



BIONUTRICIÓN DE PLANTAS DE CAFÉ

Ángela María Castro-Toro*

Carlos Alberto Rivillas-Osorio**

* Bacterióloga, M.Sc en Fitopatología. Organización de Industrias Unidas S.A. Orius Biotecnología. Villavicencio, Meta., Colombia. angela.castro@cafedecolombia.com. orius@orius.com.co

** Investigador Científico III. Fitopatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. carlos.rivillas@cafedecolombia.com

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la fertilización es una de las labores que exige mayor cumplimiento en su ejecución dada la necesidad y la importancia que tiene esta actividad en el ingreso de nutrimentos para la planta y en el retorno que hacen éstas a través de la producción durante su ciclo productivo. En el cultivo de café, la nutrición de las plantas es uno de los aspectos más importantes, actividad agronómica que debe realizarse en el momento oportuno y con los nutrimentos requeridos para obtener plantas con buen crecimiento y desarrollo, sanas y productivas. Sin embargo, tradicionalmente esta labor ha resultado demasiado costosa para el productor de café, con costos promedios por hectárea de aproximadamente 16% del total de los costos totales de producción, cifra que sufre modificaciones principalmente cuando se registran variaciones en los precios internacionales del petróleo. La fertilización química (inorgánica) es una opción tecnológica difícil de sustituir en la producción de los cultivos, la cual ve comprometida su eficacia al tener que enfrentar factores adversos para la asimilación efectiva de los nutrimentos por parte de los cultivos, pero que además es muy vulnerable en su uso adecuado por las aplicaciones que se realizan las cuales son unas veces con sobredosificaciones y en otras con subdosificaciones. Así mismo, se trata de una tecnología, especialmente en los países en vía de desarrollo, de alta contaminación ambiental por los usos a veces inadecuados y carentes de respaldo en análisis de suelos. Con base en estas consideraciones se plantea la conveniencia de utilizar la opción biológica como una forma de aprovechar de mejor manera y más limpiamente la toma y solubilización de algunos nutrimentos para las plantas, tal como se ha pretendido al querer aumentar la explotación de la fijación biológica del nitrógeno (FAO, 1985). De este modo, cada día el uso de los biofertilizantes en alternancia con los fertilizantes químicos cobra mayor importancia, buscando garantizar una producción en los cultivos libre de residuos químicos, rentable y sostenible.

La Biofertilización consiste en el uso de ciertos microorganismos capaces de incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, producir compuestos como vitaminas, hormonas y antibióticos que contribuyen a la sanidad vegetal y a la obtención de altos rendimientos. El nitrógeno es un gas muy abundante en la atmósfera que puede ser incorporado al suelo como materia orgánica nitrogenada por medio de la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Dentro del grupo de microorganismos más empleados en la biofertilización se encuentran las bacterias de vida libre o asimbióticas que fijan el nitrógeno atmosférico (*Azotobacter*, *Azomonas*, *Azospirillum*, etc.).

Desde le punto de vista ecológico, la aplicación de productos biológicos, permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes. En adición, se mantiene la capacidad productiva, se preserva la biodiversidad y se contribuye a una producción más estable y sostenida a largo plazo en equilibrio con el entorno (Hernández y Chailloux, 2001).

Dada la importancia de estas bacterias y en desarrollo de un convenio, se estableció un experimento con el propósito de evaluar el producto biológico comercial BACTHON® (*Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*) en la bionutrición de plantas de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se inició en julio de 2002, con plantas de café Var. Colombia de seis meses de sembradas en el campo [(Estación Central Naranjal (Chinchiná-Caldas), con una temperatura promedio de 20°C y una humedad relativa del 78%]. En la Tabla 1, se presentan las condiciones de suelo al inicio del experimento. A partir del momento en que se estableció el experimento, las plantas de café se fertilizaron con productos químicos y el producto biológico BACTHON®. La fertilización se realizó cada cuatro meses (marzo, julio y noviembre de cada año) intercalando la fertilización química con la biológica. Durante el primer ciclo productivo de las plantas (cinco años de establecidas las plantas en campo), se evaluaron variables de crecimiento, de producción y presencia de la enfermedad Mancha de Hierro al interior de cada grupo de tratamientos (Grupo 1: Cuatro dosis de Fertilización química; Grupo 2: Reducción de las dosis entre 25% y 50% del fertilizante químico + una aplicación del fertilizante biológico/año; Grupo 3: Reducción de dosis del 75% del fertilizante químico + dos aplicaciones del fertilizante biológico/año; Grupo 4: Fertilizante biológico).

