

# Potencial de los caldos rizósfera y súper cuatro como biofertilizantes para la sostenibilidad del cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa*)

## Potential of the rhizosphere and super four broths as biofertilizers for the sustainability of the onion bulb (*Allium cepa*) culture

Silvio E. Viteri<sup>1</sup>, Marcela Granados<sup>2</sup> y Ana Rosa González<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de los caldos rizósfera y súper cuatro como biofertilizantes para la sostenibilidad del cultivo de cebolla de bulbo. Los caldos se analizaron química y microbiológicamente y se aplicaron a materas, en concentración del 10% a los 20, 40 y 60 días del trasplante. El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y 30 repeticiones. Las variables evaluadas fueron número y longitud de hojas y diámetro y peso del bulbo. El análisis químico mostró que cada caldo contiene una gran variedad de nutrientes que son esenciales para la nutrición equilibrada de la planta. Por su parte, el análisis microbiológico indicó que cada caldo representa una fuente muy importante de microorganismos benéficos, especialmente el caldo rizósfera por su mayor población de hongos y de bacterias totales, fijadoras de N<sub>2</sub> y solubilizadoras de fósforo. En cuanto a los efectos sobre el crecimiento del cultivo, cada caldo por separado igualó al testigo químico y superó a la mezcla de los dos y al testigo absoluto. Sin embargo, los valores de conductividad eléctrica indican que se debe tener especial cuidado con el número de aplicaciones. Razón por la cual se recomienda que los dos biofertilizantes se apliquen semanalmente, como suplemento de la fertilización, en secuencia rotativa y en integración con prácticas agronómicas que permitan mantener niveles adecuados de materia orgánica, para asegurar la multiplicación y actividad no solamente de los microorganismos introducidos por medio de los biofertilizantes sino también de las poblaciones nativas del suelo.

**Palabras clave:** agricultura biológica, agricultura sostenible, biofertilización, bioinsumos agrícolas.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the potential of the rhizosphere and super four broths as biofertilizers for the sustainability of the onion bulb culture. The broths were analyzed chemically and microbiologically, and applied to onion bulb pots at 10% concentration at 20, 40, and 60 days after transplanting. A complete randomized design was used with five treatments and 30 replicates. The variables evaluated were leaf number and length, and bulb diameter and weight. The chemical analysis showed that each broth contained a great variety of nutrient elements that are essential for the nutritional balance of the plant. Likewise, the microbiological analysis indicated that each broth represents a very important source of beneficial microorganisms, especially the rhizosphere broth due to its greater population of fungi and of total bacteria, nitrogen fixers, and phosphorus solubilizers. In relation to plant growth, each broth showed results similar to the chemical control, and superior to the mixture of them and the absolute control. However, the electrical conductivity values indicate that special care should be taken with the number of applications. For this reason it is recommended that both biofertilizers be applied weekly, as a supplement to the fertilization, in a rotary sequence and in integration with agronomic practices that maintain adequate levels of organic matter to secure the multiplication and activity not only of the microorganisms introduced through the biofertilizers but also the indigenous soil populations.

**Key words:** biological agriculture, sustainable agriculture, biofertilization, agricultural bio-inputs.

## Introducción

Los grados de contaminación ambiental y de agotamiento de los recursos básicos para la producción de alimentos y fibras que hoy en día se observan en varias regiones del mundo son parte de los resultados de la adopción del

modelo de la revolución verde desde los comienzos de la segunda mitad del siglo XX. En este escenario la seguridad alimentaria, la salud y en general el bienestar y posibilidades de progreso y desarrollo de las comunidades que dependen del agro se encuentran en alto riesgo (Medina y León, 2004). La situación se torna aún más crítica si se

Fecha de recepción: 13 de diciembre de 2007. Aceptado para publicación: 5 de noviembre de 2008.

<sup>1</sup> Profesor titular, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. sviteri@uptc.edu.co

<sup>2</sup> Ingenieras agrónomas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja.

tiene en cuenta que en la actualidad existe una mayor demanda de productos de mayor calidad y libres de residuos tóxicos, tanto en los mercados nacionales como en los internacionales.

