

EVOLUCIÓN DEL CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA EN UN SUELO TRATADO CON METRIBUZINA Y CULTIVADO CON PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

Alvaro Anzalone¹ y José Vicente Lazo²

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del herbicida metribuzina sobre la biomasa microbiana del suelo, se realizó un ensayo de campo en bloques al azar con tratamientos de 0, 175, 350 y 525 g.ha⁻¹ de metribuzina aplicada al suelo en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). La evolución de la biomasa microbiana fue analizada a través de la extracción y determinación del carbono microbiano del suelo, utilizando la metodología descrita por Islam y Weil (1998). Las muestras de suelo fueron tomadas en dos profundidades (0 a 10 y 10 a 20 cm) en los siguientes momentos: previo a la aplicación y a los 15, 35, 55 y 105 días luego de la aplicación. El carbono de la biomasa microbiana analizada en forma de porcentaje con respecto a los testigos de cada bloque evidenció a los 35 días una fuerte relación con los tratamientos, donde las dosis más altas del herbicida produjeron los más altos valores de carbono microbiano a ambas profundidades. Se detectó diferencia entre las cantidades de carbono microbiano de los perfiles, siendo mucho mayor en el estrato superior; de igual manera, se produjo una ganancia neta de biomasa microbiana del suelo al final del ciclo.

Palabras clave adicionales: Herbicida, microorganismos del suelo

ABSTRACT

Evolution of the carbon of the microbial biomass in a soil treated with metribuzine in a potato (*Solanum tuberosum* L.) field

In order to assess the effect of the herbicide metribuzine on the soil microbial biomass, an experiment was conducted in randomized complete blocks with metribuzine dosages of 0, 175, 350 and 525 g.ha⁻¹, applied to the soil in a potato (*Solanum tuberosum* L.) field. The microbial biomass evolution was determined through extraction and analysis of microbial carbon in the soil, using the method described by Islam and Weil (1998). The samples were taken at two depths (0 to 10 and 10 to 20 cm) at the following times: before application, and at 15, 35, 55, and 105 days after application. The microbial carbon biomass analyzed in percentage with respect to the controls in each block showed a strong relationship with the treatments; where higher doses of the herbicide were applied higher values of microbial carbon were obtained at both depths. It was also detected differences in the quantities of microbial carbon between both profiles, being much higher in the top one. Also, a net gain of soil micro bacterial biomass in the soil at the end of the cycle was observed.

Additional key words: Herbicide, soil microorganism

INTRODUCCIÓN

El herbicida metribuzina pertenece al grupo químico de las triazinas asimétricas. Las triazinas son consideradas dentro del grupo de los inhibidores clásicos de la fotosíntesis. La mayoría de las triazinas son herbicidas aplicados al suelo en presembrado del cultivo y pueden ser incorporados o no al mismo; esto debido a que las triazinas son absorbidas con facilidad por las raíces. Sin embargo, la penetración de estos herbicidas por las hojas puede lograrse bajo

ciertas condiciones y para algunos de los compuestos del grupo. Básicamente controlan malezas anuales de hojas anchas y algunas gramíneas anuales (Ross y Lembi, 1999). Algunos compuestos pertenecientes a este grupo son: atrazina, ametrina, simazina, cianazina, prometrina, entre otros.

Las primeras triazinas se introdujeron en el mercado internacional a mediados del siglo XX, siendo la atrazina el herbicida más conocido y utilizado en el ámbito mundial y uno de los de mayor consumo hasta la fecha. La metribuzina,

Recibido: Septiembre 24, 2001

Aceptado: Marzo 26, 2002

¹ Dpto. de Fitotecnia. Decanato de Agronomía. Universidad Centrocidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela.

² Instituto de Botánica. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela

por su parte, fue introducida al mercado en 1968 por las compañías Bayer/DuPont (Agranova, 1999). Es un herbicida selectivo aplicado al suelo y ampliamente utilizado en los cultivos de papa y tomate. Metribuzina (4-Amino - 6 - terbutil - 4,5- dihidro - 3 - metiltio-1,2,4 - triazina - 5 - ona) se comercializa en Venezuela con los nombres de Sencor (Bayer S.A. Venezuela, registro M.A.C. No. A-III-0796), Lexone PM (Agroisleña, registro M.A.C. A-III-0181) y Hexone Facil 70 GD (Insecticidas Internacionales C.A., registro MPC-A-III-1296) según la relación de plaguicidas registrados ante el Ministerio de Producción y Comercio. Su fórmula molecular es $C_8H_{14}N_4OS$, posee una solubilidad en agua cercana a los 1.100 ppm y su estructura molecular se presenta en la Figura 1.

