Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá

Alternatives of biofertilization for sustainable onion bulb (*Allium cepa*) production in Cucaita, Boyacá

Martha Jeanneth Méndez[1] y Silvio Edgar Viteri[2]

Resumen: El objetivo de este estudio fue validar el potencial de cuatro alternativas de biofertilización para la producción de cebolla de bulbo en Cucaita, Boyacá. Los tratamientos evaluados fueron: a) bocashi gallinaza, caldo super cuatro y fertilizante (BgCSF); b) bocashi bovinaza, caldo super cuatro y fertilizante (BbCSF); c) bocashi gallinaza, caldo super cuatro, caldo rizósfera y fertilizante (BgCSCRF); d) bocashi bovinaza, caldo super cuatro, caldo rizósfera y fertilizante (BbCSCRF); e) testigo regional (TR); y f) testigo absoluto (TA). Como diseño experimental se aplicaron bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables determinadas fueron: 'incidencia de enfermedades', 'número de bulbos', 'peso de bulbos sanos y enfermos', 'peso total de bulbos' y 'diámetro del bulbo'. Los resultados indican que, tanto los bocashis como los caldos super cuatro y rizósfera, aportan una gran cantidad y diversidad de microorganismos benéficos que son importantes para la nutrición balanceada de la planta y su defensa contra los fitopatógenos. La menor incidencia de enfermedades se presentó significativamente en los tratamientos BgCSF y BbCSCRF. En cuanto a las variables relacionadas con producción, aunque ninguna de las alternativas de biofertilización se diferenció significativamente del TR, las que incluyen bocashi, caldo rizósfera, caldo super cuatro y una adecuada dosis de fertilizante químico se perfilan como las más promisorias puesto que, además de producir desde el inicio resultados similares a los obtenidos con la técnica convencional del agricultor, poseen un potencial microbiológico y químico que es esencial para la sostenibilidad de la producción y la preservación del ambiente en el futuro.

Palabras clave: bocashi, caldo rizósfera, producción sostenible.

Abstract: The objective of this study was to validate the potential of four biofertilizing alternatives for onion bulb production in Cucaita, Boyaca, Colombia. The treatments evaluated were: 1) bocashi-hen manure, super broth 4, and fertilizer, 2) bocashi-cow manure, super broth 4, and fertilizer, 3) bocashi-hen manure, super broth 4, rhizosphere broth, and fertilizer, 4) bocashi-cow manure, super broth 4, rhizosphere broth, and fertilizer, 5) chemical control, and 6) absolute control. The experimental design was a random complete block with six treatments and four replications. The variables determined were: 'disease incidence', 'bulb number', 'disease unaffected bulb weight', 'disease affected bulb weight', 'total bulb weight', and 'bulb diameter'. The results indicated that the bocashis as well as the super 4 and rhizosphere broth contributed to the soil with a great amount and diversity of beneficial microorganisms, which were important for the equilibrium in plant nutrition and plant defence against pathogens. The lowest disease incidence was obtained in the treatments bocashi-hen manure, super broth 4, fertilizer and bocashi-cow manure, super broth 4, rhizosphere broth, fertilizer. In relation to the production variables, though none of the biofertilizing alternatives resulted significantly different to the chemical control, those which include Bocashi, super broth 4, rhizosphere broth, and an adequate rate of chemical fertilizer are considered the most promissory because in addition to produce results similar to those obtained with the conventional technique of the farmer since the beginning they have a microbiological and chemical potential which is essential for the sustainability of the production and the environmental quality in the future.

Key words: bocashi, rhizosphere broth, sustainable production.

Fecha de recepción: 25 de agosto de 2006
Aceptado para publicación: 06 de junio de 2007

[1] Programa de Maestría en Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. e-mail: marthajea14@yahoo.es
[2] Profesor titular, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. e-mail: sviteri@tunja.uptc.edu.co

Introducción

El avance en el agotamiento de los recursos naturales debido al uso de prácticas agrícolas inadecuadas continúa siendo una de las principales preocupaciones especialmente en los países en vía de desarrollo. Entre las pérdidas, la de mayor impacto es el agotamiento del suelo, ya que este recurso representa la base de la producción de alimentos y de otras comodidades básicas, tanto en las comunidades rurales, como urbanas.

En el municipio de Cucaita (Boyacá) el desarrollo de las actividades agrícolas se concentra en el área del valle donde la pendiente de los terrenos fluctúa entre 0 y 12%. Allí el 26% de los suelos presenta síntomas severos de erosión y el 42% se encuentra amenazado seriamente por este proceso de degradación (EOT, 2002). La sobreexplotación del suelo, en conjunto con el uso excesivo de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que generan procesos de salinización y la falta de incorporación de materia orgánica, han conducido a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002).

