

Vinagre como desecante de plantas de cobertura y su efecto en la actividad microbiana del suelo en sistema de siembra directa

Vinegar as desiccant of cover crops and its effect on soil microbial activity in the no-tillage system

Silvia Montero Cedeño^{*1}, João Carlos Cardoso Galvão², Christiane Augusta Diniz Melo³, Ernesto Cañarte Bermúdez⁴

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM-MFL). Calceta, Manabí, Ecuador.

² Departamento de Fitotecnia, Universidad Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

³ Estudiante de posdoctorado en producción vegetal por la Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Departamento de Entomología, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Portoviejo, Manabí, Ecuador

* **Correspondencia para la autora:** smontero@espam.edu.ec

Resumen

En el Sistema de Siembra Directa (SSD), uno de los principales desafíos es el manejo de las plantas de cobertura, contexto donde el vinagre (ácido acético) constituye una alternativa viable. Este trabajo evalúa el efecto del vinagre triple en la desecación de plantas de cobertura (avena negra), así como el impacto sobre el pH y la actividad microbiana del suelo. Se evaluó la desecación de la avena negra según la escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas-ALAM y el pH del suelo a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA). Además, fueron evaluados la tasa respiratoria, el carbono de la biomasa microbiana (CBM) y el cociente metabólico (qCO_2) en muestras de suelo colectadas a los 7, 28 y 56 DDA. Los resultados indican que el vinagre triple, en la dosis de 1 120 L ha⁻¹, proporcionó una desecación de 99.33 % de la avena negra y mayor producción de CO_2 del suelo. Por otro lado, no hubo alteración del CBM, qCO_2 y del pH del suelo, concluyéndose que el vinagre es una alternativa viable como herbicida natural, sin causar impactos en el pH y en la actividad microbiana del suelo.

Palabras clave: ácido acético, carbono de la biomasa microbiana, desecación, cociente metabólico.

Abstract

The no-till system one of the main challenges is the management of cover crops. In this context, vinegar (acetic acid) is a viable alternative to its management. This research aimed to evaluate the effect of triple vinegar in desiccation of cover crops (black oat) as well as the impact on pH and soil microbial activity. The desiccation of oats according to the Latin American Association Weeds-ALAM scale was evaluated, along with soil pH at 2, 15 and 30 days after application of the treatments (DAA). In addition, respiratory rate, microbial biomass carbon (MBC) and the metabolic quotient (qCO_2) in soil samples collected at 7, 28 and 56 DAA were evaluated. The results indicate that triple vinegar at a dose of 1.120 L ha⁻¹ caused 99.33% desiccation for the oats and greater production of soil CO_2 . On the other hand, there was no change in CBM, qCO_2 and soil pH. It was concluded that vinegar is a viable alternative as a natural herbicide without causing impacts on the pH and microbial activity in the soil.

Key words: acetic acid, microbial biomass carbon, desiccation, metabolic quotient.



Recibido: 31 de marzo, 2016
Aceptado: 31 de mayo, 2016

Introducción

La producción orgánica mundial gana cada día más espacio en las preferencias del consumidor ofertando alimentos libres de contaminantes. Su crecimiento, obviamente, debe ser asistido por la generación de conocimiento, la ampliación de zonas de producción y la valoración de la población. En este contexto, la agricultura orgánica se convierte en una excelente alternativa de producción para áreas rurales, permitiendo la diversificación de su actividad productiva, mejorando así la calidad de vida de las personas (Galvão *et al.*, 2010).

El maíz es uno de los productos orgánicos con gran potencial de expansión en Brasil, debido a su cadena de valor, sin embargo, está limitado por el sistema de preparación de los suelos, que mayoritariamente es de tipo tradicional, lo cual es poco sustentable. Una de las alternativas de la producción orgánica es la adecuación de los cultivos al sistema de siembra directa (SSD) (Darolt & Skora-Neto, 2002; Galvão *et al.*, 2010), que requiere de cuidados en su implementación aunque una vez establecido sus beneficios se extienden no solo al suelo, sino también al rendimiento de los cultivos y la competitividad de los sistemas agropecuarios. Por sus efectos benéficos sobre los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, se puede afirmar que el SSD es una herramienta esencial para alcanzar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (Cruz *et al.*, 2001).

En el SSD uno de los principales problemas es la falta de herbicidas desecantes. En cultivos de maíz orgánico, normalmente, se usan plantas de cobertura de invierno, las mismas que son cortadas para la formación de rastrojos, y dejadas sobre el suelo por algunos días, secándose al sol. Después de esto, se realiza la siembra del cultivo. La desecación de las plantas de cobertura es imprescindible y en este contexto, se buscan sustancias alternativas, permitiendo que la siembra directa, en la producción orgánica sea eficiente y productiva.