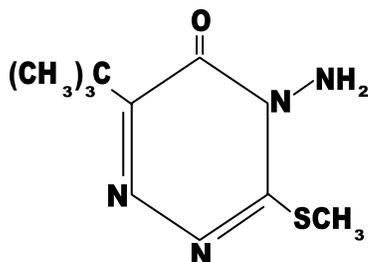


Figura 1. Estructura de la molécula de metribuzina.

En el suelo la metribuzina sufre desaminación y subsiguiente degradación, formando conjugados solubles en agua. El diketo desaminado es el principal metabolito de la metribuzina en el suelo, pero también se consigue la metribuzina desaminada y el diketo metribuzina. En la Figura 2 se presenta una secuencia de la degradación de metribuzina y la forma química de los compuestos formados: metribuzina desaminada (DA), Diketometribuzina (DK) y diketometribuzina desaminada (DADK) (Locke y Harper, 1991).

Anderson (1984) señala que la descomposición microbiana es la forma más importante en que los herbicidas son degradados en el suelo. Los microorganismos en su continua búsqueda de energía y nutrientes utilizan los herbicidas que están compuestos por moléculas orgánicas, como fuente de recursos.

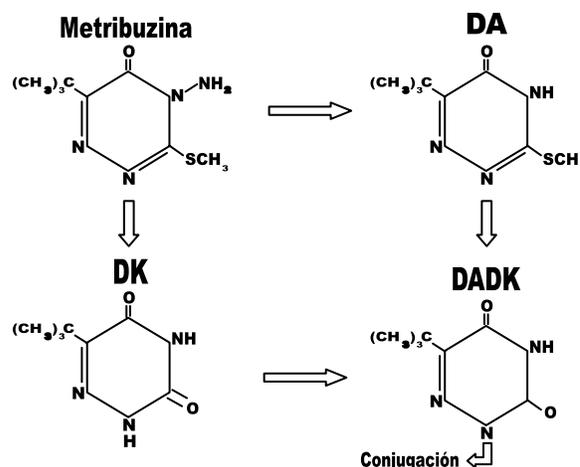


Figura 2. Metabolitos de la metribuzina en el suelo.

Muchos géneros de heterotrófos utilizan los plaguicidas como sustratos. Especies de los géneros *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas* entre las bacterias; *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Glomerella*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizoctonia* y *Trichoderma* entre los hongos, y *Micronospora*, *Nocardia* y *Streptomyces* entre los actinomicetos pueden modificar una o varias de las moléculas de los agroquímicos. La diversidad de los sustratos está relacionada con la diversidad de las especies. Sin embargo, en condiciones naturales es difícil predecir cual de las especies es responsable de una transformación en particular (Alexander, 1977).

Citando diversos autores, Junnila et al. (1993) mencionan que la actividad microbiana en el suelo determina la tasa de degradación de la metribuzina. Muchos grupos de microorganismos pueden utilizar la estructura de la metribuzina como fuente de nitrógeno, en especial luego de producir en la misma una desaminación.

La persistencia de la metribuzina en el suelo aumenta con la profundidad, atribuyéndose esta condición a la correspondiente disminución de la cantidad de microorganismos en el suelo (Locke y Harper, 1991). También se han observado casos donde suelos con aplicaciones continuas en el tiempo de metribuzina y otros herbicidas,

presentan tasas de degradación más altas que aquellos suelos donde se realizó la aplicación del producto por primera vez. Esta manifestación se ha atribuido al acondicionamiento de los suelos y sus microorganismos a la presencia del herbicida, que induce un aumento en la población de los microorganismos capaces de utilizar estos compuestos como sustratos nutricionales.

