

Análisis de componentes principales en la interpretación de sistemas agroecológicos para el manejo de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en caña de azúcar

Analysis of main components in the interpretation of agroecological systems for the ryzobacterias promoters management of the vegetable growth in sugarcane

Doris Torriente Díaz¹ y Verena Torres Cárdenas²

1. Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.
2. Instituto de Ciencia Animal. Carretera a Guines km 5, Cuba.

E-mail: doris.torriente@indio.atenas.inf.cu; vtorres@ica.co.cu.

RESUMEN. El Análisis de Componentes Principales constituye una herramienta estadística que tradicionalmente ha sido poco utilizada por los investigadores de la rama agrícola. En esta investigación se muestran las ventajas de su uso sobre otros métodos estadísticos y su utilidad en la interpretación de sistemas alternativos de nutrición de las plantas. Se experimentó sobre suelos cambisoles en la cepa de retoños de caña de azúcar de más de tres cortes, evaluando el comportamiento de la planta antes diferentes formas de traslado al campo de las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (líquido y sólidas). Las formas sólidas son soportadas en cachaza. Se obtuvo como resultados fundamentales que las variables longitud del tallo, grosor del tallo, ancho de la hoja, número de hojas, área foliar, entre otras, fueron las que más aportaron al sistema evaluado. Además se concluyó que las variables del tallo dentro de los sistemas biológicos como modo de nutrición de las plantas aportan mayor variabilidad a los indicadores productivos.

Palabras clave: Caña de azúcar, componentes principales, Rizobacterias.

ABSTRACT. The Main Component Analysis constitutes a statistical tool that has traditionally been little used by agricultural researchers. This study shows the advantages of its use over other statistical methods and its usefulness in the interpretation of alternative nutrition systems in sugarcane. The experiment was carried out on Cambisol soils in the strain of regrowths of more than three cuttings, evaluating the performance of the plant before different transference forms of the Plant Growth Promoting Rhizobacteria to the field (liquid and solid). The solid forms are based on peat and sugarcane filtered mud. The main results obtained indicated that leaf length, stem width, leaf width, number of leaves, leaf area among others were the variables with the highest contribution to the evaluated system. It was also concluded that the biological systems for the nutrition of sugar cane contribute higher variability to the productive indicators.

Key words: Sugarcane, main components, Rhizobacteria.

INTRODUCCIÓN

El empleo de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en el cultivo de la caña de azúcar soportado en líquido en determinadas condiciones edafoclimáticas y de manejo agronómico ofreció resultados satisfactorios en el 76 % de las experiencias realizadas, pero en un 24 % de los experimentos no se obtuvo la respuesta esperada en la planta, dado esto por múltiples razones. Dentro de ellas se destacan las relacionadas con los niveles de contaminación del producto y por problemáticas asociadas al manejo,

almacenamiento y traslado de la bacteria al campo. (Pérez y Casa, 2005)

Los estudios de las formulaciones recomendadas por los autores anteriores sugieren determinadas instrucciones necesarias a utilizar con estos productos como son: emplear para el almacenamiento y traslado al campo recipientes de acero inoxidable, de cristal o tanques plásticos limpios previamente tratados con vapor durante 15 minutos, debe existir la más exacta sincronización

entre el fermentador y la aplicación al campo, para disponer de un producto de óptima calidad ya que en estas condiciones se garantiza estabilidad y pureza dentro de los 10 días después de recogida.

Ante estas limitaciones se llevó a cabo un estudio conjunto entre el Instituto de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) con el objetivo de formular un producto más estable que garantice una mayor conservación de la bacteria, un manejo más eficiente de la misma y que se adapte a las condiciones prácticas que exige el cultivo de la caña de azúcar.

Se llevaron a cabo estudios de optimización del medio y método de cultivo (Carmenate, 1998) de la bacteria sobre la formulación simplificada como una alternativa económica y disponible para uso industrial. Se obtuvo una variante con la cepa *Azospirillum brasilense* 8I del INICA, un producto

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron montados en el Bloque experimental de la Empresa Cañera Sergio González de la provincia de Matanzas, ubicado en los límites del municipio de Perico, que limita al norte con la municipalidad de Martí, al oeste con el poblado de Deseada, al este con la Empresa Cañera España Republicana y al sur con Jagüey Grande.

Se utilizaron vitroplantas de Caña de Azúcar en fase de adaptación de la variedad C. 120-78.