Debido a lo anterior, actualmente los agricultores tienden a cambiar los fertilizantes y pesticidas convencionales por insumos agrícolas que les permitan producir los alimentos de acuerdo con las exigencias actuales de los mercados. El reemplazo de los agroquímicos resulta conveniente desde todo punto de vista (Silva-Acuña y Arias, 2007); el problema estriba en que en los países en vía de desarrollo los fundamentos científicos que soporten la validez y potencial de los nuevos insumos que están siendo utilizados como alternativa, entre los cuales figuran los caldos rizósfera y súper cuatro, aún no han sido documentados. En consecuencia los criterios para su elaboración y para su aplicación a los cultivos aún se basan en consideraciones meramente artesanales (Viteri, 2002).

Frente a esta situación, los esfuerzos de los investigadores se deben dirigir a documentar los principios y fundamentos de esta nueva tendencia en la producción agrícola con el fin de determinar si las alternativas utilizadas tienen efectivamente potencial para reorientar el enfoque de la producción agrícola hacia un modelo que, como proponen Altieri y Anderson (1986) y Altieri y Nicholls (2000), en sinergia real con la ecología y la economía, dé énfasis a la biodiversidad, al reciclaje de nutrientes, a la regeneración y conservación de los recursos y a las interacciones positivas entre cultivos, animales, suelos y el resto de componentes biológicos en los agroecosistemas.

El objetivo general de esta investigación fue contribuir a la fundamentación de este nuevo enfoque en la agricultura, al determinar la composición química y microbiológica de los caldos rizósfera y súper cuatro y los efectos de su aplicación sobre el crecimiento y desarrollo de la cebolla de bulbo. Los resultados permitirán precisar si estos dos bioinsumos verdaderamente tienen potencial como alternativas de biofertilización, específicamente para la producción de cebolla de bulbo con un enfoque sostenible. El trabajo se desarrolló como parte inicial del componente edáfico del proyecto "Investigación participativa en el manejo ecológico del cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en Boyacá", el cual fue cofinanciado por Colciencias, Ocesa y los municipios de Cucaita y Tibasosa y ejecutado por investigadores del Grupo Manejo Biológico de Cultivos (GMBC), del Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), durante los años 2003 a 2005.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el invernadero del Programa de Ingeniería Agronómica de la UPTC, en Tunja, a una altura de 2.680 msnm. Los materiales utilizados fueron los caldos rizósfera y súper cuatro, suelo, semilla de cebolla de bulbo (Híbrido Yellow granex) y fertilizante 15-15-15.

El semillero de cebolla se estableció en un área del lote de la UPTC, asignado al Grupo de Investigación Manejo Biológico de Cultivos, donde no se había sembrado cebolla anteriormente. El terreno se preparó, niveló y surcó a una profundidad de 2 a 3 cm. La semilla se distribuyó a chorrillo y se tapó con una mezcla de suelo y cascarilla de arroz. El riego se suministró cada 3 días.

Simultáneamente al establecimiento del semillero se empezó la elaboración de los caldos. La preparación de los caldos rizósfera y súper cuatro se basó en el protocolo de Ramírez y Agudelo (2001), respectivamente siguiendo la secuencia descrita por Méndez y Viteri (2007). A los 2 meses, del mismo lote donde se estableció el semillero se coleccionó una cantidad de suelo suficiente para llenar 150 materas, cada una con capacidad de 2 kg. Una vez llenadas las materas se trasplantó la cebolla, 2 plántulas por matera. A los 15 días del trasplante se realizó el raleo dejando la mejor planta por matera y se organizaron 5 grupos de 30 materas, a cada uno se le asignó al azar uno de los tratamientos siguientes: 1. Caldo rizósfera (10%), 2. Caldo súper cuatro (10%), 3. Caldo rizósfera (10%) + caldo súper cuatro (10%), 4. Testigo químico (fertilizante 15:15:15) y 5. Testigo absoluto. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con 30 repeticiones. Los tratamientos se aplicaron a la base del tallo a los 20, 40 y 60 días del trasplante. En cada aplicación las materas correspondientes a los tratamientos 1 y 2 recibieron 50 mL del caldo respectivo disueltos en 450 mL de agua, las del tratamiento 3 una mezcla de 50 mL de caldo rizósfera y 50 mL del caldo súper cuatro disueltos en 400 mL de agua, las del testigo químico 3 g de fertilizante triple 15 disueltos en 500 mL de agua (equivalente a una aplicación de 1.000 kg·ha<sup>-1</sup>) y las del testigo absoluto 500 mL de agua. El riego se suministró cada 3 días. Antes de la utilización, de cada uno de los caldos se tomaron dos muestras representativas de 500 mL, una se envió al laboratorio Agrosoil para el análisis químico y la otra al laboratorio de la Fundación de Asesorías para el Sector Rural (Fundases) para el análisis microbiológico. Igualmente del suelo utilizado para el llenado de las materas se tomó una muestra representativa y se envió también al Agrosoil Lab para análisis de fertilidad. Los resultados de dicho análisis se presentan en la tabla 1.