Para el segundo ciclo productivo de las plantas (renovadas por zoca), se están evaluando los mismos tratamientos que se llevaron a cabo en condición de plantilla. En este poster se presenta la información relacionada con los resultados del primer ciclo productivo.

Tabla 1. Características físico – químicas del suelo al inicio del experimento (Estación Central Naranjal).

Sustrato	pH	MO	N	Ar	L	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Mn	Zn	Cu	Textura
Naranjal	5,2	%				Me/100g				ppm				FA	
		12,9	0,49	13	29	0,19	1,8	0,6	0,5	2	227	18	4	3	

La valoración de los resultados, se realizó mediante un análisis de varianza para un diseño experimental en bloques al azar. Se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey al nivel del 5%. El experimento tuvo 12 tratamientos con cinco repeticiones por tratamiento. Cada tratamiento se dispuso en una parcela experimental conformada por 12 árboles efectivos. En la Tabla 2, se describen los tratamientos evaluados en el experimento.

Tabla 2. Agrupación de tratamientos para análisis estadístico. Plan de fertilización de las plantas en etapa de crecimiento (años 2002-2003) y etapa productiva (años 2004-2006).

AÑO	GRUPO	DOSIS					NÚMERO DE APLICACIONES/AÑO	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total	Biológico	Químico	Biológico
		Kg/ha/año			Kg/ha/año	L/ha		
2002 2003	Fertilizante Químico	174	92	81	347	-	3	-
		128	69	60	257	-	3	-
		87	46	41	174	-	3	-
		44	23	20	87	-	3	-
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	Fertilizante Químico + BACTHON	86	46	42	174	1.5	2	1
		58	32	28	118	1.5	2	1
		30	16	14	60	1.5	2	1
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	Fertilizante Químico + BACTHON	43	23	21	87	3.0	1	2
		29	26	14	69	3.0	1	2
		15	8	7	30	3.0	1	2
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	BACTHON	-	-	-	-	4.5	-	3
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
2004 2006	Fertilizante Químico	352	147	386	885	-	3	-
		264	110	289	663	-	3	-
		176	74	193	443	-	3	-

		88	37	96	221	-	3	-
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	Fertilizante Químico	178	74	194	446	1.5	2	1
	+ BACTHON	118	50	130	298	1.5	2	1
		60	26	66	152	1.5	2	1
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	Fertilizante Químico	89	37	97	223	3.0	1	2
	+ BACTHON	59	25	65	149	3.0	1	2
		30	13	33	76	3.0	1	2
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-
	BACTHON	-	-	-	-	4.5	-	3
	Testigo absoluto	-	-	-	-	-	-	-

Aplicación del fertilizante químico

Se realizó con base en el análisis de suelos. En las Tablas 3 y 4, se describe las cantidades utilizadas por tratamiento en la etapa de crecimiento y reproductiva.

Tabla 3. Fuentes y dosis de cada nutrimento (g). Etapa de crecimiento

UREA(g)	DAP (g)	KCL (g)	TOTAL/PLANTA (g)
15	10	7	32
11	8	5	24
8	5	3	16
3	3	2	8

Tabla 4. Fuentes y dosis de cada nutrimento (g). Etapa de producción

UREA (g)	DAP (g)	KCL (g)	TOTAL/PLANTA (g)
32	16	32	80
24	12	24	60
16	8	16	40
8	4	8	20

Aplicación del fertilizante biológico

Etapa de crecimiento: Se aplicó un volumen de 40ml/planta a una concentración de 5 ml/L, lo cual significó utilizar una dosis de 1.5 L de BACTHON®/ha de café sembrado. Se empleó para la aplicación del producto biológico un equipo de presión previa retenida con boquilla de baja descarga.

