

Establecimiento de la línea base de productos formulados con silicio y estudio de los efectos de los parámetros de desarrollo y sanitario de plantas de banano Cavendish (AAA), variedad Williams.

Byron Edison Moyano Del Pezo
María Isabel Jiménez Feijoo, PhD.
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
bmoyano@espol.edu.ec

Resumen

*La presente investigación se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La ESPOL se encuentra ubicada en el Km 30.5 de la vía Perimetral a 80 m.s.n.m. dentro de un clima seco tropical en la ciudad de Guayaquil. Durante el periodo comprendido entre febrero y noviembre del 2008 se realizaron los ensayos correspondientes a la investigación cuyo objetivo fue el establecimiento de la línea base de productos formulados con silicio y estudio de los efectos sobre parámetros de desarrollo y sanitarios en plantas de banano Cavendish (AAA), variedad Williams. Los ensayos realizados se enfocaron en fito-protección y nutrición de banano, en condiciones semi-controladas. Con este propósito se seleccionaron tres productos comerciales de silicio, aplicados por dos vías de aplicación: radicular, foliar y tres concentraciones: 150, 250 y 500 ppm. El impacto del Silicio fue estudiado en dos etapas. La primera etapa antes de la inoculación de *M. fijiensis*, en plantas de banano y la segunda etapa se la realizaron después de la inoculación de la enfermedad. Ambas etapas recibieron las aplicaciones de Silicio antes y después de la inoculación. Las aplicaciones se efectuaron durante 8 semanas, y al finalizar este periodo, el 50% de las plantas fueron cosechadas y se determinaron los pesos húmedos y después de siete días pesos secos. La otra mitad de las plantas de cada tratamiento se procedió a la inoculación dirigida de *M. fijiensis*. Las hojas número 1, 2, 3 y 4, contadas desde arriba hacia abajo, fueron aspergeadas con una solución de 3×10^3 conidias/ml usando un aerógrafo Badger® 100. A estas plantas se les aplicaba 125 ml de solución de cada tratamiento durante 30 días y al final también se determinaban los pesos respectivos. Para cumplir los objetivos planteados en el estudio, se realizaron dos experimentos. Los resultados de la investigación muestran, un mayor desarrollo de los parámetros agronómicos en las plantas que crecieron con aplicaciones de silicio en las concentraciones 150 y 250 ppm. La utilización del Zumsil + Activada, retardó el desarrollo de los síntomas ocasionados por *M. fijiensis*, y su acción fue más notoria en la dosis de 150 ppm. La acción de las aplicaciones de silicio disminuyeron los índices de infección de la enfermedad.*

Palabras claves: silicio, parámetros, cosecha, concentraciones e inoculación.

Abstract

*The present investigation was carried out in the laboratory of Phytopathology of the Biotechnological Research Centre of Ecuador (CIBE), belong to the Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) in the Campus Gustavo Galindo. The ESPOL is located in km 30,5 of the vía Perimetral to 80 m.s.n.m within a tropical dry climate in the city of Guayaquil. During the period between February and November of the 2008 all the tests corresponding to the investigation were realised that looked for the establishment of the base line for product formulated with silicon and study of the effects on development parameters and sanitary potential of banana plants Cavendish (AAA), variety Williams. The realised tests focused in phyto-protection and nutrition of banana, in greenhouse conditions. With this intention three commercial silicon products were selected, in root and foliar application, and three concentrations: 150, 250 and 500 ppm. The impact of Silicon was studied in two stages. The first stage before the inoculation of *M. fijiensis*, in plants of banana and the second stage were realised it after the inoculation of the disease. Both stages before received the applications of Silicon and after the inoculation. The applications took place during eight weeks, and when finalizing this period, 50% of the plants were*

harvested and weights were determined the humid weights and after seven days droughts. The other half of the plants of each treatment came to the directed inoculation from *M. fijiensis*. The leaves number 1, 2, 3 and 4, counted one from above downwards, were spray with a solution of 3×10^3 conidias/ml using an aerógrafo Badger® 100. To these plants 125 ml of solution of each treatment were applied to them during 30 days and in the end also the respective weights were determined. In order to fulfil the objectives raised in the study, two experiments were realised. The results of the investigation show, a greater development of the agronomic parameters in the plants that grew with applications of silicon in 250 concentrations 150 and ppm. The use of Activated Zumsil +, slowed down the development of the symptoms caused by *M. fijiensis*, and its action was more well-known in the 150 dose of ppm. The action of the applications of silicon diminished the level of infection of the disease.