Las variables determinadas en el cultivo fueron número y longitud de hojas a los 90 días del trasplante y peso y diámetro del bulbo a la cosecha (120 días después del trasplante). Los datos de cada variable se sometieron al análisis de varianza y a la prueba Duncan (Gómez y Gómez, 1984).

**TABLA 1.** Características del suelo utilizado en el estudio.

| Determinación                       | Valor  | Nivel crítico |
|-------------------------------------|--------|---------------|
| Textura                             | Franca | -             |
| pH                                  | 7,1    | Neutro        |
| N <sub>total</sub> (%)              | 0,1    | Bajo          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm) | 449    | Muy alto      |
| S (ppm)                             | 7,5    | Bajo          |
| K (meq·100 g <sup>-1</sup> )        | 3      | Alto          |
| Ca (meq·100 g <sup>-1</sup> )       | 9,3    | Alto          |
| Mg (meq·100 g <sup>-1</sup> )       | 9,5    | Alto          |
| Na (meq·100 g <sup>-1</sup> )       | 0,2    | Medio bajo    |
| Fe (ppm)                            | 18     | Bajo          |
| B (ppm)                             | 0,4    | Medio         |

Fuente: Agrosoil Lab.

## Resultados y discusión

### Composición química de los caldos utilizados como biofertilizantes

Los resultados del análisis químico de los caldos se presentan en la tabla 2; indican que tanto el caldo rizósfera como el caldo súper cuatro contienen una gran variedad de nutrimentos, constituida por elementos mayores, secundarios y menores, que son esenciales para el equilibrio en la nutrición de la planta (Tisdale *et al.*, 1993). Teniendo en cuenta que no se ha establecido un sistema para categorizar el contenido nutricional de productos que se utilizan como biofertilizantes, al resultado de cada una de las determinaciones se le asignó un nivel crítico, tomando como base los rangos establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la interpretación de los resultados del análisis de suelos (Castro, 1998). Según dichos niveles críticos, el contenido de P y S en los dos biofertilizantes es alto, al igual que el de Cu y Zn en el caldo rizósfera y el de B, Cu, Fe, Mg y Zn en el caldo súper cuatro. La excepción la constituyen el Ca, Fe y Mn en el caldo rizósfera y el Mn en el caldo súper cuatro, cuyos contenidos figuran por debajo del nivel crítico que se tomó como referencia. Esta variedad de elementos nutricionales, cuyos contenidos generalmente superan los niveles críticos (tabla 2), permite inferir que cualquiera de los dos biofertilizantes podría utilizarse apropiadamente como suplemento de la fertilización convencional que el agricultor generalmente aplica a