El producto utilizado fue obtenido de la cepa de *Azospirillum brasilense* 8I (INICA) en soporte líquido, según metodología reportada por Pérez y Casa (2005) y Roldós y otros (1994) y en soporte sólido según tecnología de Fernández (1999).

Para las aplicaciones de fertilizantes químicos se utilizaron los siguientes productos, según dosis recomendadas por Roldós y otros (1994): Para nitrógeno la Urea, para fósforo el Superfosfato Triple y para potasio el Cloruro de potasio.

Se diseñó según bloque al azar con cinco réplicas, donde los tratamientos consistieron en la

con viabilidad (10^8 Ufc m^{-1}) en un período de hasta 60 días.

Por su parte (Torriente, 2004) patentizó una tecnología de un producto a partir de la cepa (8I del INICA) soportada en sólidos (cachaza y turba) con grandes posibilidades de ser utilizada en caña de azúcar.

Para el estudio de estos soportes se utilizó como herramienta estadística el Análisis de Componentes Principales con el objetivo de establecer patrones de comportamiento en los sistemas ecológicos de nutrición de la caña de azúcar.

Debido a ello se trazaron los objetivos de utilizar como herramienta estadística al ACP para establecer patrones de respuesta de los sistemas ecológicos de nutrición de la caña de azúcar y evaluar de manera comparativa la respuesta fisiológica de la planta a las aplicaciones en soportes líquidos y sólidos (cachaza) de Rizobacterias.

combinación de los factores edad (10, 20, 30 y 40 días) y soportes de la Rizobacterias (80 l/ha de *Azospirillum* líquido, 80 l/ha de *Azospirillum* en cachaza, cachaza sola, fertilizantes químicos y control). Se utilizaron 12 plantas por réplica, para un total de 60 para cada tratamiento, las vitroplantas se plantaron en potes de 40cm^3 , se aplicaron las siguientes cantidades del producto: para 80 l/ha líquido del preparado, 7,68 mL y para 80 l/ha del preparado sólido 2,4 g.

Se realizaron muestreos sistemáticos a los 50, 60, 70 y 80 días de edad de las plántulas a las siguientes variables respuestas: Longitud de la hoja + 1 (según clasificación Kuiper) en cm, ancho de la hoja + 1 en cm, números de hojas activas, en unidades, área foliar (longitud de la hoja*ancho de la hoja*número de hoja * 0,7) en cm^2 , grosor del tallo en cm, longitud del tallo en cm, número de hojas.

Los resultados fueron sometidos a un análisis ACP al siguiente grupo de variables: longitud y ancho de la hoja, área foliar, grosor del tallo, número de hijos, longitud del tallo y tratamientos, para decidir cuáles son las variables de mayor importancia y las que

aportaron a la variabilidad de los sistemas estudiados. Se realizó además Análisis de Varianza según clasificación Doble con Interacción para los factores edad y soportes. En los casos de existir diferencia significativa se aplicó la Dócima de Comparación Múltiple de Duncan (1955).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la selección de los valores propios significativos se partió del criterio Cliff (1987), (Franco, 2003) por el cual se adapta bien al objetivo del análisis, la descripción de los resultados se hará en función de los dos primeros componentes que explican el 78,66 % de la varianza (tabla 1), estos dan una idea clara de la estructura que subyace en las variables estudiadas.

Tabla 1. Matriz de componentes y valores propios de las variables originales evaluadas en la aplicación de rizobacterias

Variables	Componente	
	1	2
Edad	0,94 ₁	-0,20
Soportes	-0,15	-0,96 ₁
Long. hoja	0,77 ₆	0,56 ₂
Ancho hoja	0,85 ₄	0,35
No. de hoja	0,83 ₅	0,43
Área foliar	0,68 ₇	0,35
Grosor tallo	0,88 ₃	0,35
No. de hijo	0,43	0,12
Long. tallo	0,89 ₂	0,32
% de varianza	67,05	11,61
% de varianza acumulada	67,05	78,66

El primer componente principal contribuyó con más del 67 % de la varianza total explicada, mientras que la distribución de los coeficientes del primer vector y de correlación indican (según tabla 1) que la edad de la planta, largo y grosor del tallo fueron las variables que más contribuyeron en forma positiva al componente, seguidas por ancho, número y largo de las hojas y, por último, el área foliar.

El segundo componente contribuyó solamente con el 11,6 % de la varianza total explicada y dentro de él la variable soportes fue la que más contribuyó de forma negativa, en segundo lugar, el largo de las hojas aportó sobre el resto de las variables una contribución destacada.