Key words: silicon, parameters, harvested, concentrations and inoculations.

1. Introducción

El Silicio (Si) es un agente fortificador de células vegetales [9,13]. Las fertilizaciones con Si en plantas como el arroz y otras gramíneas, han demostrado disminución significativa a la susceptibilidad de enfermedades causados por hongos [12,4,5,6]. Las plantas toman Si como H_4SiO_4 , y evaluaciones sobre la base de materia seca indican concentraciones del elemento entre 0.1-10% en cultivos como el arroz y la caña de azúcar [2,3]. En general las gramíneas son consideradas plantas acumuladoras de este elemento; sin embargo, algunas dicotiledóneas también parecen demostrar esa característica [7].

Los suelos contienen cantidades significativas de Si, aunque sistemas de cultivo continuos, formas no disponibles y/o suelos en desequilibrio biológico, hacen necesario su suministro. La caña de azúcar, por ejemplo, puede retirar hasta 380 kilogramos/ha/año del suelo [11]. Los niveles de Si en los tejidos de cada especie de plantas varían en relación con la disponibilidad de Si en el suelo [1].

El Si cumple una importante función en la integridad estructural de las células vegetales, contribuyendo a las propiedades mecánicas e incluyendo rigidez y elasticidad [13]. El Si está presente en las plantas, principalmente como gel de sílice, en las paredes celulares y como ácido monosilícico en la savia del xilema [6]. El rol de Si en las paredes celulares parece ser análogo a la lignina como un elemento de resistencia y mayor rigidez para la sustitución del agua entre las microfibrillas y otros componentes de carbohidratos en las paredes de las células no lignificadas [10].

Basados en estos antecedentes, es importante conocer los efectos de productos a base de este mineral, teniendo como hipótesis que las aplicaciones de estos productos beneficiarán las características morfo-fisiológicas de banano y el estado sanitario del mismo. Esta investigación estará orientada al estudio del producto ZUMSIL, complejo ionizado de Silicio e Hidrógeno, que resulta en un producto de estructura tetraédrica, lo cual le confiere cualidades físicas y químicas estables comparadas con el BIOSIL.

2. Objetivos

2.1 General

- Determinar el potencial de la incorporación de silicio en un esquema de fertilización en banano en condiciones semi-controladas, evaluando el beneficio de este elemento bioactivo, sobre el desarrollo de la planta y de los agentes patógenos.

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer las dosis y vías de aplicación de dos productos comerciales líquidos y uno sólido, sobre plantas de banano en condiciones semi-controladas.
- Comparar las dosis y vías de aplicación de los tres productos en estudio, en aplicaciones dirigidas sobre plantas de banano en condiciones semi-controladas.
- Evaluar el potencial sanitario de los productos sobre inoculaciones dirigidas de *M. fijiensis*, en condiciones semi-controladas.

3. Materiales y Métodos

El desarrollo de esta investigación se realizó en el laboratorio de Fitopatología e Invernadero del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), edificio PROTAL de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus "Gustavo Galindo", ubicado en el Km. 30,5 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

3.1 Materiales

Material biológico: fungoso y vegetal

- Conidias (material fungoso)

Se trabajó con conidias de *M. fijiensis* obtenidas a partir de aislamientos, mediante protocolos estandarizados del laboratorio de Fitopatología del CIBE.

- Plántulas de banano (material vegetal)

Las plantas de banano, variedad Williams (grupo Cavendish AAA), se obtuvieron a partir de micropropagación en el laboratorio de cultivo de tejidos del CIBE.

Material de laboratorio e invernadero

- Productos comerciales

Nombre comercial: Zumsil
Fabricante: Terratech Corp.
Origen: Estados Unidos

Nombre comercial: Activada
Fabricante: Terratech Corp.
Origen: Estados Unidos

Nombre comercial: Biosil
Fabricante: Agroperfect S.A.
Origen: Ecuador

3.2 Metodología

3.2.1 Procedimiento

Una vez obtenidas las plántulas en fase 2 de 10 cm de altura aproximadamente, fueron transplantadas en fundas de plástico de polietileno negras llenas de substrato compuesto de: arena, cascarilla de arroz (1:2).

Cada tratamiento fue conformado por 10 plantas, las cuales recibieron 250 ml del tratamiento.