Estudios muestran que el vinagre (ácido acético) tiene potencial como desecante natural (Radhakrishnan *et al.*, 2003). Actúa como herbicida de contacto destruyendo la membrana celular, lo que resulta en resecamiento de los tejidos (Webber & Shrefler, 2009). Sin embargo, no es selectivo y dependiendo del método de aplicación puede dañar el cultivo (Radhakrishnan *et al.*, 2003; Webber & Shrefler, 2009; Pujiswanto *et al.*, 2013). Fischer & Kuzyakov (2010) demostraron que después de la aplicación del ácido acético, el 26 % fue encontrado en el suelo (en la biomasa microbiana o adsorbido en las partículas del suelo) en la forma de C-COOH y 36 % como C-CH₃. Los microorganismos usan el C-CH₃ para su crecimiento, mientras los grupos C-COOH para la descarboxilación. El ácido acético en el suelo proporciona una fuente de carbono para la producción de CO₂ en el proceso de descomposición.

Trabajos hechos con vinagre en diferentes concentraciones de acidez acética y en varios cultivos, entre ellos maíz, reportaron efectos positivos en el control de las malezas de hojas anchas y gramíneas (Webber & Shrefler, 2009; Evans *et al.*, 2011). Debe ser aplicado en días soleados y sin viento para evitar efectos de deriva que puedan causar daños a otras plantas. Evans *et al.* (2011) señalaron que altas dosis de vinagre pueden causar efectos pre-emergentes sobre las malezas. También constataron que dos semanas después de la pulverización del vinagre en dosis de 700 L ha⁻¹, (20 % de acidez acética) la germinación de nuevas malezas fue inhibida en 75 %.

Webber y Shrefler (2009) realizaron investigaciones con cebolla para determinar el efecto del vinagre sobre las malezas y el rendimiento del cultivo, utilizando 200 y 400 L ha⁻¹ de ácido acético (20 %). Inicialmente encontraron excelente control de malezas (95 %), disminuyendo su efecto con el tiempo, especialmente para el volumen de 200 L ha⁻¹. Sin embargo, se debe considerar que la aplicación de altas dosis de vinagre, podría causar impacto al ambiente, principalmente al suelo, causando cambios en sus componentes químico y biológico.

Otro aspecto a considerar es el efecto sobre el hombre. Rizzon *et al.* (2006) indican que el ácido acético en concentraciones superiores al 11 % puede causar quemaduras en la piel y daños severos en los ojos. La utilización de productos orgánicos no libera a los aplicadores del uso obligatorio de equipos de protección.

La actividad microbiana es un importante indicador para evaluar el potencial contaminante de una sustancia. La biomasa microbiana del suelo (BMS) también es sensible a los cambios, al ser la principal responsable de la transformación de la materia orgánica (Mercante *et al.*, 2008), debido al ciclo de nutrientes y el flujo de energía en el suelo (Assis *et al.*, 2003; Moreira & Siqueira, 2006; Jakelaitis *et al.*, 2007).

El carbono de la biomasa microbiana del suelo representa la cantidad de carbono que la biomasa inmoviliza en sus células. Por medio de su evaluación, es posible realizar comparaciones entre suelos y cambios de manejo, evaluando posibles impactos ambientales (Insam, 2001). La cantidad de CO₂ liberada por la respiración de los microorganismos es uno de los métodos más tradicionales y utilizados para evaluar la actividad metabólica de la población microbiana del suelo (Alves *et al.*, 2011). La respiración microbiana refleja la actividad microbiológica del suelo y puede ser medida por la cuantificación de CO₂ liberado, resultante de la actividad de los microorganismos aerobios y anaerobios (Gama-Rodrigues, 1999).

Basado en estos antecedentes, este trabajo de investigación evalúa el efecto del vinagre triple en la desecación de la avena negra en sistema de siembra directa en cultivo orgánico, y su efecto sobre el pH, la biomasa y la actividad microbiana del suelo.

Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en el Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Melo (lat. 20° 45' 58" S, long. 42° 52' 06" O a 676 m de altitud) de la Universidad

Federal de Viçosa (Viçosa-MG, Brasil), entre los meses de julio a noviembre de 2013.

Se estudió la eficacia del vinagre (Ácido acético) como desecante en cultivos de cobertura, en sistema de siembra directa, utilizándose avena negra (*Avena strigosa* Schreb), como un modelo de planta de cobertura. Fue sembrada en julio como cultivo de cobertura en el área experimental, cuyo suelo es clasificado como Argisol Rojo Amarillo distrófico (EMBRAPA, 2013). La siembra fue realizada con ayuda de una sembradora, utilizando una dosis de semillas de 80 kg ha⁻¹.

Se utilizó el diseño de bloque completo al azar con cinco repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de 16 m² (4 x 4 m), siendo considerada para el registro de datos una área útil de 4 m² (2 x 2 m).