En este escenario, uno de los principales interrogantes respecto de la producción de cultivos en el municipio es cómo recuperar y mantener la capacidad productiva de los suelos de manera que sea posible obtener los debidos beneficios sin agotar el recurso. Desde el punto de vista agronómico la solución está en el contenido de materia orgánica del suelo, para lo cual se necesita identificar fuentes y alternativas de manejo que, además de ser efectivas para mantener adecuadamente dicho contenido, sean viables para las posibilidades del agricultor.

Por tal razón, el interés de los investigadores en los últimos tiempos se ha enfocado hacia la exploración de varias alternativas y, entre ellas, el bocashi cuyo manejo en sistemas de producción agroecológica en Honduras ha bajado los costos de producción hasta en 80% (Restrepo, 2001) y en Cuba que, frente a lo convencional, ha mejorado apreciablemente la producción de hortalizas (Socorro y Parets, 2001). El bocashi es un abono orgánico fermentado producto de un proceso de descomposición aeróbica y termofílica de residuos orgánicos, llevado a efecto por microorganismos que producen un material parcialmente estable de descomposición lenta en condiciones favorables (Restrepo, 1998). Según Soto y Meléndez (2004), la producción y uso de abonos orgánicos está en aumento, especialmente en Costa Rica y Nicaragua, donde los productores orgánicos y convencionales se han convencido de las ventajas de su utilización, tanto en lo relacionado con las propiedades del suelo, como en los rendimientos en la producción de banano y café.

En Colombia, además del bocashi, se ha venido trabajando con varios biopreparados entre los cuales figuran el caldo rizósfera y el caldo super cuatro; desafortunadamente, el enfoque ha sido desde el punto de vista meramente empírico y, por lo tanto, los resultados no han sido documentados (Viteri, 2002). En nuestro concepto, el bocashi suplementado con caldos nutritivos microbianos permite, no sólo agregar materia orgánica al suelo, sino también dinamizar su componente biológico y balancear la nutrición de los cultivos, ya que según los resultados reportados por Viteri *et al.* (2005), el contenido de nutrientes de estos biofertilizantes es muy variado.

El objetivo principal del presente estudio fue validar en condiciones de campo los resultados iniciales del componente edáfico del proyecto "Investigación participativa en el manejo ecológico de la cebolla de bulbo en Boyacá", en los cuales el bocashi y los caldos rizósfera y super cuatro, bajo condiciones semicontroladas, mostraron ser los más promisorios para la producción de cebolla de bulbo. Dicho proyecto fue desarrollado por investigadores del Grupo Manejo Biológico de Cultivos del Programa de Ingeniería Agronómica de la UPTC., con la cofinanciación de Colciencias, Ocensa y los municipios de Cucaita y Tibasosa en Boyacá.

Materiales y métodos

Preparación del bocashi

El abono orgánico bocashi se preparó de acuerdo al protocolo de Restrepo (2000). En 5 L de agua se diluyeron 2 kg de melaza y 125 g de levadura. Luego, en un sitio seco se mezclaron 100 kg de suelo de la finca con 140 kg de cascarilla de arroz, 50 kg de gallinaza o bovinaza (según el caso), 50 kg de carbón vegetal, 5 kg de cal y 5 kg de salvado de trigo. Al mezclar los materiales se procedió a regarlos con la dilución de melaza y levadura y con agua hasta obtener el grado de humedad suficiente. El grado de humedad se ajustó por medio de la prueba del 'puño': se toma un puñado de la mezcla de materiales y se observa: si al apretar el puño escurre agua entre los dedos hay exceso de humedad y, por lo tanto, se debe agregar material seco; si al abrir el puño el material se desmorona indica que está muy seco y, por ende, se debe agregar

más agua hasta lograr la humedad ideal; ello ocurre cundo, al apretar el puño, no escurre agua entre los dedos y al abrirla el material no se desmorona. Una vez homogenizada la mezcla y en su punto ideal de humedad (aproximadamente 75%), la pila de materiales se cubrió con un plástico de color negro. El volteo de los materiales se realizó cada tres días. A los dos meses el bocashi estuvo listo para su utilización.