Etapa de producción: Se aplicó un volumen de 80ml/planta a una concentración de 3 ml/L, lo cual significó utilizar una dosis de 1.5 L de BACTHON®/ha de café sembrado. Se empleó para la aplicación del producto biológico un equipo de presión previa retenida con boquilla de baja descarga.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa Plantilla (Primer Ciclo Productivo)

Crecimiento de las plantas

Las plantas que tuvieron mayor altura y número de cruces, fueron las pertenecientes al tratamiento donde se utilizó la dosis de 178 kg/ha/año de N, 74 kg/ha/año de P₂O₅ y 194 kg/ha/año de K₂O (446 kg/ha/año) (aplicaciones inicio y final) + el insumo biológico (1.5 L/ha/año) (aplicación intermedia) presentando diferencias estadísticas significativas con las plantas testigo. En la Tabla 5, se presenta la información registrada al final del primer ciclo productivo de las plantas de café.

Tabla 5. Variables de crecimiento y desarrollo en plantas de café, al final del primer ciclo productivo (Noviembre de 2006).

GRUPO	DOSIS				ALTURA (cm)	CRUCES (N°)	RAMAS (N°)	HOJAS (N°)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Biológico				
	Kg/ha/año			L/ha				
Fertilizante Químico	352	147	386	-	255.6 a	52.0 a	85.7 a	1768 a
	264	110	289	-	236.8 a	48.5 ab	79.0 ab	1419 b
	176	74	193	-	235.0 a	47.6 ab	79.0 ab	1430 b
	88	37	96	-	244.8 a	50.4 ab	82.8 ab	1404 b
Testigo absoluto	-	-	-	-	207.2 b	44.8 b	74.0 b	1364 b
Fertilizante Químico + BACTHON®	178	74	194	1.5	250.8 a	52.0 a	86.9 a	2038 a
	118	50	130	1.5	236.4 a	47.2 ab	79.6 ab	1615 b
	60	26	66	1.5	239.4 a	47.4 ab	75.2 b	1526 b
Testigo absoluto	-	-	-	-	207.2 b	44.8 b	74.0 b	1364 b
Fertilizante Químico + BACTHON®	89	37	97	3.0	237.6 ab	47.6 a	80.2 a	1471 a
	59	25	65	3.0	244.4 a	47.7 a	77.0 a	1579 a
	30	13	33	3.0	221.6 bc	45.0 a	74.3 a	1575 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	207.2 c	44.8 a	74.0 a	1364 a
BACTHON®	-	-	-	4.5	208.4 a	42.8 a	71.8 a	1380 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	207.2 a	44.8 a	74.0 a	1363 a

Letras iguales comparan igualdad estadística según Tukey al 5%

Con la reducción de los nutrientes a 466 Kg/ha/año en alternancia con el producto biológico, se mejoró la asimilación del fertilizante por parte de las plantas, hecho que se vio reflejado en el mayor desarrollo de las mismas. Estas bacterias por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico e incrementar el nitrógeno requerido por la planta, y por ser inductoras de efectos hormonales pueden mejorar el crecimiento y metabolismo de estas, incrementar el desarrollo y generar una mayor actividad en el sistema radical, provocando un aumento en la toma de minerales y agua; además de presentar una mayor actividad de la nitrato reductasa bacteriana en la raíz, enzima que incrementa la acumulación de nitrato en las plantas inoculadas (Parra y Cuevas, 2001). Estos mismos autores, observaron que el efecto de la inoculación de *Azospirillum* sobre el incremento del rendimiento total de los cultivos en experimentos de campo, generalmente oscila entre 10% y 30%. Se considera que incrementos moderados en el rendimiento (hasta el 20%) son comercialmente valiosos en la agricultura moderna si se obtienen consistentemente.

