 16 elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. El carbono, hidrógeno y oxígeno son obtenidos del aire y del agua y constituyen el 90% de la materia seca, los elementos restantes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y azufre son requeridos en grandes cantidades y se les denomina macroelementos; los nutrientes que se necesitan en cantidades considerablemente bajas se les denomina

microelementos, se incluyen en ellos al manganeso, hierro, boro, zinc, cobre molibdeno y cloro (Fassbender, 1975). Cuando a las plantas les falta algún nutriente en particular, por lo general aparecen síntomas, por la deficiencia de boro, por ejemplo, las hojas tienden a engrosar y se tornan oscuras, las raíces mueren, los frutos sufren varios trastornos que están relacionados con la desintegración y deformación de los tejidos internos como se observa en las manzanas con "corazón corchoso", remolachas con "corazón podrido" y apios con tallos rotos (Sallisburry, 2000). Es importante conocer y comprender la causa, cuando el aspecto es poco saludable se debe a una enfermedad y en esos casos se puede rociar el fertilizante sobre la planta, pero si se trata de una deficiencia de nutrientes éstos se pueden aplicar al suelo; estas deficiencias aparecen sólo cuando la provisión del elemento es tan escasa que la planta no puede funcionar normalmente. El fósforo, el azufre y el boro cumplen actividades específicas dentro de la planta, la deficiencia de estos elementos produce plantas muy pequeñas, con un color verdinegro asociado con una coloración púrpura en la etapa de creci-

miento y después las plantas se vuelven amarillas (Sanzano, 2008).

La evaluación del nivel de disponibilidad de nutrientes a través del análisis químico de tejido foliar es todavía objeto de estudio en muchos países, actualmente el mercado ofrece equipos con nuevas tecnologías que permiten optimizar las técnicas de análisis para facilitar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y del estado nutricional de los cultivos.

Este análisis consiste en medir el contenido total de los nutrientes presentes en las hojas u otra parte de la planta; se considera actualmente como una referencia indispensable para confirmar los síntomas visuales de la mal nutrición o toxicidad, conocer el estado nutricional de las plantas, complementar el análisis de suelo y como guía de fertilización. Con estos antecedentes es muy importante señalar las razones que motivaron la realización de este trabajo de investigación.

El laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) está comprometido con

el desarrollo agropecuario y económico del país, mediante la prestación de servicios analíticos altamente confiables con el fin de determinar el estado nutricional de los cultivos. Su actividad se ha visto favorecida por el incremento del número de muestras analizadas, siendo en su mayoría las de banano y rosas, que le permiten mejorar su nivel económico. Sin embargo, las técnicas tradicionales de análisis empleadas no son lo suficientemente aptas para el análisis multielemental ni para muestras numerosas. Por estas razones surge la necesidad de implementar una nueva técnica de análisis que ofrezca servicios de análisis químicos de excelente calidad. Con la implementación de la técnica de análisis de espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica, ICP-OES, por sus siglas en inglés, se pretende que el número de análisis por día sea mayor (INIAP, 2000).

Esta técnica de análisis constituye una herramienta esencial que presenta una serie de ventajas respecto a las técnicas tradicionales de análisis. Las fuentes de excitación: llama, arco y chispa, consideradas como

tradicionales presentan una serie de inconvenientes; la temperatura que se alcanza en las llamas, es relativamente baja por lo que resulta difícil sino imposible analizar elementos refractarios o elementos con grandes energías de excitación, los productos de combustión y los gases de la llama dan lugar a interferencias químicas y espectrales; los arcos y las chispas son capaces de proporcionar altas temperaturas de excitación, pero la naturaleza de la descarga eléctrica es afectada por el tipo de muestra, o pequeñas variaciones en la composición pueden originar cambios importantes en las condiciones de excitación. Para tratar de evitar estos inconvenientes se ha desarrollado esta técnica de análisis multielemental, con baja susceptibilidad a las interferencias químicas y con un

amplio rango de trabajo, se puede registrar al mismo tiempo el espectro para docenas de elementos, un aspecto muy importante cuando se dispone de numerosas muestras pero en pequeñas cantidades.