Preparación del caldo rizósfera

De acuerdo con el procedimiento de Agudelo (2001), la preparación del caldo rizósfera se inició con la selección de plantas sanas de borraja (*Borrago officinalis* L.), de ortiga (*Urtica urens* L.) y de limonaria (*Cymbopogon citratus* Stapf). A las raíces de 1 kg de plantas de cada especie se les agregó un poco de agua limpia (200 cm^3) y se licuaron. El licuado se filtró y recogió en una botella de 2 L y se le agregó 2 cm^3 de yogurt natural, 2 cm^3 de melaza, 3 g de harina y una gota de oxígeno líquido C-250 (Distribuido por la Fundación de Asesorías para el Sector Rural - FUNDASES, Bogotá). Después de revolver muy bien, al contenido se le agregó agua hasta un volumen de 1,5 L. La botella se tapó con algodón y se dejó en un lugar fresco durante una semana, agitando el contenido por lo menos una vez por día. Al término de la primera semana, el contenido se pasó a una caneca de 55 galones y se agregaron 4 cm^3 de yogurt, 8 g de harina, 1,5 L de agua limpia y 2 gotas de oxígeno líquido. La caneca se tapó con un lienzo y se dejó en un lugar bajo sombra durante otra semana. Luego, a partir de la tercera semana, el caldo microbiano fue alimentado semanalmente, hasta obtener un producto de color amarillo lechoso con una especie de lana felpuda (Indicadora del crecimiento de los microorganismos) en la superficie de color habano y de aproximadamente 2 cm de espesor. El calendario seguido para la alimentación semanal del caldo rizósfera se presenta en la tabla 1. Ocho días después el caldo rizósfera estuvo listo para ser utilizado.

Tabla 1. Calendario seguido en la alimentación de los microorganismos del caldo rizósfera.

Ingrediente	Semanas					
	3	4	5	6	7	8
Yogurt natural (cm^3)	8	16	25	50	100	200
Harina de soya (g)	16	30	60	125	250	500
Melaza (cm^3)	8	15	25	50	100	200
Oxígeno líquido C-250 (gotas)	3	6	15	25	50	100
Agua limpia (L)	3	6,5	12,5	25	50	100

Preparación del caldo super cuatro

De acuerdo con Agudelo (2001) el caldo super cuatro se preparó en una caneca plástica de 55 galones. Inicialmente se colocaron 60 kg de estiércol fresco de vacuno, se completó con agua hasta 150 L y se agregó 1 kg de melaza y 1 kg de cal dolomítica disuelta en 5 L de agua. El contenido de la caneca se agitó diariamente para oxigenar. Cada ocho días se adicionó 1 kg de melaza disuelta en 5 L de agua y uno de los ingredientes siguientes (producto comercial): 300 g de sulfato de cobre ($CuSO_4.5\,H_2O$) disueltos en agua tibia, 1 kg de sulfato de magnesio ($MgSO_4.7H_2O$), 1 kg de sulfato de zinc ($ZnSO_4.\,H_2O$) y 1 kg de bórax ($Na_2B_4O_7$). Finalmente, a la quinta semana se adicionó 1 kg de melaza, 1 L de leche y 1 kg de hígado de res licuado. Una semana después el caldo super cuatro estuvo listo para ser usado.

Establecimiento del semillero

El semillero se estableció en el huerto ecológico de la UPTC en Tunja, utilizando 1 kg de semilla del híbrido de cebolla Yellow granex. Después de preparar el suelo y abrir los surcos, se distribuyó la semilla y se tapó con cascarilla de arroz.

Definición de los tratamientos

Con base en los resultados obtenidos en condiciones semicontroladas, los tratamientos seleccionados para su validación en condiciones de campo fueron los siguientes: 1) bocashi gallinaza + caldo super cuatro + fertilizante triple 15 (BgCSF), 2) bocashi bovinaza + caldo super cuatro + fertilizante triple 15 (BbCSF), 3) bocashi gallinaza + caldo super cuatro + caldo rizósfera + fertilizante triple 15 (BgCSCRF), 4) bocashi bovinaza + caldo super cuatro + caldo rizósfera + fertilizante triple 15 (BbCSCRF), 5) testigo regional (TR) y 6) testigo absoluto (TA). Las parcelas correspondientes al testigo regional fueron manejadas por el agricultor y con la dosis de fertilizante tradicionalmente utilizada, sin reparar en el análisis de suelos ni en los requerimientos nutricionales del cultivo (680 $kg \cdot ha^{-1}$, equivalente a 102 kg de N, 102 kg de P_2O_5 y 102 de K_2O por hectárea, respectivamente. Con base en lo anterior y además con el ánimo de encontrar alternativas para reducir las cantidades de fertilizante que comúnmente se aplican al cultivo, los tratamientos 1, 2, 3 y 4 recibieron una dosis de 340 $kg \cdot ha^{-1}$; es decir, la mitad de la cantidad de fertilizante utilizada por el agricultor.