Las plantas que no recibieron la adición del fertilizante y las que solo tuvieron la aplicación del insumo biológico, registraron los valores más bajos en el crecimiento durante todo el primer ciclo productivo del cultivo. Dejar de suministrar nutrimentos para la nutrición de las plantas significa empobrecer el suelo de ese nutrimento, hecho que se vio reflejado, como ocurrió en este experimento, en las siguientes cosechas de café. Aplicar solo el insumo biológico no es recomendable para obtener un mayor crecimiento de las plantas, ya que las bacterias necesitan de la presencia de nutrimentos en el suelo, para cumplir con sus funciones y hacer que esos minerales sean de fácil asimilación por parte de las plantas.

En la Figura 1, se ilustra el aspecto general de las plantas pertenecientes al grupo donde se aplicó la dosis más alta de nutrientes (885 Kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O) (grupo 1); las plantas con la reducción de nutrientes a 446 Kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O + el producto biológico (1.5 L/ha/año) (grupo 2) y una planta testigo que no recibió aplicación de fertilizantes. Se observa cómo la planta a la cual se le redujo la cantidad de fertilizante químico y se alternó con el insumo biológico, presentó el mayor desarrollo de follaje en comparación con la planta que recibió la dosis más alta del fertilizante químico. Este resultado evidencia el beneficio que le brindan las bacterias a sus hospedantes, a través de una mejor disponibilidad de nutrimentos, estimulando su crecimiento y desarrollo. Las plantas testigo presentaron deficiencias nutricionales, caída temprana de las hojas

y disminución de su crecimiento, mostrando la necesidad de una fertilización adecuada y oportuna para suplir sus necesidades y así garantizar la obtención de plantas sanas y productivas.



Figura 1. Aspecto general de las plantas de café. Nutrientes (885 Kg/ha/año) (A). Nutrientes (446 Kg/ha/año) + el producto biológico (1.5 L/ha/año) (B). Planta sin fertilización (C).

Con respecto a la valoración del peso seco de raíz y parte aérea de las plantas de café (Tabla 6), se observa que a pesar de no presentarse diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al interior de los cuatro grupos valorados, las plantas que recibieron la dosis del insumo biológico solo (4.5 L/ha/año) (grupo 4) y la dosis correspondiente a 446 kg/ha/año + el insumo biológico (grupo dos), presentaron el mayor desarrollo de raíces en comparación con el resto de tratamientos. Parra y Cuevas (2001), mencionan que la inoculación de la bacteria *Azospirillum* en las plantas, conlleva a un aumento significativo del sistema radical, además de inducirles resistencia al ataque de patógenos y proveerles elementos necesarios para su crecimiento como el nitrógeno. También mencionan que esta bacteria inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, permitiéndole un desarrollo más armónico y saludable a los cultivos. Ese efecto marcado sobre el sistema radical, incluye incrementos en el número de raíces/planta, número y longitud de las raíces laterales las cuales incrementan el volumen radical y aumento en el peso seco de la raíz, número, densidad y aparición temprana de los pelos radicales.

La preservación de los suelos utilizados en los cultivos, es un aspecto de trascendencia que la mayoría de las personas que cultivan el campo en sus labores agrícolas no tienen en cuenta. Varios autores (Glick, 2003; Khan, 2005; Glick 2010; Ma, *et al*, 2011) han demostrado que las rizobacterias pueden eliminar hidrocarburos aromáticos como el tolueno o naftaleno, pesticidas como las atrazinas, aditivos de la gasolina como el tricloruro de etilo, sustancias tóxicas como el cianuro de potasio y algunos herbicidas, pesticidas, refrigerantes, solventes y otros compuestos químicos que van degradando paulatinamente el suelo. También mejoran la estructura del suelo, aumentan la agregación de las partículas, incrementan la aireación, la permeabilidad y la retención de humedad y la mineralización de los residuos orgánicos.

Tabla 6. Valores promedio del peso seco de raíz y parte aérea de las plantas de café al final del primer ciclo productivo.