Este trabajo de investigación constituye un estudio pionero en el área del análisis foliar mediante espectroscopía de emisión óptica con acoplamiento de plasma inductivo, se determinaron las mejores condiciones experimentales para el análisis de fósforo, azufre y boro en las hojas de banano y rosas de las variedades empleadas, con miras a su posterior implementación en el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, lugar en el cual se desarrolló este proyecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la cuantificación de los analitos en tejido foliar, se desarrollaron cuatro etapas: muestreo, preparación de la muestra, extracción de los analitos y cuantificación.

Muestreo

El muestreo se realizó en plantaciones de banano ubicadas en la provincia de El Oro y de rosas en la provincia de Cotopaxi. La plantación de banano cuenta con una extensión aproximada de 100 hectáreas, 40

para la variedad Dominico con 1800 plantas y 60 para la variedad Maqueño con 2400 plantas. La plantación de rosas tiene una extensión de 50 hectáreas, en ellas se cultivan las variedades Grandiflora e Híbridas de Té, con 270 plantas cada una.

Para la toma de muestras de hojas de plantas de banano y de rosas se utilizó la metodología del “Manual de toma de muestras del Generalitat Valenciana de Agricultura, Pesca y Alimentación” (Morales, 2011).

El área de cultivo se dividió en parcelas y éstas en subparcelas. Para la selección de las plantas se debe considerar la relación aproximada entre el número de plantas a muestrear en cada subparcela y el número total de plantas de la misma, cuando la subparcela supera las 2500 plantas es conveniente dividirla en subparcelas para efectuar el muestreo; en subparcelas con 1500-2500 plantas, se seleccionaron una de cada 50 para tomar la muestra de banano; para las muestras de rosas se muestrearon una de cada nueve plantas. Una vez seleccionadas las plantas se procedió a tomar las hojas para el análisis. En el caso de las rosas se tomaron aquellas

hojas ubicadas alrededor de cada flor hasta obtener una cantidad mínima de 100 g y en el caso de banano se seleccionó una hoja, la que se encontró a la altura del hombro, de la cual se retiró y descartó la nervadura y el resto se cortó en pedazos de menor tamaño; de cada una de las muestras de rosas se tomó aleatoriamente una hoja para su caracterización física anotando datos respecto a la coloración, tamaño y alguna otra señal particular, en el caso de las muestras de hojas de banano se procedió de manera similar.

Las hojas se transportaron al laboratorio en fundas de papel biodegradable con una etiqueta con los siguientes datos: lugar de muestreo, nombre del colector, fecha, hora y código de identificación de la muestra.

Preparación de las muestras

Las muestras que llegaron al laboratorio se sometieron a un proceso de preparación según los parámetros citados en “Métodos para análisis foliar” (Calderón, 2004).

El tejido foliar se lavó con agua corriente, luego con destilada y se dejó

secar al aire; en la siguiente etapa, aproximadamente 100 g de muestra se secaron en estufa a 60 °C durante 24 horas para posteriormente someterlos a molienda utilizando un molino Pulverisetti 8. La muestra molida se tamizó a través de una malla de 2 mm para finalmente ser almacenada en frascos plásticos a una temperatura de $25^{\circ} \pm 4$ °C.

Extracción de los analitos

Para la extracción de los analitos se pesó en un vial de teflón $0,40 \pm 0,01$ g de muestra seca y molida, se agregó 5 mL de la mezcla de ácidos: nítrico al 65% y perclórico al 70% en relación 5:1. La muestra se colocó en un horno microondas marca Milestone, modelo Start D a una temperatura de 250 °C, potencia al 90% durante 30 minutos. Después del ciclo de digestión, se enfrió y filtró la solución a través de un filtro Whatman N° 42. En el filtrado se determinaron las concentraciones de fósforo, azufre y boro. (Westerman, 1990).

Cuantificación

Se realizaron ensayos para determinar el tiempo de bombeo adecuado

para el transporte de la muestra al nebulizador; el flujo de argón se probó en un rango de 0-20 L/min con incrementos de 1 L/min y para el gas auxiliar de 0-2 L/min con incrementos de 0,1 L/min. Se utilizó el Software "WinLab 32".

Se trabajó cualitativamente con soluciones de los analitos preparadas a partir de reactivos estándares certificados para seleccionar la longitud de onda y la vista del plasma adecuadas. Las condiciones de operación para el espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo Optima 2600 DV fueron: tiempo de bombeo 15 s, flujo del plasma 20 L/min, flujo de gas auxiliar 0,2 L/min, flujo del nebulizador 0,8 L/min, longitud de onda 213,617, 180,669 y 249,772 para fósforo, azufre y boro respectivamente y vista del plasma axial.