Establecimiento y manejo del cultivo

El cultivo se estableció en la finca "Luvita" del municipio de Cucaita, departamento de Boyacá, durante el segundo semestre del año 2004. El municipio está ubicado a una latitud norte de 05º 32' 45" y longitud oeste de 73º 27' 26", a una altura de 2.650 msnm, temperatura media de 14,2°C y una precipitación media anual de 760 mm. El suelo de la finca fue un Typic Dystrustepts (IGAC-UPTC, 2005) con textura franco arcillosa (moderadamente fina), pH 6,1 (ligeramente ácido), materia orgánica de 2,3% (bajo), P 163 ppm (alto), Ca 11,3 meq · 100 g suelo^{-1} (alto), Mg 1,8 meq · 100 g^{-1} de suelo (medio), K 0.9 meq · 100 g^{-1} de suelo (alto), Na 0,3 meq · 100 g^{-1} de suelo (bajo), CIC 14,3 meq · 100 g suelo^{-1} (medio), S 27,7 ppm (alto), Fe 65,6 ppm (medio), Mn 5,7 ppm (bajo), Cu 1,3 ppm (bajo), Zn 6,7 ppm (alto), B 0,7 ppm (medio) y Na 1.8 % (normal) (Fuente: Laboratorio de Diagnóstico de Suelos y Aguas, UPTC, Tunja).

A los dos meses de establecido el semillero se realizó el trasplante de la cebolla a una distancia de 3 cm entre plántulas y 20 cm entre surcos. De acuerdo con los tratamientos, los bocashi gallinaza y bovinaza se aplicaron al voleo al momento del trasplante a razón de 6,0 t · ha^{-1}. El fertilizante se aplicó también al voleo en dos fracciones iguales, una al transplante y otra al repique. El caldo super cuatro se aplicó en dosis de 1 L por bomba de 20 L a los 20, 40 y 60 días después del trasplante y el caldo rizósfera en dosis de 2 L por bomba a los 27, 47 y 67 días, cubriendo un área de 150 m^2 por bomba. Inmediatamente antes de empezar a ser utilizados, dos muestras de 500 mL de cada uno de los dos caldos fueron enviadas al Laboratorio de la Fundación de Asesorías para el Sector Rural – FUNDASES para el análisis microbiológico; los resultados de dicho análisis se presentan en la tabla 2.

El control de arvenses se efectuó con el herbicida Goal® (oxifluorfen) siguiendo las recomendaciones de la etiqueta. El riego se aplicó cuando las aguas lluvias no fueron suficientes. El control de plagas y enfermedades en los tratamientos 1, 2, 3 y 4 se efectuó a partir de los 15 días del trasplante con aplicaciones semanales de extractos vegetales de decocción de uchuva (*Physalis peruviana*) al 2% (500 mL por bomba de 20 L), infusión de uchuva al 5% (1 L por bomba), licuado y purín de helecho (*Pteridium aquilinum*) al 5% (1 L de cada extracto por bomba), purín e hidrolato ajo (*Allium sativum*) y ají (*Capsicum sp*.) al 10% (2 L de cada extracto por bomba) y purín e hidrolato de tabaco (*Nicotiana tabacum*) al 10% (2 L de cada extracto por bomba). El control fitosanitario realizado por el agricultor en el testigo regional fue netamente con productos químicos.

Tabla 2. Contenido microbiológico de los biofertilizantes utilizados para la producción sostenible de cebolla de bulbo en Cucaita (Boyacá).

Determinación	Bocashi gallinaza UFC/g	Bocashi bovinaza UFC/g	Caldo rizósfera UFC/mL	Caldo super cuatro UFC/mL^{-1}
Bacterias				
Totales	2,8 x 10^7	1,5 x 10^6	3,5 x 10^8	1,6 x 10^6
Fijadoras de N_2	1 x 10^6	1,5 x 10^5	2,5 x 10^7	3,6 x 10^5
Solubilizadoras de P	Menos de 10^3	1 x 10^5	8,4 x 10^6	Menos de 10^4
Lactobacillus	3,9 x 10^4	1,7 x 10^5	N.D	9,3 x 10^4
Actinomicetos	1,9 x 10^5	1,5 x 10^6	1 x 10^3	Menos de 10^4
Hongos				
Penicillium sp.	1 x10^4	1,2 x 10^4	N.D	N.D
Aspergillus sp.	2,6 x 10^5	1,5 x 10^4	N.D	N.D
Fusarium solani	5 x 10^2	N.D	N.D	N.D
Trichoderma	N.D.	1 x 10^3	N.D	Negativo
Fusarium oxysporum	Negativo	5 x 10^4	N.D	N.D
Levaduras	Menos de 10^2	1 x 10^4	4,8 x 10^6	5,1 x 10^5

Fuente: Laboratorio FUNDASES. N.D: No determinado por el laboratorio.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones (Gómez y Gómez, 1984). La unidad experimental fue de 45 m^2.