A los 30 días después de la siembra, cerca de la etapa de floración, fueron aplicados los tratamientos: 1) 120 L ha⁻¹; 2) 560 L ha⁻¹ + 560 L ha⁻¹ 24 horas después; 3) 840 L ha⁻¹; 4) 560 L ha⁻¹ + 280 L ha⁻¹ 24 horas después; 5) 560 L ha⁻¹ de vinagre triple con 12.5 % de ácido acético; 6) glifosato (Roundup Original 2 L ha⁻¹); 7) corte de la avena-negra con rozadora a los 15 y 30 días después de la aplicación de los tratamientos; 8) avena-negra sin desecación (control). La aplicación del vinagre se realizó con un equipo pulverizador costal experimental de presión constante, presurizado con CO₂, con ancho operativo de 2 m y calibrado para un volumen de aplicación de 280 L ha⁻¹.

Efecto del vinagre en la desecación de la avena-negra

Para evaluar el efecto del vinagre en la desecación de la avena negra se consideraron las cinco dosis estudiadas. Se realizaron tres evaluaciones a las 24, 48 y 72 horas después de la aplicación, utilizando la escala de notas propuesta por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974) (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de notas de ALAM para evaluación de la eficacia en el control de plantas dañinas.

Porcentaje (%)	Grado de control	Abreviatura
0 – 40	Ninguno a pobre	N
41- 60	Regular	R
61- 70	Suficiente	S
71- 80	Buena	B
81- 90	Muy Buena	M
91-100	Excelente	E

Efecto del vinagre en el pH del suelo

La evaluación del pH fue realizada a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación de los tratamientos en las profundidades de 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Las muestras fueron colectadas y enviadas al laboratorio para el análisis químico.

Biomasa y actividad microbiana del suelo

A los 7, 28 y 56 días después de la aplicación de los tratamientos se evaluó la tasa respiratoria, el carbono de la biomasa microbiana y el cociente metabólico del suelo. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 20 cm, para luego ser llevadas al laboratorio. En la primera evaluación, el suelo estaba seco y cubierto con la avena. En la segunda evaluación, la avena se encontraba en la superficie del suelo (rastrojo), el cual estaba húmedo a causa de las lluvias. En la tercera evaluación, el rastrojo de la avena se había descompuesto y el suelo aún estaba húmedo.

En la evaluación de la tasa respiratoria se utilizó el método del respirómetro para evaluar el C-CO₂ producido en el suelo. Para el efecto, se tomó 100 g de suelo tamizado y con humedad equivalente a 60 % de la capacidad de campo. Las muestras fueron incubadas durante 15 días en frascos herméticamente cerrados. El C-CO₂ liberado fue transportado por flujo continuo de aire libre de CO₂ hasta otro frasco conteniendo 100 mL de solución de NaOH 0,5 mol L⁻¹. A los 15 días se estimó el C-CO₂ producido por medio de la titulación de 10 mL de la solución de NaOH, adicionando 5 mL de BaCl y 3 gotas

de fenolftaleína, con solución de HCl 0,5 mol L⁻¹. Para control de la calidad del aire transportado se utilizaron frascos sin suelo como muestras “blanco” (testigo).

Para la determinación del CBM, después del período de incubación, fueron tomados 18 g de suelo de cada frasco, siguiendo la metodología descrita por Vancen, Brookes y Jenkinson (1987) y modificada por Islam y Weil (1998), en la cual las muestras fueron divididas en no irradiadas e irradiadas, con radiación de microondas por tiempo previamente calculado (60 + 60 segundos). El CBM fue extraído de las muestras (irradiadas y no irradiadas) de suelo con 80 mL de la solución de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ e inmediatamente sometidas a agitación durante 30 minutos en mesa agitadora horizontal, permaneciendo en reposo 30 minutos. Después, las muestras fueron filtradas y se colocó 10 mL en tubo de ensayo, donde se adicionó 2 mL de solución de K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ y 10 mL de H₂SO₄ concentrado. Posteriormente, el volumen de la solución fue puesto en probeta calibrada y completado hasta 100 mL, siendo transferido a frascos erlenmeyers de 250 mL, a los cuales se les adicionó el indicador ferroim (ocho gotas), para ser titulado con solución 0,033 mol L⁻¹ de sulfato ferroso con ácido sulfúrico (previamente preparado), hasta cambiar de color desde el amarillo verdoso hasta el rojo.

A partir de los valores del C-CO₂ y CBM obtenidos, se calculó el qCO₂ (µg C-CO₂ µg⁻¹ CBM d⁻¹), dividiendo la media diaria del C-CO₂ producido del suelo por el CBM determinado en el suelo, según Anderson y Domsch (1993).