Una vez establecidas las condiciones adecuadas del espectrofotómetro y del método se procedió a analizar cada una de las muestras por duplicado y en cada lote de 30 muestras se incluyó una muestra del Standard Reference Material 1570a Spinach Leaves y un blanco como parte del control de calidad, el blanco consis-

tió en una solución que recibe el mismo tratamiento que el material de referencia y las muestras, pero no contiene el analito a determinar.

RESULTADOS

Muestreo

La Tabla 1 resume la procedencia de

las muestras, así como las variedades, número de plantas por subparcela y número de plantas colectadas.

Tabla 1. Procedencia de las muestras

Cultivo	Variedad	Parroquia	Cantón	Provincia	N° plantas en subparcela	N° plantas a muestrear
Banano	Dominico	9 de Mayo	Machala	El Oro	1800	36
	Maqueño				2400	48
Rosas	Grandiflora	Tanicuchí	Latacunga	Cotopaxi	270	30
	Híbridas de Té				270	30

En la Tabla 2 se presentan las características físicas de las hojas de banano variedad Dominico.

Tabla 2. Características físicas de las hojas de banano variedad Dominico

N° de muestra	Características (color y tamaño)
01-03	Color verde, longitud 60 cm
04-07	Color verde, longitud 80 cm
08-10	Color verde amarillento, longitud 78 cm
11-13	Color verde amarillento, longitud 81 cm
14-18	Color verde, longitud 65 cm
19-23	Color verde, longitud 65 cm
24-29	Color verde, longitud 69 cm
30-32	Color verde, longitud 72 cm
33-36	Color verde, longitud 68 cm

Las características físicas de las hojas de rosas variedad Grandiflora: coloración y apariencia constan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características físicas de las hojas de rosas variedad Grandiflora

Nº de muestra	Características
01-04	Color verde, levemente arrugadas y con pigmentación amarilla
05-15	Color verde amarillento
16-20	Color verde
21-26	Color verde con presencia de pigmentos amarillos en los bordes
27-30	Color verde oscuro

Calibración del equipo

Para asegurar la validez de los resultados obtenidos en el espectrofotómetro, se realizaron ensayos para determinar las condiciones óptimas de operación. El tiempo de bombeo de 15 segundos fue el adecuado para el transporte de la muestra, si se emplean tiempos menores la muestra no llega al nebulizador y con tiempos de bombeo más largos se produce la pérdida de reactivos, gas y volumen de muestra. El flujo del plasma y del gas auxiliar (20 L/min y 0,2 L/min)

permitieron obtener un plasma simétrico de color blanco brillante muy intenso en forma de lágrima; el flujo del nebulizador (0,8 L/min), responsable del transporte de la muestra al plasma fue capaz de perforar un agujero a través del centro de descarga; la longitud de onda seleccionada 213,617, 180,669 y 249,772 nm para fósforo, azufre y boro respectivamente, presentaron mayor intensidad y una buena resolución de picos; la alta sensibilidad y mejor detección de los analitos a bajas concentraciones fueron los factores considerados para seleccionar la vista axial del plasma como la adecuada.

Linealidad y rango lineal para fósforo

La linealidad se evaluó mediante inspección visual de la representación gráfica de la respuesta del equipo (intensidad) y las concentraciones de las soluciones estándares empleadas, se determinó también el rango lineal y se calculó el coeficiente de correlación, este valor indica el grado de relación entre la variable concentración y la variable respuesta de la curva de calibración, se espera obtener un coeficiente de correlación con un valor 0,998 que indica que debe

existir una correlación con una elevada probabilidad. Para el fósforo la linealidad se mantiene en un rango de 0 - 6000 ppm, el coeficiente de

correlación para este rango de concentraciones fue de 0,9994 valor superior al planteado, 0,998 (Figura 1).