Variables determinadas

Las variables se determinaron durante el desarrollo del cultivo y a la cosecha. Durante el desarrollo del periodo vegetativo cada 15 días se determinó el porcentaje de incidencia de enfermedades, correspondiente al número de plantas por metro cuadrado en la parcela útil que presentaron cualquier síntoma en el follaje, relacionado especialmente con el complejo amarillera (*Peronospora destructor, Alternaria porri* y *Stemphyllium sp.)*. A la cosecha se determinó el número total de bulbos, el peso de bulbos sanos, el peso de bulbos enfermos, el peso total de bulbos y el diámetro ecuatorial del bulbo. El diámetro se determinó con un calibrador en 25 bulbos sanos seleccionados al azar por parcela.

Análisis estadístico

Los datos de cada variable fueron sometidos al análisis de varianza y a la prueba LSD, al nivel de significancia indicado por el análisis de varianza.

Resultados y discusión

Incidencia de enfermedades y efecto de los biofertiliantes

La figura 1 ilustra la tendencia en la incidencia de enfermedades en el cultivo, especialmente las relacionadas con el complejo amarillera, bajo la influencia de las alternativas de biofertilización. La figura muestra que en general los porcentajes de incidencia aumentaron de los 30 hasta los 60 días, luego disminuyeron hasta los 75 días y finalmente aumentaron nuevamente hasta el último muestreo. Según el análisis de varianza las diferencias entre tratamientos fueron significativas al 1% a los 30, 45, 90 y 105 días, al 5% a los 75 días y no significativas a los 60 días del trasplante. Excepto a los 60 días, los menores porcentajes de incidencia se presentaron en las parcelas fertilizadas con BgCSF (bocashi gallinaza, caldo super cuatro y fertilizante) y BbCSCRF (bocashi bovinaza, caldo super cuatro, caldo rizósfera, fertilizante). Estos dos tratamientos a los 30, 45 y 90 días se diferenciaron significativamente del resto de tratamientos, a los 75 días únicamente del testigo absoluto y a los 105 días del testigo absoluto y las otras dos alternativas de fertilización.

La menor incidencia de enfermedades observada en las parcelas fertilizadas con BgCSF y BbCSCRF indica que, particularmente en estos dos tratamientos, la combinación de fertilizante químico con biofertilizantes fue más efectiva. La superioridad de estos dos tratamientos en cuanto a sus efectos en contra de las enfermedades que atacan al cultivo pudo derivarse de lo microbiológico y lo químico. En el sentido microbiológico es posible que la apreciable diversidad de microorganismos que fue introducida por medio de los bocashis, el caldo rizósfera y el caldo super cuatro generó condiciones que favorecieron el crecimiento del cultivo pero no la proliferación de fitopatógenos, especialmente los del complejo amarillera. Efectivamente, la tabla 2 muestra que, además de la alta densidad de población de bacterias totales y de los grupos específicos fijadores libres de nitrógeno atmosférico (N_2) y solubilizadores de P, por medio de los biofertilizantes se introdujo también una muy apreciable población de actinomicetos, los cuales son reconocidos no solo en términos de su participación en la mineralización de la materia orgánica (Sylvia *et al.*, 1998, 2005) sino también por la producción de antibióticos que contribuyen al control biológico de varios fitopatógenos del suelo (Alexander, 1977; Brock *et al.*, 1994).

Aparte del componente bacterial, la tabla 2 también muestra que se introdujo una considerable diversidad de hongos, incluido *Trichoderma sp.* y *Penicillium sp.* que