Análisis estadístico

Las fechas de evaluación o toma de muestras dentro de cada variable fueron consideradas como fuente de variación en la composición del ADEVA. Los datos fueron sometidos al análisis de variación por la prueba F a 5 % de probabilidad, siendo las medias sometidas a la prueba de Tukey (P < 0,05). Los análisis estadísticos fueron realizados en el software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

Resultados

Efecto del vinagre en la desecación de la avena-negra

Para esta variable solo fueron considerados los cinco tratamientos que corresponden a las dosis estudiadas del vinagre. El análisis de la eficacia en la desecación de la avena-negra mostró diferencia significativa para los factores aislados del tratamiento ($F_{(4,56)} = 77.29$; $p < 0.01$) y las fechas de evaluación ($F_{(2,56)} = 5.84$; $p < 0.01$). La dosis de $1\ 120\ \text{L ha}^{-1}$ se destacó sobre los demás tratamientos por la mayor eficacia (99.33 %), mientras que las dosis de $560\ \text{L ha}^{-1}$ y $560\ \text{L ha}^{-1} + 280\ \text{L ha}^{-1}$ fueron las que presentaron el menor nivel de control (71.33 %) (Figura 1). En las fechas de evaluación se observó menor eficacia a las 24 horas (80.4 %), aumentando a las 48 y 72 horas después de la aplicación, hasta un máximo de 85.2 % de desecación (Figura 2). Visualmente fue observada la recuperación de la avena después de cinco días de la aplicación de los tratamientos, con excepción de la mayor dosis de vinagre ($1\ 120\ \text{L ha}^{-1}$).

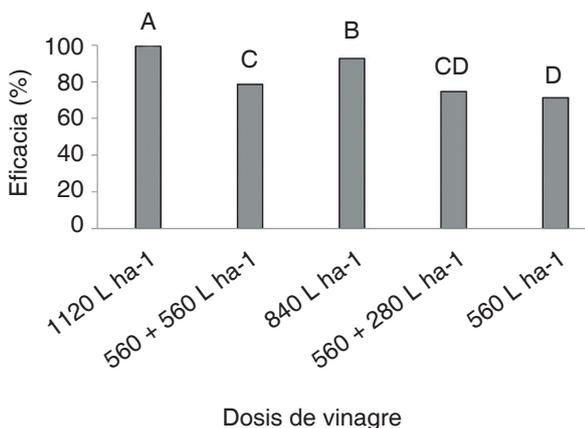


Figura 1. Valores medios de la eficacia de desecación de los tratamientos de vinagre sobre la avena. Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). $CV = 6,39\%$.

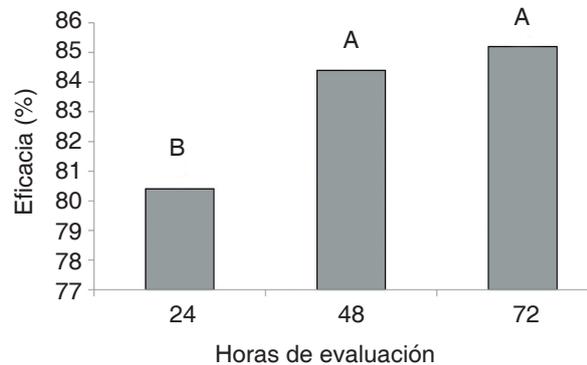


Figura 2. Valores medios de la eficacia de desecación del vinagre en el control de las plantas de cobertura después de 24, 48 y 72 horas de la aplicación de los tratamientos de vinagre. Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Efecto del vinagre en el pH del suelo

La interacción entre los tratamientos de vinagre y las fechas de evaluación fue significativa para el pH del suelo ($F_{(14,284)} = 3.45$; $p < 0.01$). No fueron observadas diferencias estadísticas en esta variable bajo efecto del vinagre en las tres profundidades colectadas ($F_{(2,284)} = 1.23$; $p = 0.29$). En la primera evaluación del pH (2 DAA) los tratamientos con vinagre en las dosis de $1\ 120\ \text{L ha}^{-1}$; $560\ \text{L ha}^{-1} + 560\ \text{L ha}^{-1}$; $840\ \text{L ha}^{-1}$ y $560\ \text{L ha}^{-1}$ no difirieron del tratamiento con corte, que presentó el mayor valor (pH 5.19) (Tabla 2), diferenciándose de los tratamientos con glifosato, avena sin desecación (testigo) y vinagre en la dosis de $560 + 280\ \text{L ha}^{-1}$, que presentaron los menores valores de pH (Tabla 2). En las dos evaluaciones siguientes (15 y 30 DAA) se observó que la avena sin desecación presentó los mayores valores (pH 5.48 e 5.33, respectivamente), mientras que los tratamientos con corte y aplicación fraccionada de vinagre ($560\ \text{L ha}^{-1} + 560\ \text{L ha}^{-1}$) presentaron los menores valores (pH 5.17 y 5.01, respectivamente) (Tabla 2). Las medias del pH a los 15 y 30 DAA fueron superiores a los datos de la primera evaluación (2 DAA) en la mayoría de los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. pH del suelo en función de diferentes dosis de vinagre para desecación de plantas de cobertura a los 2, 15 y 30 días posteriores a la aplicación (DAA).