GRUPO	DOSIS				PESO SECO RAÍZ (g)	PESO SECO AÉREO (g)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Biológico		
	Kg/ha/año			L/ha		
Fertilizante Químico	352	147	386	-	475.7 a	3389.6 a
	264	110	289	-	529.2 a	3495.0 a
	176	74	193	-	493.9 a	3057.7 a
	88	37	96	-	523.2 a	3145.6 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	476.7 a	2473.7 b

Fertilizante Químico + BACTHON®	178	74	194	1.5	667.8 a	3378.2 a
	118	50	130	1.5	487.3 a	3380.0 a
	60	26	66	1.5	526.1 a	3048.6 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	476.7 a	2473.7 b
Fertilizante Químico + BACTHON®	89	37	97	3.0	354.3 a	3282.3 a
	59	25	65	3.0	582.8 a	3235.0 a
	30	13	33	3.0	468.3 a	2946.9 ab
Testigo absoluto	-	-	-	-	476.7 a	2473.7 b
BACTHON®	-	-	-	4.5	716.2 a	2525.7 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	476.7 a	2473.7 a

Letras iguales comparan igualdad estadística según Tukey al 5%

Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola*)

En relación con la enfermedad Mancha de Hierro en los frutos de café, al final del primer ciclo productivo (cuarta cosecha), la incidencia de la enfermedad tuvo un promedio entre 23% y 43%. En el grupo dos, el tratamiento que tuvo un nivel bajo de la enfermedad en comparación con los demás tratamientos de su grupo y con los tratamientos de los otros tres grupos fue el correspondiente a la dosis de 446 kg/ha/año (aplicaciones inicio y final) + el insumo biológico (1.5 L/ha/año) (aplicación intermedia), presentando una incidencia de 9.4%. Las plantas correspondientes a este tratamiento además de tener el mayor crecimiento y desarrollo, también tuvieron los niveles más bajos de ataque de *Cercospora coffeicola* en los frutos (Tabla 7). Con la dosis mencionada anteriormente, las plantas en su crecimiento y sanidad muestran el beneficio de la aplicación de las bacterias en la asimilación de nutrientes y en la producción de hormonas bacterianas. Este resultado es de mucha trascendencia en café, ya que en este cultivo ha sido demostrado la estrecha relación que existe entre la presencia de la Mancha de Hierro en los frutos de café y la inoportuna e inadecuada nutrición que se le suministre al cultivo.

La severidad de Mancha de Hierro en los frutos de café, durante el primer ciclo productivo, estuvo entre los grados 1 y 3. El mayor número de granos afectados por la enfermedad se encontró en el grado 1, infección donde el daño en el fruto es muy leve. La menor cantidad de granos afectados estuvo en el grado 3. Esta enfermedad empieza a ocasionar pérdidas económicas en la cantidad y calidad de la cosecha de café cuando alcanza el grado 3 de infección en este cultivo. Las plantas pertenecientes al testigo absoluto mostraron los niveles más altos de severidad de la enfermedad (en los tres grados) en comparación con las plantas que recibieron la fertilización química y biológica. Durante los tres años de evaluación de la enfermedad, los mayores niveles de enfermedad en el grado 1 (menor severidad), que fueron las plantas tratadas con el fertilizante químico solo o en alternancia con el biológico mostraron diferencias estadísticas significativas con el testigo absoluto, al interior de los grupos evaluados. Esto indica que las plantas no fertilizadas sufrieron en mayor proporción el daño que causa este hongo patógeno en las cerezas de café. Al final del primer ciclo productivo (noviembre/06), se pudo determinar que la dosis de 446 kg/ha/año + el insumo biológico (1.5 L/ha/año) (grupo dos), fue la que generó los niveles más bajos de severidad en los tres grados donde se registró la enfermedad, en comparación con los demás tratamientos (Tabla 8).

Tabla 7. Promedio de Mancha de Hierro en frutos de café, al final del primer ciclo productivo para las dosis de cada grupo (año 2006).