El presente trabajo tuvo como objetivo el estudio de la evolución de los microorganismos del suelo tratado con metribuzina en diferentes dosis y bajo el manejo típico de un cultivo comercial de papa mediante la determinación del carbono total de la biomasa microbiana del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en una zona productora de papa del estado Lara, Venezuela, específicamente en el sector de Guayabito, en las cercanías de Duaca, municipio Crespo. El régimen pluviométrico de la zona está cercano a los 700 mm anuales. La temperatura promedio fluctúa desde 25 a 28 °C. Los vientos dominantes son los alisios del norte. La altura sobre el nivel del mar es de aproximadamente 800 m. El área se encuentra dentro de la zona de vida clasificada como bosque húmedo premontano. La capacidad de uso de tierra para el sector es de clase VI y VII, que en forma general reúnen suelos con pendientes severas, sujetas a erosión, suelos poco profundos, con limitaciones de calidad de suelo, topografía o clima.

Diseño experimental y tratamientos

El ensayo se estableció dentro de un lote comercial donde se sembró papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Kennebec. El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar, con cuatro réplicas y cuatro tratamientos. Los tratamientos fueron las diferentes dosis del herbicida, como se resume en el Cuadro 1. Estas dosis se encuentran dentro del rango recomendado por el fabricante y se corresponden a las utilizadas regularmente por los productores de esta zona en las siembras comerciales.

El producto comercial utilizado fue el Lexone 70 PM. La aplicación del herbicida dentro del

ensayo se realizó en post-emergencia del cultivo, luego de la primera fertilización y aporque, con la utilización de una asperjadora manual equipada con boquilla de abanico 8002, previamente calibrada a razón de 500 L de mezcla por hectárea.

Cuadro 1. Tratamientos de metribuzina para el ensayo de campo.

Tratamiento	Dosis de producto comercial (g/ha)	Ingrediente activo (g/ha)
1	0	0
2	250	175
3	500	350
4	750	525

Las parcelas consistieron de cuatro hileras de 5 m de largo y separadas unos 0,8 m, para un total 16 m² por parcela, con cuatro parcelas por bloque. Cada bloque tuvo una dimensión total de 20 m x 3,2 m, con 1,6 m (2 hilos) de separación entre bloques y de bordura, para un área total de ensayo de 482 m² y un área efectiva de 256 m². Para los 16 m² de cada parcela correspondió una descarga de 0,8 L del producto.

Manejo del cultivo

El campo seleccionado para el montaje del ensayo se encontraba como potrero de ganado vacuno con mezclas de gramíneas como pasto. La última siembra realizada se había efectuado hacía dos años antes y correspondió a un cultivo de papas, con aplicación de metribuzina como herbicida. La preparación del suelo fue hecha mediante pases de Big-rome, subsolador de ganchos y rastra. Luego se realizó el surcado, incorporando cama de pollo como materia orgánica, seguido de la siembra y el aporque de la semilla. A los 5 días de la siembra se realizó una fertilización con tapado del fertilizante. Luego de esta labor se aplicó el herbicida, pero en la zona seleccionada para el ensayo se aplicó después de emergida la papa.

A los 25 días de la siembra se realizó la segunda fertilización y el último aporque. Ambas fertilizaciones se realizaron con la fórmula completa 15-15-15 a razón de 600 kg ha⁻¹. Durante todo el ciclo se aplicó riego por aspersión, en un intervalo de 7 a 10 días. Se

aplicó acetamiprid (Ransom 20) para el control de áfidos y metamidofos (Aceron L) para el control de salta hojas. El control de enfermedades fungosas se realizó con una serie de aplicaciones a lo largo del período de desarrollo del cultivo; los productos utilizados fueron: trifenil hidróxido de estaño (Brestanid 500), mancozeb (Dithane M-45 y Triziman-D PM), maneb (Trimastan PM), y cymoxanilo + mancozeb (Curazin PM). La cosecha se llevó a cabo con el uso de charrugas, realizándose un repaso al día

siguiente de la cosecha.

Análisis de suelo

Antes de establecer el ensayo se realizó el respectivo muestreo y análisis de las características físico-químicas del suelo en los dos perfiles estudiados, de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 2. La capacidad de campo es de aproximadamente 20 % y la densidad aparente de 1,1 g/cm³.

Cuadro 2. Principales características físicas y químicas del suelo utilizado en los ensayos.

Profundidad	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	Fósforo (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Calcio (mg/kg)	Mat. orgánica (%)	pH	CE (dS/m)
0-10 cm	40,8	34,8	24,4	Franco	205	468	806	4,31	5,7	0,31
10-20 cm	40,8	34,8	24,4	Franco	78	279	858	2,72	5,6	0,19

También se determinó la presencia de los microorganismos en el suelo por el método de dilución cuantitativa y estriado en PDAA, con posterior purificación.