Tratamientos	Fechas de evaluación		
	2 DAA	15 DAA	30 DAA
1 120 L ha ⁻¹	4.97 ABb	5.41 Aba	5.25 Aba
560 L ha ⁻¹ + 560L ha ⁻¹	5.01 ABb	5.22 Ba	5.07 Bab
840 L ha ⁻¹	5.07 Aba	5.24 ABa	5.09 Aba
560 L ha ⁻¹ + 280 L ha ⁻¹	4.92 Bb	5.25 Aba	5.14 Aba
560 L ha ⁻¹	5.03 Aba	5.23 Ba	5.15 Aba
Glifosato 0.72 L ha ⁻¹	4.90 Bb	5.35 Aba	5.16 Aba
Corte con rozadora	5.19 Aa	5.17 Ba	5.01 Ba
Avena sin desecación	4.92 Bb	5.48 Aa	5.33 Aa
CV % = 4.38			

Medias seguidas de la misma letra mayúscula en las columnas (tratamientos) y minúscula (fechas de evaluación) en las líneas no difieren entre sí por la prueba de Tukey (P<0,05).

Biomasa y actividad microbiana del suelo

Cuando se analizó la tasa respiratoria (TR) del suelo se observó interacción significativa entre los tratamientos y las fechas de evaluación ($F_{(14,92)} = 1.98$; $p < 0.05$).

A los siete días después de la aplicación, se observó diferencia en la tasa respiratoria (TR) únicamente entre los tratamientos 1 120 L ha⁻¹ (165.86 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) y avena sin desecación (107.25 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) (Tabla 3). A los 28 y 56 DAA no se verificaron alteraciones

significativas en la actividad respiratoria de los microorganismos entre los tratamientos (Tabla 3). Entre las fechas de evaluación se observó que a los 7 y 28 DAA, los valores de la tasa respiratoria del suelo fueron estadísticamente superiores en la mayoría de los tratamientos, en comparación a la tercera fecha de evaluación (56 DAA) (Tabla 3). Se destaca la dosis fraccionada de vinagre (560 L ha⁻¹ + 280 L ha⁻¹) que presentó una drástica reducción de la respiración, en torno del 50 %, a los 56 DAA (53.95 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$), comparada con las dos primeras fechas (Tabla 3).

Tabla 3. Tasa Respiratoria (TR) del suelo en función de diferentes dosis de vinagre para desecación de plantas de cobertura a los 7, 28 y 56 días posteriores a la aplicación (DAA).

Tratamientos	Días posteriores a la aplicación de los tratamientos (DAA)		
	7	28	56
$\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo día}^{-1}$			
1 120 L ha ⁻¹	165.86 Aa	98.61 Ab	81.85 Ab
560L ha-1 + 560L ha-1	129.25 Aba	119.43 Aa	80.67 Ab
840 L ha-1	146.09 Aba	114.32 Aa	76.94 Ab
560 L ha-1+ 280 L ha-1	130.63 Aba	96.64 Ab	53.95 Ac
560 L ha-1	138.19 Aba	138.28 Aa	78.31 Ab
Glifosato 0.72 L ha-1	139.2 Aba	138.87 Aa	89.70 Ab
Corte con rozadora	132.34 Aba	109.41 Aa	58.67 Ab
Avena sin desecación	107.25 Bab	121.20 Aa	76.74 Ab
CV% = 20			

Medias seguidas de la misma letra mayúscula en las columnas (tratamientos) y minúscula en las líneas (fechas de evaluación) no difieren entre sí por la prueba de Tukey (p< 0,05).

Al analizar el CBM, fue encontrada diferencia significativa en la interacción entre los tratamientos y las fechas de evaluación ($F_{(14,92)} = 1.81$; $p < 0.05$). No fue observada alteración del CBM por efecto de los tratamientos de vinagre en las dos primeras fechas de evaluación, sin embargo, en la tercera evaluación (56 DAA) se verificó un efecto significativo entre los tratamientos. El tratamiento de corte de la avena presentó mayor valor ($224.34 \mu\text{g CBM g}^{-1}$) comparándose con la aplicación del vinagre fraccionado $560 \text{ L ha}^{-1} + 280 \text{ L ha}^{-1}$, que presentó el menor valor ($79.60 \mu\text{g CBM g}^{-1}$) (Tabla 4). El análisis de CBM de los tratamientos entre las fechas de evaluación evidenció que el CBM en la dosis fraccionada $560 \text{ L ha}^{-1} + 280 \text{ L ha}^{-1}$ y glifosato 0.72 L ha^{-1} fue superior en las dos primeras fechas, diferenciándose a los 56 DAA por presentar una reducción significativa del CBM ($79.60 \mu\text{g CBM g}^{-1}$ y $104.21 \mu\text{g CBM g}^{-1}$, respectivamente). Entre los tratamientos de vinagre se destaca la dosis de 560 L ha^{-1} a los 28 DAA ($251.84 \mu\text{g CBM g}^{-1}$) por su

mayor CBM (Tabla 4).