sus cultivos, consistente en altas dosis de N, P y K, a través de fertilizantes compuestos. Esta inferencia es apropiada puesto que, pese a la gran variedad de elementos nutritivos que cada uno de ellos presenta, es necesario tener en cuenta que los requerimientos nutricionales de los cultivos, especialmente de N, P y K, generalmente son altos (Tisdale *et al.*, 1993); por lo tanto, tratar de suplir dichos requerimientos por medio de cualquiera de estos dos biofertilizantes implicaría incrementar considerablemente el número de aplicaciones, lo cual no sería adecuado por al menos dos razones principales: 1. El incremento en el costo de mano de obra y 2. La alta conductividad eléctrica, especialmente del caldo súper cuatro. Los valores de conductividad eléctrica registrados en la tabla 2 son demasiado altos, si se tiene en cuenta que, en términos de riego, las aguas que tienen una conductividad eléctrica menor de 0,75 ds·m<sup>-1</sup> se consideran satisfactorias para todos los cultivos y las que tienen valores mayores de 2,25 ds·m<sup>-1</sup> conducen rara vez a buenos rendimientos (Richards, 1954; Tisdale *et al.*, 1993). El otro punto que respecto a la conductividad eléctrica de los caldos debe tenerse en cuenta es la conductividad eléctrica del suelo ya que, según la escala de Richards (1954), en el rango de 0 a 2 ds·m<sup>-1</sup> los efectos de salinidad son despreciables, en el rango de 2 a 4 ds·m<sup>-1</sup> los rendimientos de cultivos muy sensibles pueden ser restringidos, en el rango de 4 a 8 ds·m<sup>-1</sup> los rendimientos de muchos cultivos son restringidos, en el rango de 8 a 16 ds·m<sup>-1</sup> solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente y con valores mayores de 16 ds·m<sup>-1</sup> poquísimos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente. Según Tisdale *et al.* (1993), los rendimientos se restringen principalmente por toxicidad causada por Na y Cl. Por lo tanto, la frecuencia de aplicación de cualquiera de estos dos biofertilizantes debe formularse muy cuidadosamente teniendo en cuenta la composición química del suelo; de lo contrario, el uso indiscriminado de cualquiera de los dos biofertilizantes podría generar o agravar problemas de salinidad en el suelo. Además de las limitaciones anteriores, es preciso tener en cuenta que ninguno de los dos biofertilizantes incluye una fuente de materia orgánica, la cual es esencial para la sostenibilidad de la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002), a través de sus efectos no solo sobre las propiedades físicas y químicas sino especialmente sobre la activación del potencial biológico del suelo (Alexander, 1977; Burbano, 1989; Sylvia *et al.*, 1998, 2005). En cuanto al pH, aunque el caldo rizósfera presenta un valor bastante bajo (pH 4,6), se infiere que las cantidades (en dilución del 10%) que semanalmente se aplicarían al cultivo no alcanzarían a producir ningún impacto sobre el pH del suelo, el cual generalmente tiene resistencia a los cambios de acidez (Tisdale *et al.*, 1993), especialmente si su contenido de materia orgánica es el adecuado (Burbano, 1989).

**TABLA 2.** Composición química de los caldos utilizados como biofertilizantes.

| Determinación                            | Caldo rizósfera |                    | Caldo súper cuatro |                       |
|--|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
|  | Contenido       | Nivel crítico*     | Contenido          | Nivel crítico*        |
| pH                                       | 4,6             | Muy fuertemente    | 5,8                | Moderadamente ácido   |
| C. orgánico (%)                          | 2,7             | Alto               | 0,5                | Bajo                  |
| N (%)                                    | 1,2             | Alto               | 1,4                | Alto                  |
| Relación C:N                             | 2,3             | Baja               | 1,4                | Baja                  |
| P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (ppm) | 300             | Alto               | 1.400              | Alto                  |
| S (ppm)                                  | 1.900           | Alto               | 2.000              | Alto                  |
| K (meq·100 g <sup>-1</sup> )             | 5,7             | Alto               | 11                 | Alto                  |
| Ca (meq·100 g <sup>-1</sup> )            | 1,7             | Medio              | 6,7                | Alto                  |
| Mg (meq·100 g <sup>-1</sup> )            | 2,5             | Bajo               | 19,5               | Alto                  |
| Na (meq·100 g <sup>-1</sup> )            | 0,4             | Medio              | 4,4                | Alto                  |
| Fe (ppm)                                 | 3               | Bajo               | 200                | Alto                  |
| Cu (ppm)                                 | 10              | Alto               | 100                | Alto                  |
| Mn (ppm)                                 | 2               | Bajo               | 10                 | Bajo                  |
| Zn (ppm)                                 | 10              | Alto               | 2.000              | Alto                  |
| B (ppm)                                  | -               | -                  | 600                | Alto                  |
| CE (ds·m <sup>-1</sup> )                 | 8,2             | Fuertemente salino | 23,5               | Extremadamente salino |

Fuente: Agrosoil Lab.

\* Valor asignado según los niveles críticos establecidos por el IGAG para la interpretación de los resultados del análisis de suelos.