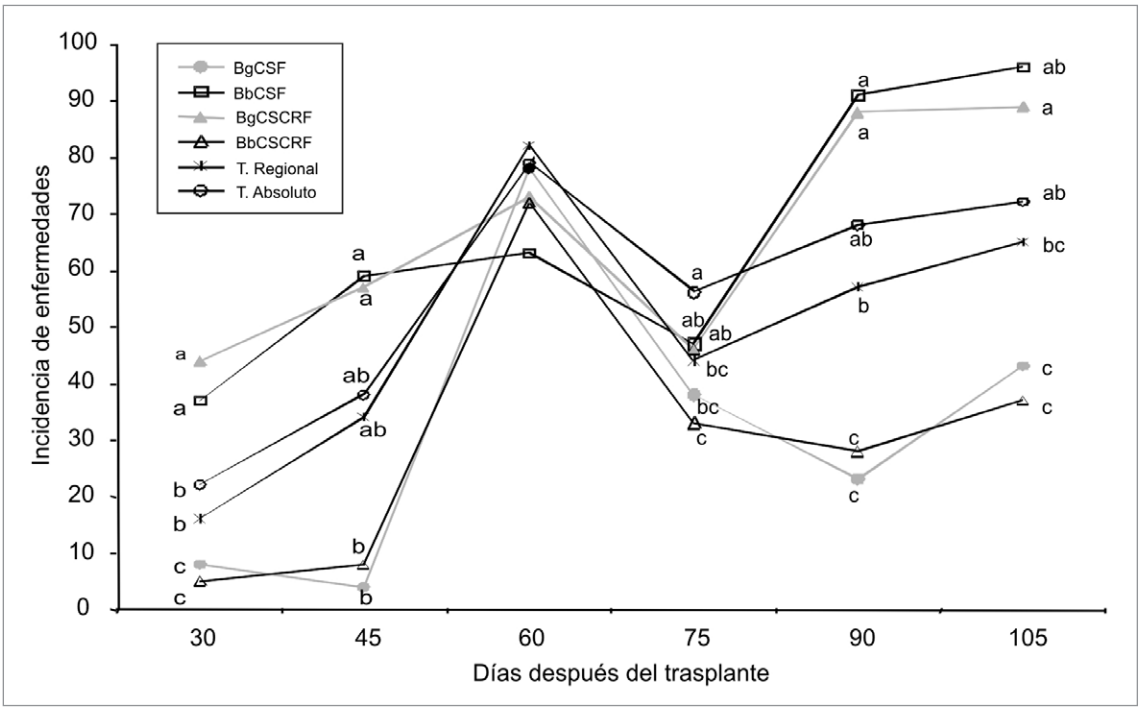

Figura 1. Incidencia de enfermedades durante el desarrollo del cultivo de cebolla de bulbo bajo la influencia de las alternativas de biofertilización. Cucaita, Boyacá. 2004.

han sido reportados como agentes de control biológico de fitopatógenos, entre ellos el *Sclerotium cepivorum* (Cook y Baker, 1989), hongo que se ha constituido en el factor más limitantes de la producción de cebolla de bulbo en varias regiones. En relación al *Lactobacillus sp*., aparte de ser conocido como el género de bacterias responsable de la fermentación ácido láctica (Brock *et al*., 1994) su papel específico en el suelo, al igual que el de las levaduras, es aún desconocido (Alexander, 1977).

En el sentido químico, se destaca el alto contenido de P y S en cada uno de los biofertilizantes pero especialmente de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y B en el caldo super cuatro (Viteri *et al*., 2005). No cabe la menor duda que esta gran variedad de nutrimentos contribuyó a un equilibrio en la nutrición del cultivo, generando también de esta manera condiciones desde el punto de vista fisiológico no favorables para el crecimiento de microorganismos nocivos para su desarrollo. Esta última aseveración se basa en la teoría de la trofobiosis de Chaboussou (citado por Restrepo, 2000), según la cual las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por una nutrición equilibrada que impide la formación de sustancias nutritivas vitales para la propagación de fitopatógenos (azúcares y aminoácidos libres) entre los cuales se encuentran hongos, bacterias y virus.

Lo anterior prueba que sí es posible reducir la incidencia de enfermedades en los cultivos a través de alternativas que integren adecuadamente la aplicación de NPK con la de biofertilizantes que, además de microorganismos para activar los procesos biológicos del suelo, aportan una gran variedad de nutrimentos que promueven, no solamente el buen crecimiento y desarrollo del cultivo, sino también su defensa del ataque de fitopatógenos.

Tabla 3. Efectos de las alternativas de biofertilización sobre algunas de las variables relacionadas con la producción de cebolla de bulbo. Cucaita (Boyacá), 2004.

Tratamiento	No. bulbos por parcela útil ($21m^2$)	Peso bulbos enfermos ($t \cdot ha^{-1}$)*	Peso bulbos sanos ($t \cdot ha^{-1}$)*	Peso total bulbos ($t \cdot ha^{-1}$)*	Diámetro bulbo (cm)**
Bocashi gallinaza + caldo super cuatro + fertilizante	537	5,6	24,8	31,3 a	7,0 a
Bocashi bovinaza + caldo super cuatro + fertilizante	533	5,6	22,6	29,2 a	6,7 a
Bocashi gallinaza + caldo super cuatro + caldo rizósfera + fertilizante	604	6,4	31,6	37,9 a	7,0 a
Bocashi bovinaza + caldo super cuatro + caldo rizósfera + fertilizante	494	6,4	33	27,6 b	7,1 a
Testigo Regional	530	13,3	22,3	35,6 a	7,4 a
Testigo absoluto	531	4,1	14,3	18,5 b	4,9 b
Significancia	ns	ns	ns	1%	1%

En las columnas, valores con la misma letra no difieren significativamente.
Promedio de 4 repeticiones; ** Promedio de 25 bulbos por parcela.