En lo referente al cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) fue verificada significancia en la interacción entre los tratamientos y fechas de evaluación ($F_{(14,92)} = 1.89$; $p < 0,05$).

En las dos primeras fechas no se observó influencia del vinagre en el cociente metabólico ($q\text{CO}_2$). En la tercera evaluación (56 DAA) se destaca el tratamiento fraccionado de vinagre $560 \text{ L ha}^{-1} + 280 \text{ L ha}^{-1}$ con el mayor cociente metabólico ($1.09 \mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$), diferenciándose estadísticamente del tratamiento de corte de la avena que presentó el valor más bajo ($0.31 \mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$) (Tabla 5). Cuando se analizaron las fechas de evaluación, fue observado el menor cociente metabólico en la dosis fraccionada de $560 \text{ L ha}^{-1} + 280 \text{ L ha}^{-1}$ ($0.49 \mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$) a los 28 DAA y el tratamiento de 840 L ha^{-1} ($0.52 \mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$) a los 56 DAA (Tabla 5).

Tabla 4. Carbono de la biomasa microbiana (CBM) del suelo en función de diferentes dosis de vinagre para desecación de plantas de cobertura.

Tratamientos	Fechas de evaluación		
	7 DAA	28 DAA	56 DAA
	$\mu\text{g CBM g}^{-1} \text{ solo}$		
1 120 L ha ⁻¹	159.21 Aa	173.32 Aa	107.11 Aba
560L ha ⁻¹ + 560L ha ⁻¹	220.00 Aa	237.37 Aa	170.79 Aba
840 L ha ⁻¹	182.95 Aa	148.21 Aa	185.26 Aba
560 L ha ⁻¹ + 280 L ha ⁻¹	215.66 Aa	230.42 Aa	79.60 Bb
560 L ha ⁻¹	156.32 Ab	251.84 Aa	150.17 ABb
Glifosato 0.72 L ha ⁻¹	201.47 Aa	238.82 Aa	104.21 ABb
Corte con rozadora	189.61 Aa	261.97 Aa	224.34 Aa
Avena sin desecación	192.50 Aa	170.21 Aa	101.31 Aba
	CV% = 34.87		

Medias seguidas de la misma letra mayúscula en las columnas (tratamientos) y minúscula en las líneas (fechas de evaluación) no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 5. Cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) del suelo en función de diferentes dosis de vinagre para desecación de plantas de cobertura a los 7, 28 y 56 días después aplicación (DAA).

Tratamientos	Fechas de evaluación		
	7 DAA	28 DAA	56 DAA
	$\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$		
1 120 L ha ⁻¹	1.11 Aa	0.58 Aa	0.77 Aba
560L ha ⁻¹ + 560L ha ⁻¹	0.60 Aa	0.59 Aa	0.52 Aba
840 L ha ⁻¹	0.83 Aab	1.12 Aa	0.52 ABb
560 L ha ⁻¹ + 280 L ha ⁻¹	0.73 Aab	0.49 Ab	1.09 Aa
560 L ha ⁻¹	0.91 Aa	0.57 Aa	0.53 Aba
Glifosato 0.72 L há ⁻¹	0.76 Aa	0.67 Aa	0.88 Aba
Corte con rozadora	0.82 Aa	0.45 Aa	0.31 Ba
Avena sin desecación	0.62 Aa	0.76 Aa	0.88 Aba
	CV% 51.06		

Medias seguidas de la misma letra mayúscula en las columnas (tratamientos) y minúscula en las líneas (fechas de evaluación) no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Discusión

Las diferencias encontradas en este experimento respecto a la eficacia del vinagre triple, en las distintas dosis sobre la desecación de la avena negra, son coincidentes con los resultados encontrados por Johnson *et al.* (2004), quienes determinaron que una variación en la dosis de ácido acético proporciona controles diferentes. Pereira *et al.* (2013), estudiando la eficacia del ácido acético en el control de algunas especies de malezas, obtuvieron un control de 85 % sobre *Panicum maximum* (*Megathyrus maximum*) con concentraciones de 4.20 % de acidez acética y arriba de 98 % con 10 % de ácido acético. A su vez, Webber y Shrefler (2009), aplicando ácido acético (20 %) en dosis de 200 L ha⁻¹ y 400 L ha⁻¹, tuvieron control de malezas superiores a 95 %, siendo la dosis de 400 L ha⁻¹ la que obtuvo mayor control.

Los resultados del presente trabajo también indican altos porcentajes de desecación de la avena (99.33 %), obtenido con el vinagre 12.5 % en la dosis 1 120 L ha⁻¹. Estos resultados concuerdan con Webber y Shrefler (2009), quienes describieron que el ácido acético puede ser usado en la producción de cultivos orgánicos como un herbicida natural de contacto, cuya acción sobre la planta es semejante al Paraquat. No obstante, también fue observada una recuperación de la avena a partir del quinto día, lo cual concuerda con los estudios de estos autores, quienes constataron que el control de vinagre en malezas disminuía con el tiempo, especialmente en los volúmenes menores.