### **Análisis microbiológico de los caldos utilizados como biofertilizantes**

Los resultados del análisis microbiológico de los caldos se presentan en la tabla 3. De acuerdo con las normas de control de calidad que establecen que para que los microorganismos introducidos por medio de biofertilizantes tengan posibilidad de colonizar el suelo la densidad de población debe ser mínimo de 10<sup>8</sup> UFC·g<sup>-1</sup>, como lo es en el caso de los inoculantes para leguminosas (Vincent, 1970; Somasegaran y Hoben, 1985), el biofertilizante que en cuanto a bacterias totales cumple con dicha normatividad es el caldo rizósfera (tabla 3). Entre dicha población bacteriana figuran los grupos funcionales fijadores de nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>) y solubilizadores de fósforo, cuyo aporte es fundamental para la nutrición de las plantas (Alexander, 1977; Tisdale *et al.*, 1993; Brock *et al.*, 1994; Sylvia *et al.*, 1998, 2005). Además, en este biofertilizante se registró una muy aceptable población del hongo *Geotrichum* y de levaduras. El *Geotrichum* es un hongo imperfecto del suelo (Atlas y Bartha, 1981), importante en la descomposición de sustancias pécticas en los residuos vegetales (Alexander, 1977) que se utilizan como fuente de materia orgánica. En cuanto a las levaduras, la densidad de población fue también considerable, sin embargo el papel que ellas desempeñan en el suelo es aún desconocido (Alexander, 1977), como lo es también el del *Lactobacillus sp.*

En comparación al caldo rizósfera, la densidad de población microbiana en el caldo súper cuatro fue considerablemente más baja, a excepción del grupo específico fijadores de N<sub>2</sub>. Según el reporte del laboratorio de microbiología de la empresa Fundases, el microorganismo predominante en el caldo súper cuatro fue una levadura de color rosado y consistencia cremosa, la cual solubilizó P (halo de solubilización de aproximadamente 0,5 mm en 4 días). Esta observación merece consideración desde dos puntos de vista, primero porque contribuye al entendimiento de la función de las levaduras en el suelo que hasta hoy se reporta como desconocida (Alexander, 1977) y segundo por su potencial como una nueva alternativa para la solución de los problemas relacionados con la baja disponibilidad de P en los suelos tropicales, donde, debido a la acidez, la fijación de este elemento, principalmente por el aluminio, constituye uno de los factores más limitantes para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez, 1981). Según Castro (1998), la acidez que se registra en más del 70% de los suelos de Colombia es responsable de la baja disponibilidad del P para los cultivos. La presencia de actinomicetos en el caldo súper cuatro resulta también muy interesante ya que es bien conocido que este grupo de microorganismos desempeña importantes funciones en el suelo, entre las cuales se destacan su contribución a la descomposición de los constituyentes más resistentes de la materia orgánica

(lignina, celulosa y hemicelulosa) (Sylvia *et al.*, 1998, 2005) y la producción de antibióticos que juegan papel importante en el control biológico de patógenos que ocasionan pérdidas económicas en los cultivos (Cook y Baker, 1989; Alexander, 1977). La relativa baja población microbiana encontrada en el caldo súper cuatro permite concebir el potencial de este biofertilizante relacionado más con el aporte de elementos esenciales (tabla 2) para el equilibrio en la nutrición de la planta, que con su contribución de microorganismos benéficos al suelo.

Estas observaciones, desde el punto de vista de su composición química y microbiológica, permiten inferir que en términos agronómicos cada uno de estos dos biofertilizantes por separado constituye un magnífico complemento del otro: el caldo rizósfera aporta básicamente la diversidad microbiana con la densidad de población adecuada para la activación del potencial microbiológico del suelo y el caldo súper cuatro la variedad de nutrientes para el equilibrio en la nutrición de los cultivos, especialmente en suelos donde el contenido de micronutrientes es bajo, como en los suelos de Cucaita, Boyacá, donde la cebolla de bulbo representa la principal fuente de ingreso en su economía (Méndez y Viteri, 2007).

**TABLA 3.** Composición microbiológica de los caldos utilizados como biofertilizantes.

| Microorganismo                           | Caldo rizósfera (UFC/mL) | Caldo súper cuatro (UFC/mL) |
|--|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Bacterias</b>                         |                          |                             |
| Totales                                  | $2,6 \times 10^8$        | $2 \times 10^3$             |
| Fijadoras de nitrógeno (N <sub>2</sub> ) | $2 \times 10^4$          | $2 \times 10^3$             |
| Solubilizadoras de fósforo (P)           | $4,8 \times 10^6$        | $2 \times 10^3$             |
| Actinomicetos                            | Ausentes                 | Menos de $10^4$             |
| Lactobacilos                             | $3 \times 10^2$          | Ausentes                    |
| <b>Hongos</b>                            |                          |                             |
| <i>Geotrichum sp.</i>                    | $4,8 \times 10^5$        | -                           |
| Levaduras                                | $6,8 \times 10^5$        | $5,1 \times 10^3$           |

Fuente: Laboratorio Fundases.