GRUPO	DOSIS				INCIDENCIA MANCHA DE HIERRO EN FRUTOS (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Biológico	MAR/06	JUL/06	NOV/06
	Kg/ha/año			L/ha			
Fertilizante Químico	352	147	386	-	13.92 b	10.86 c	23.29 c
	264	110	289	-	10.09 b	14.46 bc	26.21 c
	176	74	193	-	9.17 b	17.82 b	29.50 bc
	88	37	96	-	10.84 b	18.35 b	42.65 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	19.72 a	35.13 a	37.58 ab
Fertilizante	178	74	194	1.5	2.30 c	6.93 c	9.39 c

Químico + BACTHON®	118	50	130	1.5	7.19 b	22.81 b	30.12 b
	60	26	66	1.5	8.01 b	23.53 b	39.28 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	19.72 a	35.13 a	37.58 ab
Fertilizante Químico + BACTHON®	89	37	97	3.0	3.89 c	13.57 c	23.31 b
	59	25	65	3.0	8.07 b	13.75 c	38.35 a
	30	13	33	3.0	8.86 b	24.15 b	39.35 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	19.72 a	35.13 a	37.58 a
BACTHON®	-	-	-	4.5	10.64 b	20.93 b	28.95 b
Testigo absoluto	-	-	-	-	19.72 a	35.13 a	37.58 a

Letras iguales comparan igualdad estadística según Tukey al 5%

En la Figura 2, se observa el aspecto de los frutos de café afectados por *C. Coffeicola*, empleando diferentes dosis de fertilización (las dosis más altas y las más bajas de cada grupo). La incidencia y severidad más alta se observó en los frutos de las plantas que recibieron las dosis más reducidas de fertilizante químico y en el testigo absoluto (sin fertilización).



A



B



C



D



E



F



G



H

Figura 2. Frutos de café afectados por Mancha de Hierro. A. Nutrientes (885 Kg/ha/año). B. Nutrientes (221 Kg/ha/año). C. Nutrientes (446 Kg/ha/año) + el insumo biológico (1.5 L/ha/año). D. Nutrientes (152 Kg/ha/año) + el insumo biológico (1.5 L/ha/año). E. Nutrientes (223 Kg/ha/año) + el insumo biológico (3.0 L/ha/año). F. Nutrientes (76 Kg/ha/año) + el insumo biológico (3.0 L/ha/año). G. Insumo biológico (4.5 L/ha/año). H. Sin fertilización.

Tabla 8. Valores promedio de severidad de Mancha de Hierro en frutos de café, para cada grupo (Noviembre/06)

GRUPO	DOSIS				SEVERIDAD MANCHA DE HIERRO EN FRUTOS (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Biológico	GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3
	Kg/ha/año			L/ha			
Fertilizante Químico	352	147	386	-	11.35 a	7.0 b	4.92 b
	264	110	289	-	11.93 a	9.0 b	5.27 b
	176	74	193	-	12.81 a	10.86 ab	5.82 b
	88	37	96	-	16.16 a	15.33 a	11.17 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	17.74 a	11.24 ab	8.59 ab
Fertilizante Químico + BACTHON®	178	74	194	1.5	6.22 c	2.35 b	0.82 b
	118	50	130	1.5	13.12 b	12.88 a	3.94 b
	60	26	66	1.5	20.17 a	11.03 a	8.08 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	17.74 ab	11.24 a	8.59 a
Fertilizante Químico + BACTHON®	89	37	97	3.0	11.87 a	7.51 a	3.93 b
	59	25	65	3.0	17.02 a	12.20 a	9.12 a
	30	13	33	3.0	16.17 a	12.99 a	10.18 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	17.74 a	11.24 a	8.59 ab
BACTHON®	-	-	-	4.5	11.15 b	10.44 a	7.36 a
Testigo absoluto	-	-	-	-	17.74 a	11.24 a	8.59 a