Si bien es cierto, se determinaron diferencias en el pH entre los tratamientos en las tres fechas evaluadas, posiblemente estas variaciones no fueron influenciadas por la presencia de vinagre en el suelo, ya que todos los valores de pH en los tratamientos con vinagre fueron semejantes estadísticamente a los tratamientos donde no fue aplicado el producto (corte con rozadora y avena sin desecación). Se estima que esta variación puede ser provocada por otras causas que correspondan a cambios propios del suelo, ya que el vinagre se degrada rápidamente en el suelo (MSDS, 2008).

La mayor producción de CO₂ en la dosis 1 120 L ha⁻¹ a los siete días posteriores a la aplicación del vinagre, puede estar relacionada a la elevada concentración de ácido acético en este tratamiento que, por la naturaleza química, pudo aportar carbono, aumentando la descarboxilación y la cantidad de CO₂ presente en el suelo. Fischer y Kuzyakov (2010), al aplicar el ácido acético en el suelo, encontraron cerca del 26 % en forma de C-COOH y 36 % como C-CH₃. En estas condiciones, los microorganismos usan el C-CH₃ para su crecimiento, mientras el grupo C-COOH tiende a la descarboxilación. Posiblemente esta sea una de las causas por la que hubo mayor cantidad de CO₂ desprendido. El ácido acético proporciona al suelo una fuente de carbono para la producción de dióxido de carbono en el proceso de descomposición. Además, la mayor producción de C-CO₂ de los suelos tratados con herbicidas, es atribuida al hecho de que este sirva como fuente de carbono o energía a los microorganismos (Costa *et al.*, 1997) o como mecanismos para aumentar la actividad en respuesta a una condición desfavorable al estrés impuesto. En este caso, el vinagre actuaría, aportando carbono como fuente de energía para los microorganismos, lo que provoca aumento de CO₂ desprendido en la respiración.

Los resultados de las evaluaciones a los 28 y 56 días, muestran que las diferentes dosis del vinagre no influenciaron en la respiración microbiana. Los valores fueron menores que en la primera evaluación, posiblemente porque el vinagre ya no estaba presente en el suelo. En todas las dosis hubo menor tasa de respiración a los 56 días, debido a la menor biomasa microbiana.

La biomasa microbiana no fue afectada por las diferentes dosis de vinagre a los 7 y 28 días, manteniendo valores semejantes. Las diferencias entre los tratamientos a los 56 días no deben ser atribuidas directamente a las dosis de vinagre, pues para esta fecha se espera que el producto no esté presente en el suelo. Sin embargo, es probable que haya influenciado en la presencia o ausencia de malezas en determinadas parcelas, lo que pudo provocar esas diferencias entre los tratamientos en esta

evaluación. Según Assis *et al.* (2003) y Powlson *et al.* (1987), cuando ocurre la descomposición de residuos, hay aumento de carbono de la biomasa microbiana e incremento de la actividad microbiana. Lo dicho no se observó en este estudio, posiblemente debido a la reducción de la cantidad de material vegetal proveniente del rastrojo de la avena, provocando reducción de la cantidad de microorganismos y por tanto, menor actividad microbiana.

Al igual que en el CBM, las diferentes dosis de vinagre no afectaron el cociente metabólico a los siete y 28 días después de la aplicación, a pesar de que el CO₂ producido en la respiración fue mayor. Este debería provocar reducción del coeficiente metabólico, ya que según Anderson y Domsch (1993) a medida que la biomasa microbiana se hace eficiente en utilizar los recursos, menor cantidad de carbono es perdido como CO₂ por la respiración, siendo este inmovilizado en el tejido microbiano. Consecuentemente, menor qCO₂ representa biomasa microbiana más estable. Eso no fue observado en este trabajo, ya que como se explicó anteriormente, el aumento de CO₂ puede venir de la descarboxilación del ácido acético y no de la actividad de los microorganismos. Finalmente, las diferencias obtenidas a los 56 días pueden estar relacionadas con las diferencias encontradas en el CBM.

Conclusiones

El vinagre fue eficiente como herbicida natural para la desecación de la avena negra en sistemas de siembra directa en la producción orgánica. Su aplicación no alteró el pH ni causó impacto negativo sobre la biomasa y actividad microbiana del suelo.

Recomendaciones

Por ser esta investigación pionera en la desecación de plantas de cobertura, no se consideró en este estudio el costo del uso del vinagre (ácido acético). No obstante, para futuros trabajos, sería recomendable realizar un análisis económico de su aplicación como alternativa sostenible en la producción orgánica.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Federal de Viçosa en especial al Laboratorio de Manejo Integrado de Plantas Dañinas y su equipo, por las facilidades prestadas al desarrollo del experimento en laboratorio.