## Efectos de los caldos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo

Los resultados de la aplicación de los biofertilizantes sobre cuatro de las variables agronómicas relacionadas con el crecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla de bulbo se presentan en la tabla 4. El análisis de varianza mostró que en cada una de las variables determinadas las diferencias entre tratamientos fueron altamente significativas (1%). En las dos variables relacionadas con el crecimiento el caldo rizósfera superó a los demás tratamientos, excepto al testigo

químico en cuanto al número de hojas. El caldo súper cuatro, aunque significativamente inferior al caldo rizósfera, no se diferenció del testigo químico y resultó también superior a la mezcla de los biofertilizantes y al testigo absoluto. En contraste, la mezcla de los dos biofertilizantes resultó significativamente inferior a cada uno de ellos aplicado por separado y al testigo químico, lo cual indica que dicha mezcla no fue adecuada. El testigo absoluto resultó inferior a todos los tratamientos pese a que, según los resultados del análisis, el suelo utilizado en el presente estudio tenía muy buenas condiciones de fertilidad (tabla 1).

En cuanto al diámetro y peso del bulbo, el caldo rizósfera no se diferenció del súper cuatro ni del testigo químico y estos tres tratamientos resultaron significativamente superiores a la mezcla de los biofertilizantes y al testigo absoluto. Cabe resaltar que en cuanto a estas dos variables, que reflejan los efectos de los tratamientos directamente sobre la producción, tanto el caldo rizósfera como el súper cuatro igualaron al testigo químico, el cual, además del aporte del alto nivel de fertilidad del suelo (tabla 2), recibió una aplicación de fertilizante 15:15:15, equivalente a  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Esta observación destaca el gran potencial que cada uno de los caldos ofrece como biofertilizante para el cultivo de cebolla de bulbo. La mezcla de los dos caldos, al igual que en las dos variables relacionadas con el crecimiento de la planta, resultó inferior a cada uno de ellos aplicado separadamente e igual al testigo absoluto, lo que refleja una vez más que la mezcla no es una opción recomendable, debido posiblemente a la generación de condiciones no adecuadas de supervivencia de las poblaciones microbianas o interacciones negativas como resultado de incompatibilidad entre algunas de las poblaciones.

Estos resultados indican que en condiciones de suelo fértil, como el utilizado en este estudio (tabla 2), cualquiera de los dos biofertilizantes aplicado por separado conduce a la producción de bulbos con tamaño y peso similares a los que se pueden obtener mediante la aplicación de altas dosis de fertilizante NPK, como tradicionalmente lo hace el agricultor. El problema estriba en que en general en el trópico la gran mayoría de suelos no son fértiles, por el contrario se caracterizan por ser ácidos, pobres en materia orgánica, con deficiencias nutricionales muy limitantes, principalmente de nitrógeno y fósforo (Sánchez, 1981). Con estas limitaciones, la sola aplicación de caldo rizósfera o caldo súper cuatro no sería suficiente para nutrir adecuadamente la planta y obtener rendimientos que desde el punto de vista de rentabilidad sean aceptables. Si bien es cierto que, con las debidas medidas de precaución para su aplicación, tanto su potencial nutricional (tabla



**TABLA 4.** Respuesta del cultivo de cebolla de bulbo a la aplicación de los biofertilizantes, en condiciones de invernadero. UPTC, Tunja.