Letras iguales comparan igualdad estadística según Tukey al 5%

Producción

En relación con la producción de café para el primer ciclo productivo, se observó que la reducción de nutrientes a 446 kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O (inicio y final de las aplicaciones) en alternancia con el insumo biológico (1.5 L/ha/año) (mitad de las aplicaciones), fue el tratamiento donde las plantas tuvieron la mayor producción de café. En la Tabla 9, se registra esa información para los años 2004-2006. Este resultado es de mucha trascendencia ya que beneficia la reducción de los costos de la fertilización en café, incrementa la sostenibilidad de este cultivo pero sobre todo confirma que el repoblamiento de los suelos con microorganismos benéficos pasa de la simple presencia de estos en el suelo a la funcionalidad de los mismos. Con este resultado se empieza a generar información que rompe paradigmas ya que se demuestra en forma real como a través de la biota nativa o de la reincorporación de esta al suelo se activan procesos de ciclaje de nutrimentos por la vía de la FBN y la solubilización de otros nutrimentos por hongos y bacterias del suelo. Se empieza a entender que la sola aplicación de fertilizantes a los cultivos y en este caso en café no es una opción económica ni sostenible, como tampoco parece ser la biofertilización sola la tecnología adecuada para la nutrición de los cultivos.

Así mismo, las diferencias registradas en producción tienen un profundo significado ya que cualquier tecnología que se investigue en café debe apuntar para que el caficultor obtenga de ella una mayor producción y calidad del café que produce. En este experimento se logró reducir la cantidad del fertilizante químico aplicado en alternancia con el biológico incrementando el crecimiento, la sanidad y el nivel de producción de las plantas. Estos incrementos de producción convertidos en arrobas de café pergamino seco por hectárea-año (40-60) son lo suficientemente amplios para que esta opción tecnológica sea validada y tenida en cuenta por los caficultores.

Parra y Cuevas (2001), hacen referencia específicamente, cómo en Cuba ha sido investigado el efecto de *Azospirillum* sp sobre varios cultivos. La aplicación de esta bacteria a la dosis de 20 L.ha⁻¹ (10⁸ ufc/ml) con nitrógeno inorgánico en el cultivo de arroz, muestra que es posible reducir en 25% el fertilizante nitrogenado y obtener rendimientos agrícolas similares a los obtenidos con la

aplicación de la dosis completa de nitrógeno. Así mismo, *Azospirillum lipoferum* en tomate, mostró la posibilidad de disminuir la cantidad de fertilizante nitrogenado en un 30%, lográndose rendimientos satisfactorios y contribuyendo de esta manera a minimizar daños ambientales. El aumento en la toma de minerales puede resultar en un incremento en la acumulación tanto de materia seca como minerales en el tallo y en las hojas de la planta. Durante el período reproductivo, los minerales acumulados pueden ser transferidos a las partes reproductivas para finalmente obtener mayores rendimientos.

TABLA 9. Producción de café cereza/tratamiento (60 árboles) al interior de cada grupo, en los años 2004-2005 y 2006.

GRUPO	DOSIS				PRODUCCIÓN CAFÉ (Kg)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Biológico	CC/60 árboles				
					AÑO				
					Kg/ha/año	L/ha	2004	2005	2006
Fertilizante Químico	35 2 26 4 17 6 88	147 110 74 37	386 289 193 96	- - - -	227.9 ab 196.6 ab 207.5 ab 266.5 a	220.5 a 212.6 a 209.2 a 221.5 a	218.1 a 188.9 a 176.8 ab 172.7 ab		
	Testigo absoluto	-	-	-	-	190.5 b	125.4 b	128.2 b	
	Fertilizante Químico + BACTHON®	17 8 11 8 60	74 50 26	194 130 66	1.5 1.5 1.5	255.4 a 233.4 a 244.8 a	243.8 a 210.8 a 215.3 a	248.6 a 179.0 b 159.2 cb	
		Testigo absoluto	-	-	-	-	190.5 a	125.4 b	128.2 c
		Fertilizante Químico + BACTHON®	89 59 30	37 25 13	97 65 33	3.0 3.0 3.0	242.8 a 179.7 a 222.2 a	228.9 a 197.3 ab 161.7 bc	211.8 a 182.6 ab 148.0 bc
			Testigo absoluto	-	-	-	-	190.5 a	125.4 c
BACTHON®	-		-	-	4.5	202.8 a	114.2 a	136.1 a	
Testigo absoluto	-	-	-	-	190.5 a	125.4 a	128.2 a		