Para los controles convencionales se utilizó nitrógeno orgánico 10 ml/L. mientras que los controles absolutos consistieron solamente de agua destilada. Las aplicaciones se efectuaron durante 8 semanas y después de eso se desbancaron la mitad de plantas de cada tratamiento y se determinaron los pesos húmedos y después de 7 días pesos secos. La otra mitad de las plantas de cada tratamiento se procedió a la inoculación dirigida de *M. fijiensis*. Las hojas número 1, 2, 3 y 4, contadas desde arriba hacia abajo, fueron aspergeadas con una solución conidial de 3×10^3 conidias/ml usando un aerógrafo Badger® 100. A estas plantas se les aplicaba 125 ml del tratamiento durante 30 días y al final también se determinaban los pesos respectivos.

3.2.1.1. Tratamientos: Todas las fuentes estudiadas: Zumsil (Z), Biosil (B) y Zumsil activada (ZA), se trabajaron con los siguientes tratamientos:

TRATAMIENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	VÍAS DE APLICACIÓN	NOMENCLATURA
T1	150	Foliar	150
T2	250	Foliar	250
T3	500	Foliar	500
T4	150	Radicular	150
T5	250	Radicular	250
T6	500	Radicular	500

3.2.1.2 Parámetros evaluados: Las evaluaciones de estos parámetros se realizaron durante 8 semanas.

- **Altura de planta.-** Se midió la longitud de la planta comprendida desde la base hasta la inserción de la primera hoja verdadera con la hoja bandera con una regla.
- **Coloración del tejido foliar.-** Se determinó el color de las hojas 1, 2 y 3 mediante la tabla de Munsen.
- **Emisión foliar.-** Se empleó la escala de Brun para determinar el estado de la hoja bandera.
- **Número de hojas totales.-** Se realizó un conteo del total de hojas emitidas por planta desde el inicio de las aplicaciones.
- **Grosor de hojas.-** Se midió el grosor de las hojas 1, 2 y 3 con la ayuda de un Micrómetro, marca Mitutoyo, modelo PK-0505.
- **Clorofila.-** Se empleó un medidor de clorofila SPAD-502, marca Konica-Minolta, para

determinar la cantidad de clorofila en las hojas 1 y 2.

- **Estado fitosanitario.-** Este parámetro fue monitoreado semanalmente durante 30 días después de la inoculación, y se utilizó la escala de Alvarado *et al.* 2003, la cual es una modificación de la escala presentada por Fullerton y Olsen, 1995.

3.2.1.3. Análisis Estadísticos

3.2.1.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA). Se utilizó una ANOVA de una vía. También se determinó el área bajo la curva de todas las variables. Utilizamos la prueba de Rango Múltiple de Duncan $P \leq 0.05$, porque nos permite comparar todas las medias de los tratamientos entre sí sin restricciones, ya que no necesita un valor F significativo.

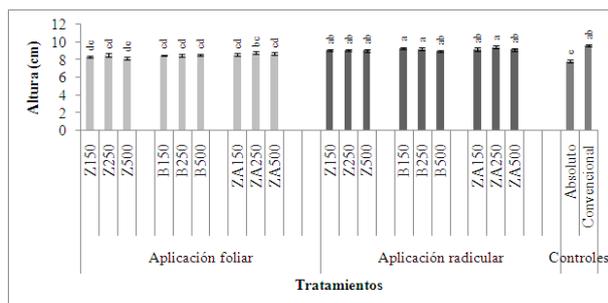
4. Resultados y discusión

4.1. Parámetros agronómicos.

4.1.1. Altura de plantas. Las soluciones que rindieron mejores resultados en cuanto a altura de plantas, fueron los correspondientes a los tratamientos B150, 250 y ZA250 todos vía radicular; mientras que, los menores índices de crecimiento se registraron en las plantas agrupados en el tratamiento del control absoluto que solo se le aplicó agua y a los tratamientos con Zumsil 150 y 250 ppm vía foliar, resultados que registraron diferencias significativas con Duncan ($P \leq 0.05$) (Figura 4.1).

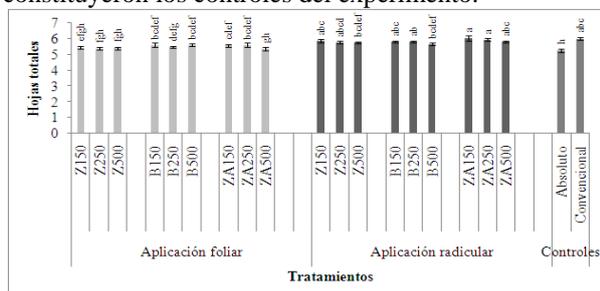
Por otra parte, el comportamiento del parámetro en estudio, después de la inoculación, tuvo un desarrollo similar en el caso de B150, seguido por valores con la misma tendencia superior en los tratamientos con Z150, B500, ZA250 y 500 ppm, todos vía radicular.