| Tratamiento                          | Variables                    |                                     |                                      |                                 |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|                                      | Número de hojas <sup>1</sup> | Longitud de hojas (cm) <sup>1</sup> | Diámetro del bulbo (cm) <sup>2</sup> | Peso del bulbo (g) <sup>1</sup> |
| Caldo rizósfera                      | 11,0 a                       | 75,8 a                              | 5,3 a                                | 67,1 a                          |
| Caldo súper cuatro                   | 10,5 b                       | 70,0 b                              | 5,3 a                                | 65,3 a                          |
| Caldo rizósfera + caldo súper cuatro | 10,0 c                       | 65,8 c                              | 5,1 ab                               | 57,2 b                          |
| Testigo químico                      | 10,7 ab                      | 69,8 b                              | 5,4 a                                | 65,5 a                          |
| Testigo absoluto                     | 9,5 d                        | 45,1 d                              | 4,8 b                                | 49,7 b                          |
| <b>Significancia</b>                 | <b>1%</b>                    | <b>1%</b>                           | <b>1%</b>                            | <b>1%</b>                       |

<sup>1</sup> Promedio de 10 repeticiones.

<sup>2</sup> Promedio de 30 repeticiones.

Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).

2) como microbiológico (tabla 3) resultan muy atractivos, es preciso tener en cuenta una vez más que, además del riesgo indicado por los altos valores de conductividad eléctrica, ninguno de los dos biofertilizantes incluye una fuente de materia orgánica. Por lo tanto, tomando en consideración el énfasis que enfoca el nuevo modelo agroecológico (Altieri y Anderson, 1986; Altieri y Nicholls, 2000), los resultados obtenidos en este estudio permiten sugerir que el uso de estos dos caldos como biofertilizantes sea semanalmente en secuencia rotativa y además en integración con prácticas agronómicas que contribuyan efectivamente al mantenimiento de niveles adecuados de materia orgánica en el suelo, de manera que tanto los microorganismos nativos como los introducidos a través de cada uno de los biofertilizantes, al disponer de suficiente alimento, puedan multiplicarse en el suelo y desarrollar efectivamente sus funciones específicas. En los últimos tiempos los abonos verdes, particularmente en regiones de clima frío, se perfilan como la práctica agronómica de mayor potencial agroecológico y la más viable para el agricultor y, como resultado de investigaciones recientes, ya existen recomendaciones específicas para su uso (Viteri, 2002; Viteri y Méndez, 2003; Viteri y Velandia, 2006; Hernández y Viteri, 2006). La integración de prácticas alternativas para la sostenibilidad de la producción de cultivos resulta muy adecuada si se tiene en cuenta que, si el agricultor continúa con la sola aplicación de fertilizante NPK, además del desbalance en la nutrición de los cultivos, el incremento de los problemas fitosanitarios y ambientales (Silva-Acuña y Arias, 2007) y la mala calidad de los productos, la degradación de la capacidad productiva del recurso suelo es inminente (Viteri, 2002) y en consecuencia la constante disminución de los rendimientos.

El bajo costo que implica la elaboración de estos dos biofertilizantes soporta también su potencial como una alter-

nativa muy posible para el agricultor. Con una inversión muy módica, de cada uno de los biofertilizantes se obtiene inicialmente un producto concentrado el cual hay que diluir al 10% para aplicarlo. De esta manera, una caneca de 200 L alcanza para un mes de aplicaciones semanales en una extensión de aproximadamente cuatro fanegadas. Según Restrepo (2001), las aplicaciones se pueden efectuar por medio de fumigadora o del sistema de riego, dirigidas directamente al suelo, al pie de las plantas.

## Conclusiones

El análisis y la interpretación de los resultados de este estudio conducen a las conclusiones siguientes:

Desde el punto de vista químico tanto el caldo rizósfera como el súper cuatro contienen una fuente muy variada de elementos nutritivos esenciales para el balance en la nutrición de la planta y por lo tanto puede utilizarse cada uno como suplemento en la fertilización de los cultivos.

Desde el punto de vista microbiológico, los dos biofertilizantes contienen microorganismos benéficos que mediante procesos específicos contribuyen positivamente al crecimiento y desarrollo de las plantas, pero se destaca especialmente el caldo rizósfera el cual, además de fijadores de nitrógeno, aporta una mayor densidad de población de bacterias totales, solubilizadores de fósforo, lactobacilos y hongos.

Con el fin de aprovechar adecuadamente el potencial químico y microbiológico de estos dos biofertilizantes, se recomienda que su aplicación se realice en secuencia semanal rotativa; el caldo rizósfera dirigido principalmente a activar el componente biológico del suelo y el caldo súper cuatro a asegurar el balance en la nutrición de las plantas.