Muestreo

Se tomaron muestras compuestas de suelo de 1000 g cada una, en las dos profundidades, en cada parcela. Las muestras se tomaron en los siguientes momentos: (1) previo a la aplicación del herbicida, (2) a los 15 días después de la aplicación del herbicida, (3) a los 35 días, (4) a los 55 días y (5) a los 105 días, es decir, 10 días después de la cosecha.

Luego de traídas del campo, las muestras de suelo fueron colocadas en envases utilizando unos 400 g de cada una de ellas. Ya en estos envases y previo a su almacenamiento, el suelo fue llevado a un porcentaje de humedad de aproximadamente 80% de la capacidad de campo, con la finalidad de homogeneizar la cantidad de agua entre las muestras. Para esto, los envases fueron tapados y colocados aleatoriamente a temperatura ambiente en un lugar fresco y sin la acción directa de la luz solar. Allí permanecían 5 días, durante los cuales se destapaban regularmente para permitir el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera.

Descripción de la masa microbiana

La metodología que se utilizó para la determinación de la masa microbiana se basa en

una extracción del carbono microbiano del suelo. Este método probado por Islam y Weil (1998) consiste en la liberación del carbono microbiano mediante el uso de microondas, para luego proceder a la extracción de dicho carbono, su oxidación y posterior determinación cuantitativa por métodos colorimétricos. El aumento súbito de la temperatura en la muestra por efecto de la acción de las microondas, produce una brusca disminución de la actividad microbiana, una rápida salida del carbono de la biomasa y una mínima solubilización de las sustancias húmicas. El uso de las microondas como destructor de las células y liberador del carbono orgánico es una alternativa no tóxica al método tradicional de fumigación con cloroformo.

Preparación de soluciones para calibración

Como patrón de carbono orgánico se utilizaron soluciones de concentración conocida de sacarosa. Se disolvieron 0,981 g de sacarosa en 100 mL de agua destilada y desmineralizada y se tomaron diferentes alícuotas de esta solución y se diluyeron hasta obtener patrones de 0, 10, 20, 40, 80, 200 y 400 mg/L de C. Se tomaron 5 mL de cada una de estas soluciones y se sometieron a la digestión y dilución que se detallará más adelante para la construcción de la curva de calibración.

Irradiación del suelo con microondas y extracción del carbono

Al colocar la muestra en el horno de

microondas la temperatura no excedió los 80 °C, ya que podían presentarse problemas por la solubilización de las sustancias húmicas. Por ello, previo a la irradiación de las muestras, se procedió a calibrar la potencia del horno para así calcular el tiempo necesario de irradiación para cada muestra.

Para ello se realizó un ensayo preliminar sometiendo diferentes masas de agua a diferentes tiempos de irradiación, para el cálculo de la potencia del equipo. Este cálculo se basó en la siguiente fórmula, sugerida por Islam y Weil (1998):

$$P = Cp \cdot K \cdot \nu T \cdot m / t$$

donde:

P = Energía aparente absorbida por el agua (Joules s^{-1})

Cp = Capacidad calórica del agua (calorías $g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$)

K = 4,184; Factor para convertir calorías a Joules

νT = Variación de temperatura ($^\circ C$)

m = masa del agua (g)

t = tiempo de exposición (s)

Luego del cálculo de la potencia se procedió a determinar el tiempo teórico que se debían irradiar las muestras para someterlas a una energía específica, mediante la siguiente expresión:

$$T = (r \cdot w) / P$$

donde:

T = tiempo (segundos)

r = cantidad de energía a ser aplicada ($J \text{ } g^{-1}$)

W = peso total de muestra (g)

P = potencia del horno ($J \text{ } s^{-1}$)

Luego se realizaron ensayos preliminares con muestras de suelo, donde se variaron los porcentajes de humedad desde 70% hasta el 130% de la capacidad de campo, así como también los tiempos de irradiación. Se consiguió que para el suelo bajo estudio, el someter muestras individuales (una a la vez) con un porcentaje de humedad igual a la capacidad de campo, a 30 segundos de irradiación y 100% de potencia del horno, elevaba la temperatura del suelo hasta 75-80 °C.