Efecto de los biofertilizantes sobre la producción de cebolla

Los resultados de los efectos de las alternativas de biofertilización sobre las variables relacionadas con la producción de cebolla de bulbo se presentan en la tabla 3. Las diferencias entre tratamientos en cuanto al número de bulbos y peso de bulbos enfermos y sanos no fueron significativas; sin embargo, desde el punto de vista de producción llama la atención el hecho que el mayor peso de bulbos sanos se obtuvo en los tratamientos correspondientes a cada uno de los bocashis suplementado con caldo super cuatro, caldo rizósfera y fertilizante (BbCSCRF y BgCSCRF), con una diferencia frente al testigo regional de alrededor de 10 $t \cdot ha^{-1}$.

Es posible que los procesos biológicos activados por los microorganismos introducidos, especialmente a través del caldo rizósfera (tabla 2), fueron favorables para una nutrición mejor balanceada del cultivo, hecho que se reflejó también en el mayor peso de bulbos sanos. En relación con el peso total y el diámetro de los bulbos las alternativas de biofertilización se diferenciaron del testigo absoluto al 1%, pero no alcanzaron a superar al testigo regional. Esta observación frente al testigo regional merece consideración, puesto que si bien al inicio las diferencias frente a la técnica convencional aplicada por el agricultor en el testigo regional no alcanzaron a ser significativas, ellas podrían llegar a serlo en un corto tiempo, puesto que las alternativas evaluadas además de una cantidad razonable de NPK incluyen una fuente adicional de varios elementos nutritivos (Viteri *et al*., 2005) y un potencial microbiológico (tabla 2) que no simplemente influyen en la obtención de mayores rendimientos del cultivo sino que, más importante aún, contribuyen activamente a la recuperación de las propiedades físicas, químicas y

biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002) y a su sostenibilidad a través del tiempo.

Frente a la fertilización a base de NPK convencionalmente utilizada por los agricultores es preciso recordar que de los 16 elementos que son considerados esenciales para el crecimiento de las plantas 13 son absorbidos desde el suelo (Tisdale *et al.*, 1993). Por lo tanto, el balance en la nutrición de la planta está relacionado con la disponibilidad de esta variedad de elementos en el suelo y no solamente con la aplicación masiva de sales solubles de N, P y K, especialmente en suelos donde el contenido de elementos menores es bajo como es el caso de los suelos de Cucaita.

Bajo estos conceptos, la combinación de la fertilización convencional NPK con la aplicación de bocashi y caldos microbianos, como alternativas de biofertilización para el cultivo de cebolla de bulbo, resulta apropiada puesto que además de la amplia gama de elementos nutritivos que se derivan como producto de la mineralización de los bocashis y de la composición química de los caldos super cuatro y rizósfera (Viteri *et al.*, 2005), desde el punto de vista microbiológico se adiciona la contribución específica de los grupos funcionales fijadores de N_2 y solubilizadores de P.

Los resultados del presente estudio permiten inferir que el bocashi gallinaza o bovinaza, suplementado con caldo rizósfera y caldo super cuatro, constituye una alternativa tecnológica con mucho potencial para la producción sostenible de cebolla de bulbo particularmente en Cucaita y, en general, para la reorientación del enfoque de la producción agrícola de acuerdo con los principios agroecológicos planteados por Altieri y Nicholls (2000). Cabe resaltar que dicho trabajo de investigación es pionero en cuanto a la documentación del contenido microbiológico de los biofertilizantes bocashi, caldo rizósfera y caldo super cuatro y sus efectos en el cultivo de cebolla bajo condiciones de campo, dado que en la literatura no existen reportes al respecto.

Ante el desafío planteado a través de la aprobación del Tratado de Libre Comercio, una de las mayores preocupaciones de los productores agrícolas, no solamente de Cucaita sino también de otras regiones del país, es como competir en los mercados con suficientes volúmenes y productos de calidad. Aunque la respuesta a este interrogante tiene que ver no solamente con el cambio tecnológico sino también con las formas de organización social y todos los demás elementos que comprenden el sistema cultural de las comunidades productoras (Meneses, 1995), desde el punto de vista tecnológico resulta muy gratificante que a través de esta investigación se haya verificado que frente a la fertilización convencional con solo productos de síntesis química como 10-30-10 o 15-15-15, existen alternativas que, en lugar de la degradación, permiten la recuperación y sostenibilidad a través del tiempo. La verificación de este nuevo enfoque para la producción de cultivos, y en particular el de la cebolla de bulbo, significa la generación de una nueva herramienta tecnológica que de acuerdo con el concepto de desarrollo sostenible al ser efectiva para la gestión y conservación de los recursos naturales, garantiza además de la seguridad alimentaria de las comunidades rurales su empoderamiento para responder con éxito a todas sus expectativas de progreso y desarrollo.