Referencias bibliograficas

- Alves, T., Campos, L., Neto, N., Matsuoka, M., & Loureiro, M. (2011). Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33, 341-347.
- Anderson, T.H., & Domsch, K.H. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25,93-395.
- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS – ALAM. (1974). Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. *ALAM*, 1, 35-38,
- Assis, E., Cordeiro, M., Paulino, H., & Carneiro, M. (2003). Efeito da aplicação de Nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de Sorgo em solo de Cerrado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 33, 107-112.
- Costa, M.A., Monteiro, R.T.R., & Tornisielo, V.L. (1997). Influência Da Adição De Palha De Cana-De-Açúcar Na Degradação De C-Ametrina Em Solo Areia Quartzosa. *Scientia Agrícola*, 54,3 <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161997000200001>
- Cruz, J.C., Pereira Filho, I.A., Alvarenga, R.C., & Santana, D.P. (2001). Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 22, 13-24.
- Darolt, M.R. & Skora Neto, F. (2002). Sistema de Plantio Direto em agricultura orgânica. *Revista Plantio Direto*,70, 28-30.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2013). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro.

- Evans, G.J., Bellinder, R.R. & Hahn, R.R. (2011). Integration of Vinegar for In-Row Weed Control in Transplanted Bell Pepper and Broccoli. *Weed Technology*, 25, 459-465.
- Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, 35(6), 1039-1042.
- Fischer, H. & Kuzyakov, D.Y. (2010). Sorption, microbial uptake and decomposition of acetate in soil: Transformation revealed by position-specific ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 186-192.
- Galvão, J.C.C., Corrêa, M.L.P., Lemos, J.P., Miranda, G., Da Conceição, P. & Fontanetti, A. (2010). Componentes de Produtividade de Milho em Sistema Plantio Direto Orgânico e Convencional. Em: (Magalhães, P), XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo e IV Simpósio Brasileiro sobre a Lagarta do Cartucho. Associação Brasileira de Milho e Sorgo. Goiânia
- Gama-Rodrigues, E.F. (1999). Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. En: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese.
- Insam, H. (2001). Developments in soil microbiology since the mid 1960s.. *Geoderma*, 100, 389-402.
- Islam, K.R., & WEIL, R.R. (1998). Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 408-416.
- Jakelaitis, A., Santos, J.B., Vivian, R., & Silva, A. (2007). Atividade Microbiana e Produção de Milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas Daninhas. *Planta Daninha*, 25, 71-78.
- Johnson, E.N., Wolf, T. & Caldwell, B. (2004). Vinegar for pre-seed and post-emergence control of broadleaf weeds in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Proc. Nat. Meet., Canadian. Weed Sci. Soc. 57th Annual Meeting*. Halifax, Nova Scotia, Canada. 87.
- Mercante, F.M., Silva, R.F., Francelino, C.S.F., Cavalheiro, J.C.T., & Otsubo, A.A. (2008). Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Sci. Agron*, 34, 479-485.
- Moreira, F.M.S., & Siqueira, J.O. (2006). *Microbiologia e Bioquímica do solo*. Lavras, UFLA.
- MSDS Material Safety Data Sheet (2008). Acetic Acid >96%. Fisher Scientific. <http://fscimage.fishersci.com/msds/00120.htm>. Accessed 20 June 2012.
- Pereira, P.S., Maia, A.J., Gomes, R.V.R., & Gomes, E.N. (2013). Eficácia do ácido acético no controle de algumas espécies de plantas daninhas. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 9, 2512.
- Powlson, D.S., Brookes, P.C., & Christensen, B.T. (1987). Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, 19, 159-164.
- Pujiswanto, H., Yudono, P., Sulistyowati, E. & Bambang, H. (2013). Effect of acetic acid as pre-plant herbicide on Maize germination. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 8(10), 696-701.
- Radhakrishnan, J., Teasdale, J.R., & Coffman, C.B. (2003). Agricultural Applications of Vinegar, *Proceedings of northeastern weed science society*. 57, 63-64.
- Rizzon, L. A., Meneguzzo, J., & Manfroio, L. (2006) *Sistema de Produção de Vinagre*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Silva, E.C., Galvão, J.C.C., Almeida, A.A., & Miranda, G.V. (2008). Produtividade de Variedades Locais de Milho nos Sistemas de Cultivo Orgânico e Convencional. *Caatinga (Mossoró, Brasil)*, 21.
- Vancen, E., Brookes, P., & Jenkinson, D. (1987) Na extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* 19, 703-707.
- Webber III, C.L., & Shreffler, J.W. (2009). Vinegar (20% acetic acid) broadcast application for broadleaf weed control in spring-transplanted onions. In: Brandenberger, L., Wells, L., editors. (2008). *Vegetable Trials Report*, Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Horticulture and Landscape Architecture. Stillwater, OK. MP-164, 62-64.