Después de ajustar el tiempo de irradiación, se procedió al procesamiento de las muestras. Para ello, se colocaban 10 g de la muestra de suelo (equivalente seco) en una fiola de 50 mL

ajustando la humedad a aproximadamente el 100% de la capacidad de campo. Las muestras fueron sometidas a una irradiación única durante 30 segundos y luego se dejó enfriar el suelo. Por otra parte, se prepararon muestras iguales a las anteriores, pero sin exponerlas a las microondas.

A cada muestra se le agregaron 25 mL de K_2SO_4 como solución extractora del carbono de la biomasa microbiana. Se colocaron en la mesa de agitación a 200 rpm durante 60 minutos. Posteriormente el extracto se filtró con papel filtro N° 1 y se recolectó el filtrado para el proceso de digestión.

Digestión y determinación espectrofotométrica

Se tomaron 5 mL del extracto filtrado y se traspasaron a fiolas, que contenían 1 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,17 M y 5 mL de H_2SO_4 (18 M). Estas fiolas se dejaron a temperatura ambiente durante 12 horas para permitir la completa digestión de las muestras. Posteriormente, el volumen en las fiolas fue ajustado a 30 mL, agregando agua desmineralizada. Se tomaron alícuotas de esta solución y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm en un espectrofotómetro. Este mismo proceso de digestión y determinación espectrofotométrica se realizó a las soluciones de sacarosa preparadas para la construcción de la curva de calibración.

Los cálculos para las determinaciones se basaron en la siguiente expresión:

$$C_{TMB} = C_{EXTMW} / K_{ME}$$

donde:

C_{TMB} = Carbono de la biomasa microbiana

C_{EXTMW} = Diferencia entre el carbono extraído en las muestras tratadas con microondas y las muestras no tratadas.

K_{ME} = 0,213; Fracción del carbono de la biomasa microbiana que es extraído con la solución de K_2SO_4 0,5 M.

Para cada lote de muestras analizadas se introdujeron cuatro blancos de muestra y se realizaron cinco réplicas de muestras escogidas al azar, con la finalidad de llevar un control de la calidad de los resultados que se obtenían.

Los análisis de los resultados obtenidos se realizaron por la vía paramétrica mediante análisis de la varianza que realizó separando los factores de variación en cuatro tratamientos de metribuzina, dos profundidades de suelo y cinco momentos de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores iniciales de carbono de la biomasa total (antes de la aplicación) sugieren que el suelo donde se llevó a cabo el ensayo poseía una moderada a baja presencia de microorganismos. Esto coincide con la determinación microbiológica realizada a las muestras tomadas, donde, con la utilización de los medios diferenciales de rutina del laboratorio de análisis, sólo se pudo identificar una especie de hongo (*Aspergillus flavus*) y algunas levaduras, pero no se detectaron colonias de bacterias. Un factor que pudo limitar la presencia de microorganismos en el suelo es su bajo pH (Cuadro 2), aunque sería necesario un estudio más detallado para inferir conclusiones más firmes.

Como se observa en el Cuadro 3, no se detectó efecto de los tratamientos de metribuzina; ello hacía pensar, en un primer momento, que este parámetro no fue capaz de expresar el comportamiento de los microorganismos presentes en el suelo ante la presencia del herbicida.

Cuadro 3. Resultados del análisis de la varianza para el carbono de la biomasa microbiana total

Fuente de Variación	Valor de F	Significancia
Tratamiento	0,40	ns
Profundidad	29,91	0,001
Momento	5,17	0,008
Repetición (bloque)	10,26	0,001

CV=22,9%

Sin embargo, debido a que se encontraron diferencias entre los bloques, se realizaron los análisis del efecto de los tratamientos utilizando como criterio el que cada tratamiento se comparó con el testigo ubicado en su mismo bloque. Para ello se construyeron las Figuras 3 y 4, donde se observa el comportamiento de la variable al ser transformada al porcentaje con respecto a su testigo de bloque.