Figura 4.1 Altura de plantas en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.1.2. Número de hojas. Utilizando la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), los tratamientos ZA150 y ZA250 radicular obtuvieron los mejores rendimientos, mientras que el control absoluto demostró la menor cantidad de hojas (figura 4.2). En este parámetro de número de hojas, se encontraron ocho rangos de significación.

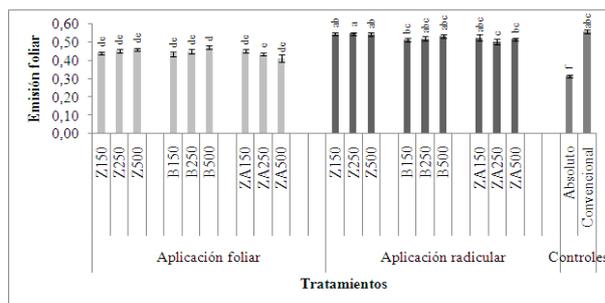
Figura 4.2 Hojas totales en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.1.3. Emisión foliar. En la figura 4.3 se observa que el mayor resultado en la emisión foliar, fue el tratamiento Z250 radicular; mientras que, el rendimiento más bajo lo alcanzó el control sin aplicación.

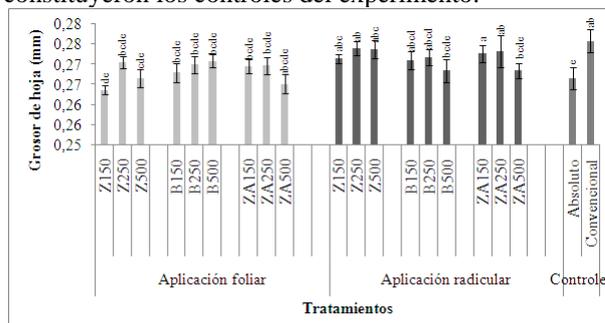
Estos resultados fueron validados con Duncan ($P \leq 0.05$), que nos indica que sí existe inferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

Figura 4.3 Emisión Foliar en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.1.4. Grosor de hoja. En el parámetro grosor de hoja, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con Duncan ($P \leq 0.05$). El mejor tratamiento fue ZA150 radicular, y el más bajo lo obtuvo el tratamiento correspondiente al control absoluto (figura 4.4).

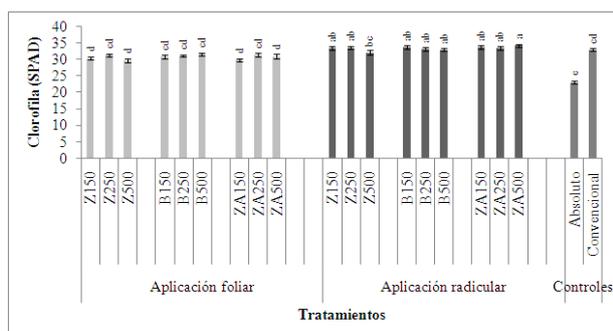
Figura 4.4 Grosor de hoja en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.1.5. Clorofila. El grupo de plantas pertenecientes al tratamiento ZA500 radicular, presentó el mejor rendimiento de clorofila y el control absoluto tuvo el rendimiento más bajo de todos los tratamientos (figura 4.5).

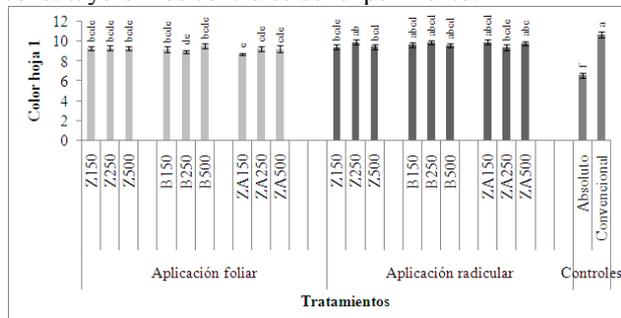
Los resultados de la clorofila fueron corroborados con Duncan ($P \leq 0.05$) indicando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos

Figura 4.5 Clorofila en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.1.6. Coloración del tejido foliar. Los mayores valores en cuanto a coloración del tejido foliar de la hoja 1, correspondieron al tratamiento agrupado como control convencional que solo tuvo aplicaciones de nitrógeno, mientras que el menor valor se expresó en el tratamiento correspondiente al control absoluto al cual solo se aplicó agua (figura 4.6). Al realizar la prueba de Duncan $P \leq 0.05$, nos indica que los tratamientos infieren estadísticamente.