Conclusiones

El análisis e interpretación de los resultados de esta investigación permiten las conclusiones siguientes:

- Tanto los bocashis como el caldo rizósfera y caldo super cuatro aportan al suelo una gran cantidad y diversidad de microorganismos benéficos, los cuales juegan papel importante en el balance de la nutrición de la planta y su defensa contra el ataque de fitopatógenos a través de su probable contribución a la mineralización de la materia orgánica, la fijación de nitrógeno atmosférico, la solubilización de fósforo y la producción de antibióticos.

- Las combinaciones de bocashi gallinaza con caldo super cuatro y fertilizante, y de bocashi bovinaza con los caldos super cuatro y rizósfera y fertilizante, resultaron ser muy efectivas en términos de fitoprotección, ya que a lo largo del desarrollo del cultivo estos dos tratamientos mostraron consistentemente los menores porcentajes de incidencia de enfermedades.

- Pese a que en las variables relacionadas con la producción del cultivo de cebolla de bulbo ninguna de las alternativas de biofertilización se diferenció significativamente del testigo regional, especialmente los bocashis en combinación con caldo rizósfera, caldo super cuatro y una razonable cantidad de fertilizante químico se perfilan como una buena alternativa puesto que, además de igualar desde el inicio al manejo convencional (fertilización química y agrotóxicos), tienen un potencial microbiológico y químico que es muy promisorio para

la sostenibilidad de la producción y la preservación de la calidad ambiental en el futuro.

Agradecimientos

Al señor Alfonso Hernández y familia por haber suministrado el lote para la realización del experimento; a Colciencias, Ocensa y la Alcaldía del Municipio de Cucaita (Boyacá) por la cofinanciación del proyecto; finalemtne, a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja) por la financiación del proyecto.

Literatura citada

Agudelo, A. 2001. Agricultura orgánica: Un proyecto de vida, con la vida y para la vida. Pronatta, Acción Campesina Colombiana y Emcoba. Editorial Jotamar Ltda. Puente Nacional, Santander. 44 p.

Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd. edition. John Wiley & Sons, New York. 467 p.

Altieri, M. y C. Nicholls. 2000. Agroecología: teoría y prácticas para una agricultura sustentable. 1ª. edición. Pnuma, México DF. 43 p.

Brock, T., M. Madigan, J. Martinko y J. Parker. 1994. Biology of microorganisms. Seventh edition. Prentice Hall, New Jersey. 909 p.

Cook, R. y K.F. Baker. 1989. The nature and practice of biological control of plant pathogens. Amer. Phytopathol. Soc. 539 p.

Esquema de ordenamiento territorial (EOT). 2002. Municipio de Cucaita. 198 p.

Gómez, K.A. y A.A. Gómez, 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. 680p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2005. Estudio general de suelos y zonificación de tierra del departamento de Boyacá. Tomos I y II. Bogotá.

Meneses, O. 1995. Tecnología, cultura y participación: Elementos para la construcción del desarrollo sostenible. Cuadernos de Desarrollo Rural. 34, 25-45.

Restrepo, J. 1998. La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: Una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil. Colección 'Agricultura orgánica para principiantes'. Editorial Simas, Managua, Nicaragua. pp. 1-13.

Restrepo, J., 2000. Teoría de la trofobiosis. Plantas Enfermas por el uso de venenos en la agricultura. Colección 'Agricultura orgánica para principiantes'. Editorial Simas, Managua, Nicaragua. pp. 1-27.

Restrepo, J., 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en mesoamérica y Brasil. San José de Costa Rica. pp. 1-49.

Socorro, A. y E. Parets. 2001. Manejo agro ecológico de suelos y nutrición vegetal, capitulo V. En: www.geocities.com/arsocorro/agrícola/capítuloV_manejo.htm; consulta: julio 2006.

Soto, G. y G. Meléndez, 2004. ¿Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos? Manejo integrado de plagas y agroecología. No. 72. Catie, Usda, Asdi. Costa Rica. p. 91.

Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.T. Hartel y D. Zuberer. 1998. Principles and applications of soil microbiology. Prentice Hall, London. 550 p.

Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.T. Hartel y D. Zuberer. 2005. Principles and applications of soil microbiology. 2a edición. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 640 p.

Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5ª ed. Macmillan Publishing Co., New York. 663 p.

Viteri R, S.E. 2002. Selección de cultivos de cobertura con potencial para el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Samacá, Boyacá. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 150 p.

Viteri, S, M. Méndez y D. Restrepo. 2005. Investigación participativa hacia un manejo ecológico de la cebolla de bulbo en Cucaita y Tibasosa – Boyacá. Apuntes para un manejo ecológico, Serie 5. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 19 p.