En la Figura 3 puede observarse que en el perfil de 0 a 10 cm, a los 35 días luego de la aplicación se manifestó una relación entre el porcentaje de carbono de la biomasa microbiana total con respecto al testigo y los tratamientos

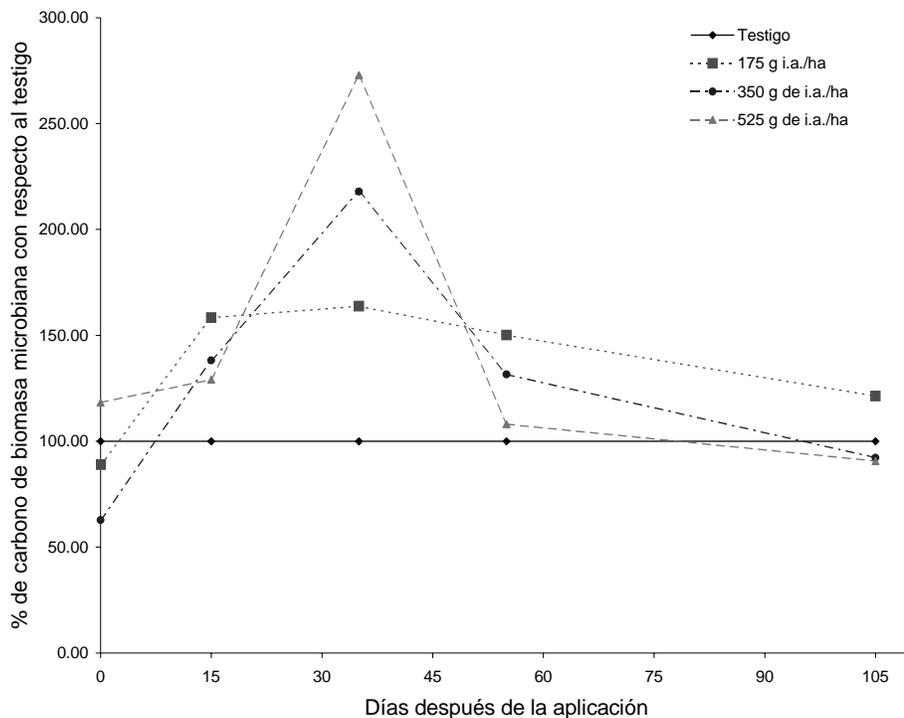


Figura 3. Promedios de carbono de la biomasa microbiana. Perfil: 0-10 cm.

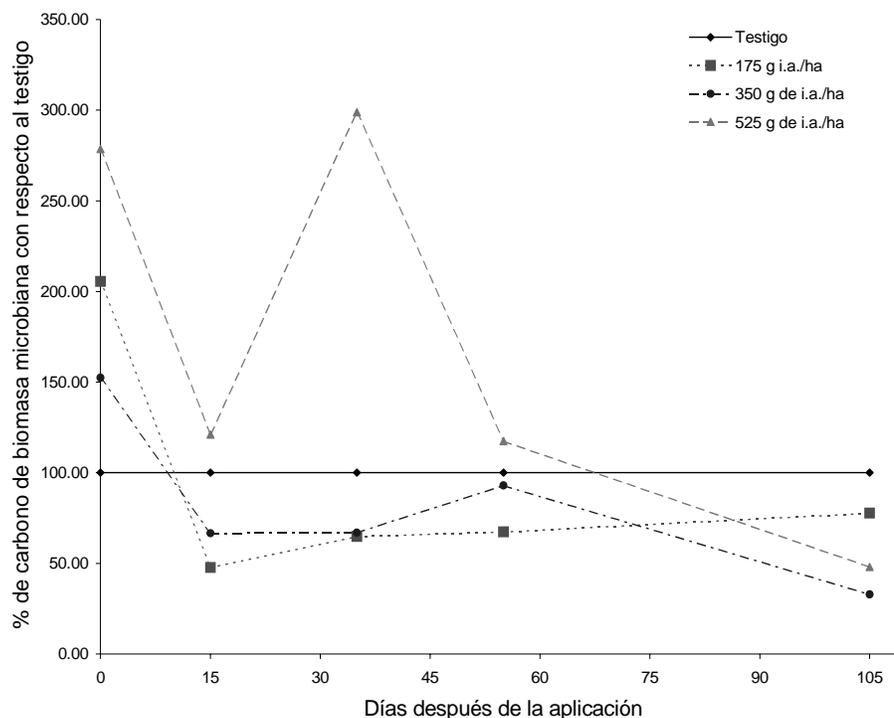


Figura 4. Promedios de carbono de la biomasa microbiana. Perfil: 10-20 cm.