Esto nos indica que las variables asociadas al crecimiento del tallo mostraron los mejores resultados, dado por la etapa o fase de desarrollo objeto de estudio, es decir que la planta se encuentra en período de crecimiento, el cual se caracteriza por un encañamiento porque la planta comienza a formar los primeros canutos y comienzan a encañar y es donde la actividad fisiológica de la planta es máxima. Fernández (1999) destaca que en esta fase ocurren fenómenos tales como la división, diferenciación y elongación celular.

Longitud del tallo

Se encontraron diferencias significativas para la interacción variantes estudiadas y las edades de la planta analizadas (figura 1). Se observa que a los 50 días se encontraron diferencias entre las variantes biológicas y las químicas y no así entre las aplicaciones sin y con cachaza, pero los mejores valores le correspondieron a las rizobacterias soportadas en sólidos.

A los 60 días de edad las plantas manifiestan diferencias altamente significativas con respecto a la edad anterior y entre las variantes biológicas y el testigo, los mejores valores le correspondieron a las aplicaciones de *Azospirillum* sin cachaza, ya para los 70 días se observó el mayor valor en la inoculación soportada en sólido y al final del estudio, es decir, a los 80 días de edad de las plántulas se muestran diferencias altamente significativas entre la adicción de las rizobacterias sin y con cachaza, o sea, líquida y sólida. Esto es debido a las ventajas que ofrece el aplicar la bacteria soportada, pues el material orgánico le sirve de protección ante las dificultades que puede encontrarse en el traslado al campo y en su manejo de forma general.

Fernández y otros (2006) sugieren que los formulados líquidos son las formas más simples de emplear los biopreparados, tal como salen de los fermentadores, pero indica que es la menos apropiada ya que requiere mover grandes volúmenes con peligro de contaminación en el transporte y almacenamiento y lo más importante es que el microorganismo llega al suelo desprovisto de protección y expuesto a los rigores del medio

(calor, humedad, microflora, etc.), lo que disminuye la posibilidad de supervivencia.

Muchos autores recomiendan esta forma para casos donde no se pueda tratar la semilla botánica y que sea necesario aplicarlos al suelo directamente (Fernández y otros, 1983). Refieren que la aplicación líquida de inoculantes micorrízicos es de hecho un reto debido a la baja protección osmótica de los propágulos aplicados en medio acuático y a sistemas de riego.

Nótese que entre las aplicaciones químicas y las de cachaza se han encontrado diferencias significativas y cuando no ha sido así, los valores correspondientes al

subproducto de la industria han sido mayores. Este resultado muestra las ventajas que posee la cachaza como suplemento de la nutrición química en muchos casos.

En el cultivo de la caña de azúcar se han estudiado ampliamente los beneficios que se obtienen con el empleo de la cachaza.

Algunos autores expresan que en muchos países su empleo es una práctica usual porque mejora las condiciones físicas y microbiológicas del suelo y suministra nutrientes, destacan que 25 t/ha de cachaza equivalen a 154 kg de cloruro de potasio, 554 kg de superfosfato triple, 815 kg de urea y 15 t de materia orgánica. (García del Risco, 2002)

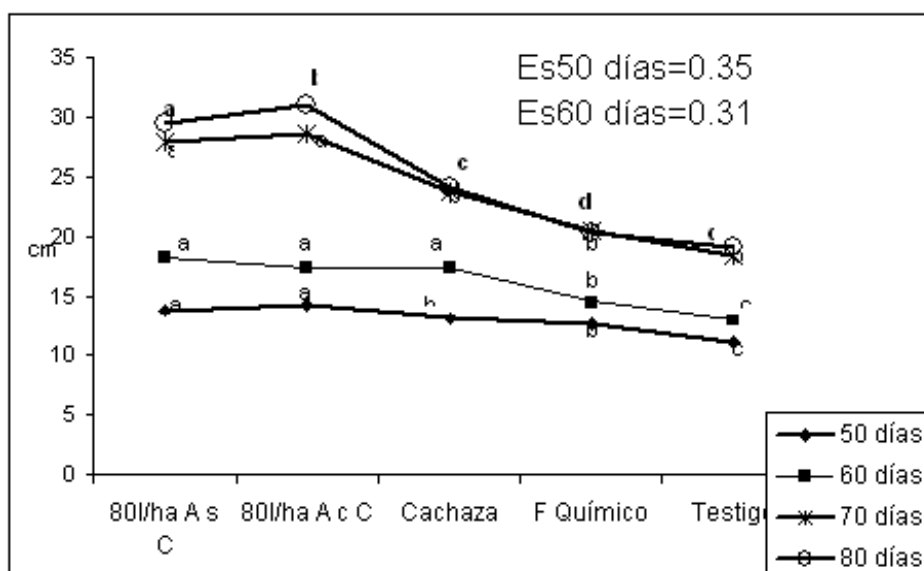


Figura 1. Longitud del tallo para las variantes biológicas en las diferentes edades evaluadas

Grosor del tallo

En la figura 2 se observa que para la variable grosor del tallo se encontraron diferencias altamente significativas entre las variantes y las edades estudiadas.