Figura 4.6 Color de hoja en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, dirigida de *M. fijiensis*, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



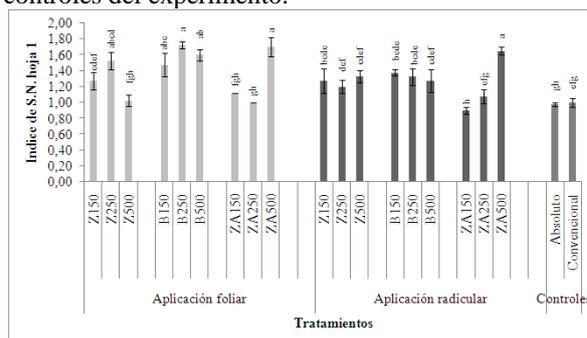
4.2. Parámetros sanitarios.

Las plantas fueron micropropagas y previamente tratadas con diferentes concentraciones de silicio. Las mediciones del estado fitosanitario se realizaron utilizando la escala de Alvarado, en hojas (1, 2, 3, 4) inoculadas con *M. fijiensis*, bajo condiciones de invernadero donde las plantas continuaron con el tratamiento a base de silicio.

4.2.1. Estado fitosanitario hoja 1. La figura 4.17, indica que el menor índice de infección registrado ocurrió en el tratamiento Zumsil + Activada con 150 ppm vía radicular, y las mayores infecciones se dieron en los tratamientos B250, ZA500 foliar, ZA500

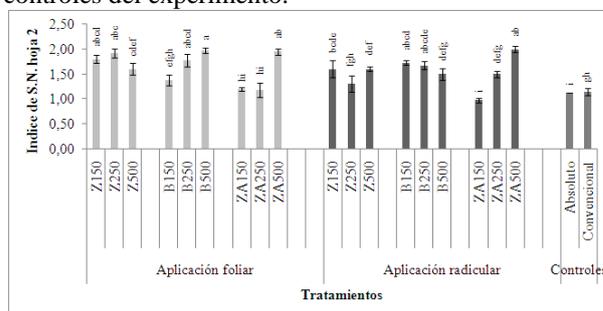
radicular. En este parámetro, estadísticamente hubo diferencias entre tratamientos, según Duncan $P \leq 0.05$.

Figura 4.17 El índice de S.N. en la hoja 1 en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



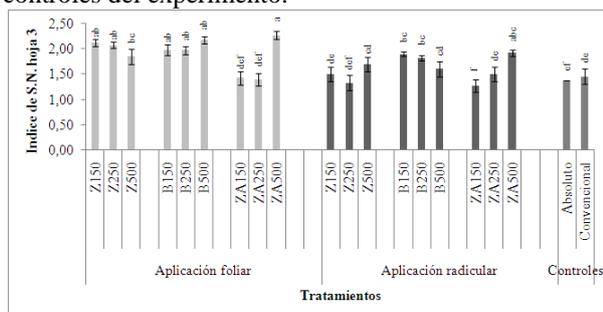
4.2.2. Estado fitosanitario hoja 2. Los grupos de plantas correspondientes a los tratamientos ZA150 radicular y al control absoluto, arrojaron los menores índices de infección de la enfermedad, mientras que la mayor infección se dio en el tratamiento B500 foliar, según Duncan $P \leq 0.05$ (figura 4.18).

Figura 4.18 El índice de S.N. en la hoja 2 en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



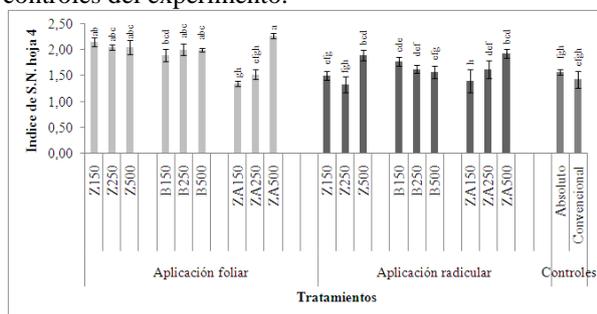
4.2.3. Estado fitosanitario hoja 3. El menor daño causado por *M. fijiensis*, se encontró en el tratamiento ZA150 radicular, y el mayor daño se registro en el tratamiento ZA500 foliar. Los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos según Duncan $P \leq 0.05$ (figura 4.19).