herbicidas, donde los porcentajes con respecto al testigo se observan ampliamente aumentados en los tratamientos de mayores dosis del herbicida. Sin embargo, al final del ciclo se observa una disminución de la variable, que se acentúa precisamente en los niveles altos del tratamiento. Para el caso del perfil de 10 a 20 cm de profundidad (Figura 4), el efecto del herbicida parece más evidente; si bien existen épocas donde el nivel más alto del tratamiento pareciera promover la biomasa microbiana del suelo, el efecto al final del ciclo fue notoriamente contrario, ya que todos los tratamientos resultaron en una evidente disminución de la biomasa microbiana.

El perfil del suelo que manifestó el comportamiento esperado fue el estrato superior, debido a que es allí donde se concentran la mayor cantidad de microorganismos y donde las condiciones para el desarrollo de los mismos son más favorables. El hecho de que fue a los 35 días después de la aplicación cuando la respuesta de los microorganismos a la presencia del herbicida se manifestó más evidentemente, se corresponde con varios reportes de estudios sobre el efecto de plaguicidas sobre los microorganismos del suelo;

Hiltbold (1974) explica que, luego de un período prudente de exposición al plaguicida, ciertos organismos comienzan a sintetizar las enzimas necesarias para metabolizar el compuesto, promoviendo el crecimiento de este grupo de organismos y coincidiendo con la rápida degradación del compuesto. Al disminuir considerablemente la concentración del compuesto en el suelo, la población retorna a su magnitud inicial. El incremento proporcional de estas especies con la capacidad bioquímica de metabolizar el plaguicida es lo que se ha denominado efecto de enriquecimiento. En el presente trabajo pareciera que el efecto del compuesto luego de la metabolización del plaguicida deprime la población inicial de microorganismos al final del ciclo, pero serían necesarios estudios de aplicaciones continuas en el tiempo para poder detallar con claridad el efecto de la metribuzina en estos suelos y bajo las condiciones específicas de la zona.

Se detectó una diferencia altamente significativa entre los diferentes momentos para el factor carbono de la biomasa microbiana del suelo y la prueba de medias para este factor arrojó los resultados expresados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba de Duncan para carbono de la biomasa microbiana total en las diferentes momentos de muestreo ($p \leq 0,05$).

Momento	Media	Grupo
(5) 105 dda	290,15	a
(4) 55 dda	240,12	ab
(2) 15 dda	217,97	ab
(3) 35 dda	202,25	bc
(1) Previo a la aplicación	159,01	c

dda = días después de la aplicación

Si bien existieron pequeñas variaciones (momentos 2 y 3) es evidente que existió una ganancia significativa en el carbono de la biomasa microbiana del suelo a través del ciclo del cultivo. Es probable que dicha ganancia sea el resultado del manejo que se le proporciona al cultivo de la papa, el cual se caracteriza por un significativo laboreo del suelo, una alta tasa de fertilización y la incorporación de materia orgánica. Gunapala y Scow (1998) reportan diferencias en la biomasa microbiana entre el manejo del cultivo de tomate en forma tradicional y otras formas de manejo, lo que evidencia la relación que existe entre el manejo del cultivo y la magnitud de la biomasa microbiana del suelo. Ellos consiguieron que la incorporación de materia orgánica al suelo favorece, en la mayoría de los casos y dependiendo del tipo de materia, la biomasa microbiana al final del ciclo; es por ello que el hecho de la incorporación de la cama de pollo al inicio del ciclo de cultivo, aunado al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (aireación y porosidad) por la mecanización, pudieron ser factores de importancia en la ganancia neta de biomasa microbiana reportada para la todos los tratamientos en el perfil 0-10 cm (Figura 3) y para los tratamientos 1 y 2 en el perfil 10-20 cm (Figura 4).

Es así como los aumentos relativos observados en la variable entre el momentos de inicio (antes de la aplicación) y el momento de la última toma de muestras (105 días después de la aplicación) pudieran atribuirse, principalmente, al factor manejo del cultivo.