A los 50 días se hallaron diferencias entre las aplicaciones biológicas y los soportes utilizados (líquidos y sólidos), mostrando mejor valor las formas líquidas, para el resto de las edades no se muestran diferencias significativas entre el *Azospirillum* sin y con cachaza. Estas a su vez sí se diferencian de las aplicaciones químicas y el testigo.

Estos resultados corroboran las ventajas que ofrece aplicar bacterias a los diferentes cultivos y las mismas pueden sustituir en muchos casos a las aplicaciones químicas con el consiguiente ahorro, por el gasto en que se incurre con los fertilizantes químicos y con el beneficio que las alternativas biológicas proporcionan al medio ambiente.

Ancho de la hoja

Para esta variable (ver figura 3), a los 50 días no se encontraron diferencias significativas entre las variables estudiadas, ya para los 60 días se observan diferencias entre las variantes biológicas y el testigo.

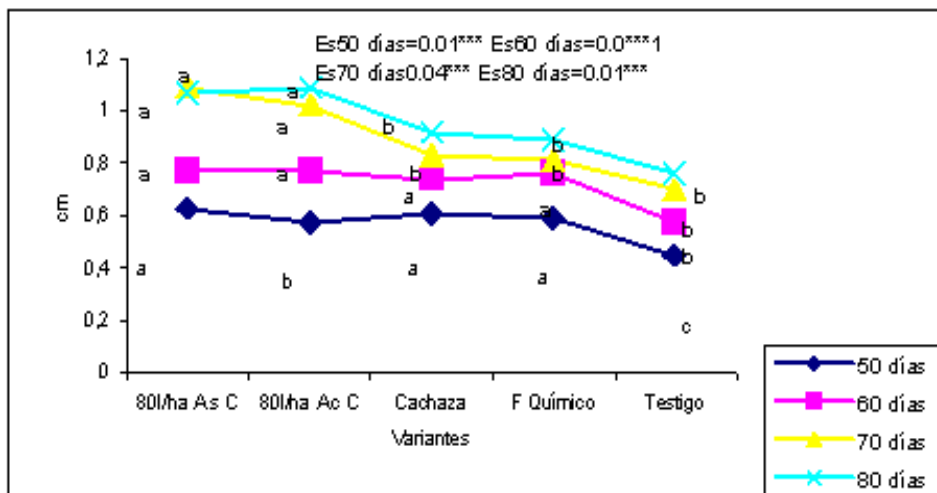


Figura 2. Grosor del tallo para las diferentes variantes y edades de las plantas

Para los 70 días entre las formas líquidas y sólidas sí se hallaron diferencias alcanzando los mayores valores la variante soportada en cachaza. Esta respuesta está avalada por el hecho reiterado anteriormente de que las aplicaciones de *Azospirillum* promueven el crecimiento vegetal con resultados superiores, en muchos casos, a los obtenidos con la fertilización química y que las aplicaciones sólidas ofrecen mayor seguridad para el microorganismo.

Al respecto Carmenate (1998) estudió en condiciones de laboratorio para la caña de azúcar a la cachaza como sustrato para el desarrollo de

diferentes microorganismos como *Azospirillum* y comprobó que la misma constituye un medio apropiado para el crecimiento y desarrollo de la bacteria.

Destacó, además, que este subproducto de la industria azucarera posee características como su facilidad de obtención, su bajo peso, posee determinados nutrientes que le permiten al microorganismo mantenerse vivo por más tiempo que en forma líquida, puede aplicarse de forma manual y mecanizada y su aplicación favorece en general a gran variedad de tipos de suelos.