Letras iguales comparan igualdad estadística según Duncan al 5%

Etapas Zoca (segundo ciclo productivo)

En este segundo ciclo productivo y cuarto año de establecimiento de la zoca (2011) se está observando que la dosis del fertilizante químico se puede disminuir aún más, en relación con los resultados del primer ciclo productivo, sin afectar el desarrollo de las plantas. Las plantas tratadas con las dosis de nutrientes correspondientes a 118 Kg/ha/año de N, 50 Kg/ha/año de P₂O₅ y 130 Kg/ha/año de K₂O (298 Kg/ha/año) en alternancia con el insumo biológico (1.5 L/ha/año), están presentando el mayor crecimiento, menor incidencia de ataque del hongo *Cercospora coffeicola* en los frutos y la más alta producción.

Una vez finalice este segundo ciclo productivo (año 2012) se procesará y analizará toda la información y se relacionarán los resultados del primer ciclo productivo con los de la etapa de zoca.

CONCLUSIONES

* Para el primer ciclo productivo de las plantas de café, en las condiciones experimentales en las que se realizó este estudio, la reducción de nutrientes a 178 Kg/ha/año de N, 74 Kg/ha/año de P₂O₅ y 194 Kg/ha/año de K₂O (446 Kg/ha/año) (aplicaciones inicio y final) + el insumo biológico (1.5 L/ha/año) (aplicación intermedia), obtuvo el mayor crecimiento de las plantas, el mayor peso seco de raíces, la menor incidencia y el menor grado de severidad de *Cercospora coffeicola*



(Mancha de Hierro) en los frutos de las plantas de café y la más alta producción. Este resultado abre la posibilidad de reducir, en algunas condiciones, la dosis de los fertilizantes simples, sin afectar el normal desarrollo y la producción de las plantas, variables que se incrementaron en este experimento con la aplicación de un biofertilizante como el BACTHON®.

* Una drástica y permanente reducción de nutrientes [30 Kg/ha/año de N, 13 Kg/ha/año de P_2O_5 y 33 Kg/ha/año de K_2O (76 Kg/ha/año) acompañada de un incremento del insumo biológico (3.0 Lt/ha/año)] produjo un efecto negativo en el crecimiento y en la producción de las plantas café.

* Aplicar solo el insumo biológico no es recomendable para el crecimiento, sanidad y producción de las plantas de café al no disponer los microorganismos de los nutrimentos necesarios para cumplir con su actividad biológica y beneficiar procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas de café.

* En este poster no se hizo referencia al análisis económico realizado a este estudio. Sin embargo, se debe resaltar que al calcular la utilidad bruta acumulada para las diferentes dosis al interior de cada grupo, se determinó que el tratamiento que produjo en las plantas el mayor crecimiento, la menor incidencia de Mancha Hierro y la más alta producción [178 kg/ha/año de N, 74 kg/ha/año de P_2O_5 y 194 kg/ha/año de K_2O (446 kg/ha/año) (aplicaciones inicio y final) + el insumo biológico (1.5 Lt/ha/año) (aplicación intermedia)], también fue el tratamiento que generó el más alto ingreso y utilidad bruta por hectárea de café durante el primer ciclo productivo.

REFERENCIAS

FAO. La fijación de nitrógeno en la explotación de los suelos. Boletín de suelos de la FAO. 49: 75-84. 1985.

GLICK B.R. Phytoremediation: Synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology advances 21: 283-393. 2003.

----- Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology Advances 28:367-374. 2010.

HERNÁNDEZ D., M.I.; CHAILLOUX L., M. La nutrición mineral y la Biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Temas de Ciencia y Tecnología 5(13): 11-27. 2001.

KHAN A. G. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 355-364. 2005.

MA Y.; PRASAD M.N.V.; RAJKUMAR M.; FREITAS H. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soil. Biotechnology Advances 29: 248-258. 2011.

PARRA, Y.; CUEVAS, F. Revisión Bibliográfica. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. Cultivos Tropicales 23(3): 31-41. 2001.