El Cuadro 3 muestra diferencias significativas en las cantidades de carbono de la biomasa microbiana entre los perfiles 0-10 y 10-

20 cm. Como se comentó anteriormente, la mayor cantidad de los microorganismos del suelo se encuentra en los perfiles superficiales del mismo y sus poblaciones van disminuyendo en la medida en que aumenta la profundidad. Alexander (1977) reconoce la gran diferencia existente en la cantidad de microorganismos presentes en el suelo entre los perfiles del mismo, y atribuye la misma a gran cantidad de factores, como lo son: la atmósfera del suelo, cantidad de agua, temperatura, cantidad de sustrato energético, entre otros.

Otra relación ya conocida es la existente entre la cantidad de materia orgánica y la cantidad de microorganismos en el suelo; si se observan los análisis hechos al suelo, se encuentra que el porcentaje de materia orgánica para el perfil superior (4,31%) es mayor que el del perfil inferior (2,72%), lo que permite presuponer que la riqueza de microorganismos pudiera estar relacionada con la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, debido a que la materia orgánica del suelo representa el principal reservorio de energía para los microorganismos (De Luca, 1998).

Al detallar el análisis de varianza para el factor repetición o bloque y al observar la prueba de medias para dicho factor en el Cuadro 5, puede encontrarse un aspecto importante: al estudiar la disposición de los bloques en el campo, fue fácil notar que el ordenamiento de las medias de los bloques se corresponde con el ordenamiento de los bloques con respecto a la pendiente; la mayor media fue del bloque ubicado a mayor altura y la menor media pertenece al bloque ubicado a menor altura. Estas diferencias hacen pensar que el carbono de la biomasa microbiana total, como evaluador de la presencia de microorganismos, se vio afectado por la humedad presente en el suelo durante el ensayo, que seguramente fue mayor en los bloques ubicados más bajos en la pendiente. Esta relativa alta humedad pudo haber afectado el crecimiento de los microorganismos debido a la limitación de oxígeno presente en el medio.

El efecto estimulador de los plaguicidas sobre los microorganismos del suelo es difícil de categorizar. Actualmente se ha considerado la rápida colonización de suelos tratados con plaguicidas por algunos hongos antagonistas como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma*

como un efecto estimulador de estos compuestos sobre las poblaciones de estos microorganismos, aunque en la actualidad se piensa que esto puede ser resultado de una esterilización parcial del suelo, creando nuevos espacios para estas especies que poseen una gran tolerancia a los plaguicidas y poseen una rápida tasa de crecimiento en ausencia de especies competidoras (Parr, 1974).

No se encontraron reportes donde se describa a *Aspergillus flavus* (que fue la única especie reportada) como degradador de metribuzina en suelo, por lo que no sería prudente adjudicar el aumento relativo de la biomasa microbiana a este único grupo de microorganismos.

Cuadro 5. Prueba de Duncan para carbono de la biomasa microbiana total en las diferentes repeticiones o bloques ($p \leq 0,05$).

Bloque	Media	Grupo
1	256,56	a
2	263,85	a
3	165,94	b
4	201,25	b

LITERATURA CITADA

- Agranova, 1999. Herbicide history. Documento en línea. <http://www.v-c-g.com/agranova/herbhist.htm>. Consulta Abril 4, 1999.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2d edition. Jhon Wiley & Sons. New York.
- Anderson, W. 1984. Weed Science: Principles. 2d. edition. West Publishing Company. St. Paul, Minnesota.
- De Luca, T.H. 1998. Relationship of K_2SO_4 extractable anthrone-reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 30 (10/11): 1293-1299.
- Gunapala, N. y K. Scow. 1998 Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biol. Biochem.* 30 (6): 805-816.
- Hiltbold, A. 1974. Persistence of pesticides in soil. *In: W. Guenzi (ed.). Pesticides in Soil and Water.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. pp. 203-222.
- Islam, K. y R. Weil. 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fertil. Soils* 27: 408-416.
- Junnila, S., H. Heinonen, L. Erviö y P. Laitinen. 1993. Phytotoxic persistence and microbiological effects of metribuzin in different soils. *Weed Research* 33: 213-223.
- Locke, M. y S. Harper. 1991. Metribuzin degradation in soil: I – effects of soybean residue amendment, metribuzin level and soil depth. *Pesticide Science* 31 (2): 221-237.
- Parr, J. 1974. Effects of pesticides on microorganisms in soil and water. *In: W. Guenzi (ed.). Pesticides in Soil and Water.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Ross, M. y C. Lembi. 1999. Applied Weed Science. 2d edition. Prentice Hall. New Jersey