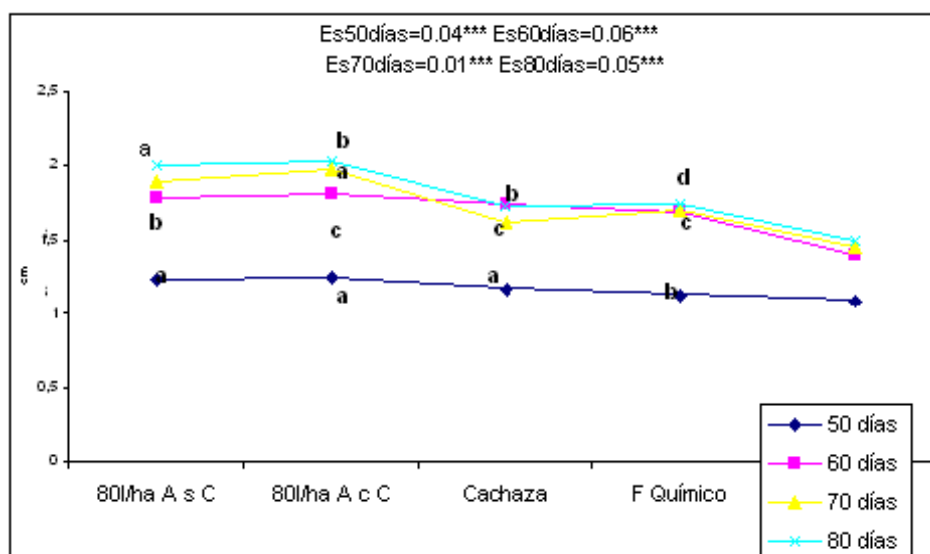


Figura 3. Ancho de las hojas para las diferentes formas de aplicación de Rizobacterias. Letras comunes no difieren $P < 0,05$

CONCLUSIONES

1. Las variables longitud del tallo, grosor del tallo, ancho de la hoja, longitud de la hoja y área foliar, en ese orden, mostraron su influencia sobre la variabilidad del sistema.

2. Las variables relacionadas con el tallo aportaron mayor variabilidad explicada que las asociadas a las hojas.

3. Las variantes soportadas en cachaza mostraron mejores resultados que las soportadas en líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carmenate, C.: La producción de *Azospirillum brasiliense* para el cultivo de la caña de azúcar, Tesis presentada en opción del título de ingeniero Agrónomo, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, pp. 46-58, 1998.

2. Fernández, L.; E. Ortega; B. Grimm y M.R. Hainezal: Variación en la concentración de aminoácidos y azúcares en plantas de caña de azúcar inoculadas con *Pantoea* sp. Taller de biofertilización de los Trópicos, Congreso Científico del INCA (14: 2006, nov 9-12, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X

3. Fernández, R.; A. Dávila y F. Del Toro: *Botánica y Fisiología de la Caña de Azúcar*, Editorial. Pueblo y Educación, p. 22, 120-153, 1983.

4. Fernández, Ramona: Obtención y Evaluación de un inoculante microbiano a partir de *Azospirillum* sp., Tesis en opción al título de Master en Ciencias Microbiológicas, Universidad de la Habana, pp. 14-19, 20-26, 26-35, 36-59, 1999.

5. Franco, Hidalgo, R. (eds.): Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Filogenéticos. Boletín Técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 22, 27, 39, 2003.

6. García del Risco, E. y A. Vázquez Fernández: Los suelos y fertilización de la caña de azúcar. Instituto Nacional de investigaciones de la Caña de Azúcar. Ciudad de la Habana, p. 46, 2002.

7. Pérez, Juana y M. Casas: "Estudio de la interacción planta-*Azospirillum* en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* sp)." Rev. *Cultivos Tropicales*.

8. Roldós, J. E.; M. Casa y J. Pérez: Uso de los biofertilizantes en suelos ferralíticos cultivados con caña de azúcar, Resúmenes. RECAR, La Habana, p. 9, 1994.

9. Torriente, Doris: Aplicación de biofertilizante a base de *Azospirillum* soportado en turba en el cultivo de la caña de azúcar, en Simposio internacional sobre caracterización y manejo de microorganismos rizosféricos y VII Taller de Biofertilización de los Trópicos. Congreso Científico del INCA (14:2004 nov 9-12, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959-7023-27-X.

10. Treto, Eolia; Margarita García; R. Brunet; J. Herrera; J. Kessel; R. Gómez; R. Iglesias y H. Santana: "Nutrición y fertilización de la piña, 20 años de investigación en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas," *Cultivos Tropicales*. 13(2-3): 5-59, 1997.

Recibido: 31/enero/2008

Aceptado: 14/noviembre/2008