El uso de estos dos biofertilizantes debe integrarse con otras prácticas agronómicas, como la de abonos verdes, de manera que se pueda mantener niveles adecuados de materia orgánica en los suelos, para asegurar la multiplicación y activación de los microorganismos introducidos y promover el potencial agronómico de las poblaciones nativas del suelo.

El bajo costo de elaboración de cada uno de los caldos contribuye a soportar su potencial como alternativa que puede adoptar fácilmente el agricultor para la producción sostenible de sus cultivos.

## Agradecimientos

A la ingeniera agrónoma Sonia Aguirre por su dirección en la planeación inicial de los experimentos, a la UPTC por la financiación del proyecto y a Colciencias, Ocesa y los municipios de Cucaita y Tibasosa (Boyacá) por la cofinanciación.

## 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. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Nueva York. 467 p.
- Altieri, M.A. y M.K. Anderson. 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the third world. Amer. J. Alter. Agric. 1, 30-38.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2000. Agroecología: teoría y prácticas para una agricultura sustentable. Pnuma, México. 43 p.
- Atlas, R.M. y R. Bartha. 1981. Microbial ecology: fundamentals and applications. Addison-Wesley Publishing Co., Londres. 560 p.
- Burbano Orjuela, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. Serie Investigaciones No. 1. Universidad de Nariño, Pasto. 447 p.
- Brock, T., M. Madigan, J. Martinko y J. Parker. 1994. Biology of microorganisms. 7<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey. 909 p.
- Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Produmedios, Tunja. 360 p.
- Cook, R. y K.F. Baker. 1989. The nature and practice of biological control of plant pathogens. American Phytopathological Society. 539 p.
- Gómez, K.A. y A.A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Nueva York. 680 p.
- Hernández, D.M. y S.E. Viteri. 2006. Selección de abonos verdes para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos de Boyacá. Agron. Colomb. 24(1), 131-137.
- Medina, N. y O. León. 2004. Biotechnology and sustainable agriculture: biofertilizers and biopesticides. En: Pugwash workshop, <http://www.pugwash.org/reports/ees/cuba2004/02>. 33 p.; consulta: julio de 2008.
- Méndez, M.J. y S.E. Viteri. 2007. Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. Agron. Colomb. 25(1), 168-175.
- Ramírez, C. 2001. Reforzando nuestros conocimientos. Módulo 6. pp. 38-44. En: Agudelo, A. (ed.). Agricultura orgánica: un proyecto de vida, con la vida y para la vida. Pronatta, Acción Campesina Colombiana y Emcoba. Editorial Jotamar, Puente Nacional, Santander. 44 p.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. San José, Costa Rica. pp. 1-49.
- Richards, L.A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Manual de Agricultura No. 60. Imprenta Venecia, México D.F. 172 p.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. IICA, San José, Costa Rica. 634 p.
- Silva-Acuña, R. y B. Arias Rivas. 2007. Los calificativos de la agricultura y su relación con el control de enfermedades de plantas. En: Ceniap Hoy, 3, <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/index.htm>. 9 p.; consulta: julio de 2008.
- Somasegaran, P. y H.J. Hoben. 1985. Methods in legume-*Rhizobium* technology. University of Hawaii, NifTAL Project and Mircen, Hawaii. 367 p.
- Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.T. Hartel y D. Zuberer. 1998. Principles and applications of soil microbiology. Prentice Hall, Londres. 550 p.
- Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.T. Hartel y D. Zuberer. 2005. Principles and applications of soil microbiology. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall, Londres. 550 p.
- Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5<sup>th</sup> ed. Macmillan Publishing, Nueva York. 663 p.
- Vincent, J.M. 1970. A manual for the practical study of the root-nodule bacteria. IBP Handbook No. 15. International Biological Programme, Londres. 164 p.
- Viteri, 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, UPTC, Tunja. 150 p.
- Viteri, S.E. y M.J. Méndez. 2003. Abonos verdes: selección e introducción de abonos verdes para la sostenibilidad de los sistemas de producción en los municipios de Samacá, Turmequé, Tunja y Paipa, Boyacá. Cartilla técnica divulgativa. UPTC, Tunja. 35 p.
- Viteri, S.E. y J. Velandia. 2006. Evaluación de asociaciones vegetales por su potencial como fuente de materia orgánica para los suelos de Samacá (Boyacá). Agron. Colomb. 24(1), 138-146.