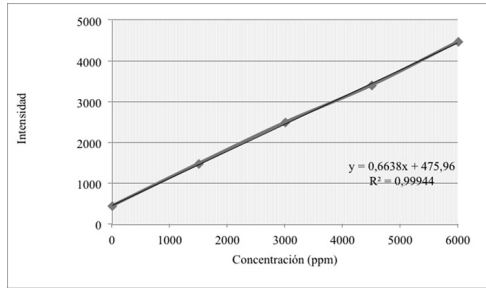


Figura 1. Rango lineal para fósforo

Linealidad y rango lineal para azufre

El rango lineal para el azufre presentó un intervalo de concentraciones de

0 – 6000 ppm útil para este estudio, el coeficiente de correlación fue de 0,9991, como se observa en la Figura 2.

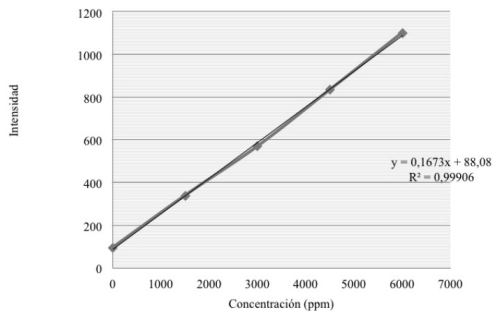


Figura 2. Rango lineal para azufre

Linealidad y rango lineal para boro

El rango lineal para boro comprende un intervalo de concentraciones que

va de 0 a 54 ppm, el coeficiente de correlación fue de 0,9993 (Figura 3).

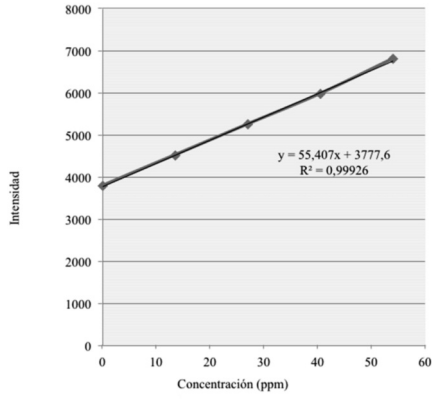


Figura 3. Rango lineal para boro

Límites de detección y cuantificación

Se midió la intensidad de 10 blancos y se determinó el valor promedio más 3 desviaciones estándar para el cálculo del límite de detección y más 10 desviaciones estándar para el límite de cuantificación. El límite de detección fue de 105,86 ppm para fósforo, 152,30 ppm para azufre y 0,031 ppm para boro; el límite de cuantificación para fósforo fue 111,19 ppm, para azufre 157,67 ppm y para boro 0,068 ppm.

Precisión y exactitud

La precisión se evaluó en base al análisis de la desviación estándar de los datos obtenidos al medir el Standard Reference Material fortificado en tres niveles de concentración durante un período de 3 días. Se emplearon soluciones fortificantes de 5000, 4000 y 100 ppm de fósforo, azufre y boro respectivamente. Al filtrado de las muestras del material de referencia digeridas se añadió 5, 10 y 15 mL de

la solución fortificante para obtener los 3 niveles de concentración y realizar la lectura respectiva. La exactitud se cuantificó a través del porcentaje de recuperación en las muestras fortificadas. El porcentaje de recuperación promedio para fósforo fue de 99,18, para azufre 99,62 y para boro 98,99.

Cuantificación en tejido foliar de banano y rosas

Una vez establecidas las condiciones óptimas de análisis, se determinó por duplicado el contenido de fósforo, azufre y boro en cada una de las muestras y en cada lote de 30 muestras se incluyó una muestra del Standard Reference Material y un blanco como parte del control de calidad. El contenido promedio de fósforo, azufre y boro en las muestras de banano variedad Dominico fue: 0,48 y 0,38% y 44 mg/kg respectivamente; en la variedad Maqueño los valores 0,50 y 0,39% y 44 mg/kg.

En el caso de tejido foliar de rosas, en la variedad Grandiflora los valores corresponden a 0,39 y 0,30% y 40 mg/kg para fósforo, azufre y boro respectivamente, y finalmente para la

variedad Híbridas de Té, el contenido de fósforo, azufre y boro fue 0,46 y 0,36% y 42 mg/kg.

En la Figura 4, se presentan los valores del contenido de fósforo en las muestras de banano, variedad Dominico; este elemento se encuentra dentro de los niveles de referencia considerados como normales para este cultivo, 0,30-0,80%, a excepción de las muestras 7 a 13 (17% de las muestras analizadas), que presentan una concentración de fósforo inferior al nivel mínimo de referencia, este descenso se refleja en las características físicas de las hojas, presentan un color verde amarillento.