Figura 4.19 El índice de S.N. en la hoja 3 en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



4.2.4. Estado fitosanitario hoja 4. La figura 4.20, muestra que el menor índice de infección la obtuvo el tratamiento ZA150 radicular al igual que en las hojas anteriores, mientras que el mayor índice de infección de la enfermedad se dio en el tratamiento ZA500 foliar como anteriormente en las hojas 1 y 3. Para este parámetro existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, según Duncan $P \leq 0.05$.

Figura 4.20 El índice de S.N. en la hoja 4 en aplicaciones foliar y radicular, de tres fuentes de silicio vs concentraciones: Zumsil 150, 250, 500 ppm (Z150), (Z250), (Z500); Biosil 150, 250, 500 ppm, (B150), (B250), (B500); Zumsil + Activada 150, 250, 500 ppm (ZA150), (ZA250), (ZA500)), en el desarrollo de plantas de banano del grupo Cavendish, en condiciones de invernadero. Plantas cero fertilización y con aplicación de nitrógeno constituyeron los controles del experimento.



5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- De manera general, las aplicaciones de silicio demostraron efectos positivos en los parámetros agronómicos y sanitarios del cultivo, en presencia de inoculaciones dirigidas de *M. fijiensis*.
- Se determinó que la mejor vía de aplicación es la radicular, ya que los mejores resultados se obtuvieron con estos tratamientos, en condiciones semi-controladas.
- El análisis de los resultados, estableció que las dosis con mejor comportamiento fueron 150 – 250 ppm en todas las fuentes de silicio estudiadas.
- Finalmente podemos concluir que plantas de banano inoculadas con *M. fijiensis*, tuvieron un menor índice de infección de la enfermedad, en condiciones semi-controladas.

Recomendaciones

- Con los resultados obtenidos, en esta y otras investigaciones, validar los resultados a nivel de campo.
- Se recomienda seguir en la realización de estos ensayos con el objetivo de comprender mejor los mecanismos de absorción de silicio y su movilidad dentro del banano.
- Deben realizarse ensayos que involucren el análisis de tejidos para conocer si el silicio contribuye en las defensas físicas y/o químicas del sistema de defensa del banano.

6. Referencias

- [1] Datnoff, L. E., R. N. Raid, G. H. Snyder, and D. B. Jones. 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Disease*. 75(7):729-732.
- [2] Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91: 11-17.
- [3] Epstein, E. (1999). Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50: 641-664.
- [4] Fawe A, Abou Zaid M, Menzies JG, Bélanger RR, 1998. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology* 88, 396–401.
- [5] Fawe A, Menzies JG, Cherif M, Bélanger RR, 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, 159–69.
- [6] Husby, C. 1998. The role of Silicon in Plant Susceptibility to Disease. Pp 1 -6.
- [7] Ma, J.F., Tamai, K., Ichii, M., and Wu, G.F. (2002). A rice mutant defective in Si uptake. *Plant Physiology*, 130: 2111-2117.

- [8] Mengel, K. and Kirby, E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. Publication of the International Potash Institute, Berne, Switzerland.
- [9] Raven, J. A. 1983. The transport and functions of silicon in plants. *Biol. Rev.* 58:179-207.
- [10] Sangster, A. G. and Hodson, M. J. 1986. Silica and higher plants. pp. 90-111. In: Evered, D. and O'Connor, M. (eds.), *Silicon biochemistry*, Ciba Found Symp. 121, Wiley, Chichester, U. K.
- [11] Savant, N.K., G.H. Korndorfer, L.E. Datnoff, and G.H. Snyder. 1999. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A Review. *Journal of Plant Nutrition* 22(12):1853 - 1903.
- [12] Seebold, W.; Datnoff, E.; Correa, J.; Kucharek, A. and Zinder, H. 2005. Effect of silicon and host resistance on Sheath Blight development rice.
- [13] Taiz, L. and Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland. 690p.

Dra. Ma. Isabel Jiménez F.
Directora de Tesis
Febrero 4 del 2009