Si se analizan los datos que corresponden a la variedad Maqueño, se observa un comportamiento similar, el 8,50% de las muestras analizadas tiene un porcentaje menor al valor de referencia.

La Figura 5, es la representación gráfica del contenido de boro en banano variedad Dominico, la concentración del elemento se encuentra dentro de los rangos establecidos como niveles de referencia óptimos para el desarrollo adecuado de la planta 30-60

mg/kg; un comportamiento similar se observa en el caso de azufre y boro en la variedad Maqueño.



Figura 4. Cuantificación de fósforo en banana variedad Domingo

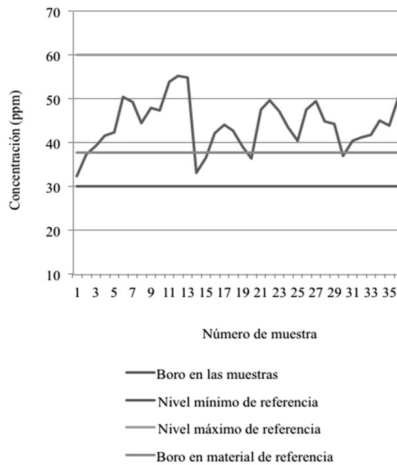


Figura 5. Cuantificación de boro en banana variedad Domingo

En el caso de las rosas variedad Grandiflora, Figura 6, éstas presentaron un comportamiento muy particular. En el 33% de las muestras analizadas

el contenido de fósforo está bajo el nivel mínimo de referencia; igual sucede con el boro y el azufre, 23 y 16% respectivamente.

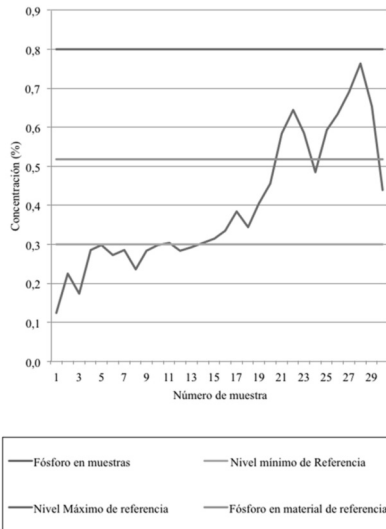


Figura 6. Cuantificación de fósforo en rosas variedad Grandiflora

Si se analiza la ubicación de las muestras en la subparcela, se observa que las muestras desde la número 1 a la 14, están localizadas en la misma zona o sector y ocupan una superficie aproximada del 50% del área muestreada, se puede suponer que la deficiencia de los elementos en las hojas se produzca por la fijación del elemento en el suelo.

En lo referente a las muestras de rosas variedad Híbridas de Té, Figura 7, los analitos en estudio se encuentran dentro de los niveles de referencia a excepción de las muestras 48-51 que presentan deficiencia de boro, que se manifiesta por los bordes arrugados de las hojas.

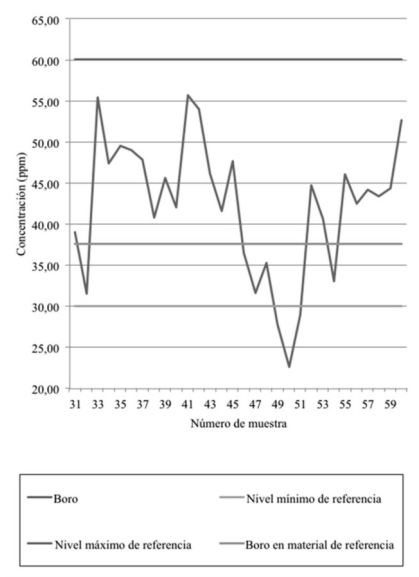


Figura 7. Cuantificación de boro en rosas variedad Híbridas de Té

DISCUSIÓN

Al comparar las técnicas tradicionales (colorimétricas para fósforo y boro y turbidimétrica para azufre) y la empleada en este estudio, se puede reconocer la enorme ventaja que presenta la espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica, pues una vez superada la etapa de mineralización de las muestras, a más de la cuantificación simultánea de los elementos, que se traduce en ahorro de

tiempo, permite el manejo de extractos con niveles de sensibilidad, exactitud, precisión y límites grandemente mejorados; con las técnicas tradicionales es necesario desarrollar procedimientos individuales y utilizar reactivos específicos, lo cual supone consumo de tiempo y reactivos.

Si se analizan las características físicas de las hojas de banano y rosas: textura y coloración y el contenido

de los analitos estudiados, se observa que hay una enorme correspondencia, en aquellas que presentan un color verde, estos elementos se encuentran dentro de los rangos de referencia establecidos como aptos para el cultivo y las que presentan una coloración verde amarillenta tienen un déficit de fósforo, como sucede en el banano variedad Dominico y Maqueño. En el caso de las rosas, las hojas de color verde con pigmentación amarilla presentan deficiencia de los analitos, especialmente de fósforo; en cambio aquellas que se presentan ligeramente ondu-

ladas en los bordes demuestran que el boro es el elemento deficiente.

La confiabilidad de los resultados del análisis foliar, dependerá de la similitud entre los parámetros de muestreo empleados (Alvarado, 2005).

Para reportar o informar el contenido de fósforo y azufre en tejido foliar se lo debe hacer en términos de porcentaje con dos decimales o en g/kg con un solo decimal; y para boro las unidades empleadas son mg/kg sin decimales (Sadzawka, 2007).

CONCLUSIONES

El análisis foliar incluye aquellos métodos de diagnóstico directo que hacen uso del análisis químico aplicado a partes representativas de las plantas, se realiza para analizar el balance nutricional de la planta, es necesario una selección adecuada de muestras, que puede incluir la planta entera o secciones específicas de la misma, como los pecíolos, las raíces y las hojas; éstas últimas reflejan de mejor manera el estado nutricional de la planta, ya que es ahí donde se

elaboran las sustancias para el crecimiento y fructificación.

La técnica de espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica permite el análisis simultáneo de los analitos, baja susceptibilidad a las interferencias químicas, debido a las altas temperaturas de trabajo y por lo tanto los límites de detección y cuantificación son óptimos para la cuantificación de fósforo, azufre y boro en tejido foliar.

Hay una relación entre el color de las hojas y el contenido de los analitos, la pigmentación verde amarillenta en los bordes de las hojas de banano, se debe a la baja concentración de fósforo, un aspecto similar se observa en

el caso de las hojas de rosas; la coloración verde amarillenta y el arrugamiento de los bordes se debe a valores bajos de fósforo y boro respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Calderón, F. (2004). Metodologías de análisis foliar. Recuperado de http://www.drcaalderon-labs.com/Metodos/Analisis_Foliar/Metodos_Analisis_Foliales.htm. 07 del febrero de 2012.
- Fassbender, H. W. (1975). Química de suelos con énfasis en suelo de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias agrícolas de la OEA. Turrialba: Costa Rica.
- INIAP, (2000). Metodologías de Análisis Físico Químico de Suelos, Aguas y Foliare. Quito. Ecuador.
- MetAS & Metrólogos Asociados. (2008). Linealidad, Curvas de ajuste, Interpolación y Extrapolación. La Guía MetAS 08 01. Recuperado de <http://www.metas.com.mx/guiametas/laguia-metas-08-01linealidad.pdf>. 22 de Septiembre de 2014.
- Morales, A. (2011). Toma de Muestras de Foliare. Recuperado de <http://www.slideshare.net/Marayta/microsoft-word-toma-de-muestra>, 12 de Noviembre de 2012.
- Navarro, G. (2003). Química Agrícola. Segunda Edición. Editorial Mundi. España.
- Proecuador, (2011). Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Análisis Sectorial de la Actividad Bananera. Ecuador.
- Sadzawka A., Carrasco R., Demanet, F., Flores, P., Grez Z., Mora, M., Neaman, A. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Series Actas INIA N° 40. Santiago. Chile. Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR34664.pdf>. 22 de Septiembre de 2014.
- Sallisburry, B y Roos, W. (2000). Fisiología de la Planta. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Recuperado de <http://www.fertitec.com/PDF/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>. 08 de abril del 2012.
- Sanzano, A. (2008). Disponibilidad del fósforo para las plantas. Recuperado de <http://edafo.com.ar/descargas/Cartilas/Fósforo%20del%20Suelo.pdf>. 08 de abril del 2012.
- Westerman, R. (1990). Soil Testing and Plants Analysis (SSSA). Tercera Edición. Madison. Wisconsin.