

Influencia de las sustancias húmicas y fúlvicas en los atributos del suelo

Marco Aurélio da Silva¹
Natália Maria Maciel Guerra-Silva^{2,§}
Itacir Eloi-Sandini³
Leopoldo Sussumu-Matsumoto¹

1 Universidad Estatal del Norte de Paraná-Campus Luiz Meneghel. Laboratorio de Microbiología de Suelos. 369, km 54. Brasil. CP. 86360-000. (marcoagro@msn.com; leopoldo@uenp.edu.br).

2 Universidad Estatal del Norte de Paraná-Campus Luiz Meneghel. Sector Enfermería, BR 369, km 54, Brasil. CP. 86360-000.

3 Universidad Estatal del Centro-Oeste. Guarapuava-PR. Brasil. (isandini@hotmail.com).

Autora para correspondencia: natyguerra@uenp.edu.br.

Resumen

Las sustancias húmicas y fúlvicas son compuestos orgánicos provenientes de la descomposición de residuos vegetales y animales en el ambiente, que pueden ser utilizados como insumos alternativos para el manejo de diversos cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de sustancias húmicas y fúlvicas sobre los atributos químicos y microbiológicos del suelo. Se recolectaron muestras de suelo a una profundidad de 0-10 cm antes de la siembra y en la etapa de floración (R2) y se evaluaron atributos químicos, como contenido de macronutrientes, pH y materia orgánica y atributos microbiológicos como carbono de la biomasa microbiana, respiración basal del suelo, cociente microbiano y metabólico para determinar la actividad microbiana. En parámetros agronómicos se evaluó el desarrollo de las plantas y la productividad. En los resultados de atributos químicos se observaron pocas alteraciones; sin embargo, se notó una mejora en la concentración de materia orgánica en las áreas que recibieron sustancias húmicas y fúlvicas a una dosis de 4 L ha⁻¹, que también se observa en los atributos microbiológicos, con aumento de la comunidad microbiana y mejora significativa en la actividad biológica del suelo. Datos que se reflejaron en aumento de productividad, con aumento de 10 a 14 sacos ha⁻¹, sin y con asociación con *Bacillus* sp., respectivamente. Se concluye que las sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a dosis de 4 L ha⁻¹ con o sin asociación con la bacteria *Bacillus* sp., promovieron mejoras en los atributos microbiológicos del suelo y consecuentemente en el desarrollo del cultivo de soya.

Palabras clave:

Glycine max, bioindicadores de calidad del suelo, bioinsumos, rizobacterias.



Introducción

La soya [*Glycine max* (L.) Merrill] es actualmente considerada una de las materias primas más importantes, tanto a nivel nacional como mundial. Esta leguminosa tiene un alto valor nutricional en su composición y se destaca por tener una alta cantidad de proteína en su grano, convirtiéndose así en una excelente opción para sustituir la proteína animal por una de origen vegetal en la nutrición humana (Lopes *et al.*, 2016).

La mayor producción de soya de Brasil se concentra en los estados de Mato Grosso (considerado el mayor productor brasileño), Paraná, Rio Grande do Sul y Goiás. En la cosecha 2022-2023, Brasil tuvo una producción de 154 millones de toneladas de granos de soya (Conab, 2024). Al igual que otros cultivos importantes a nivel económico y social, la soya tiene diferentes requerimientos nutricionales para un desarrollo exitoso. Las deficiencias nutricionales son responsables de la disminución de la productividad, y se asocian a síntomas característicos de la falta de cada nutriente (Conab, 2016).

El uso adecuado de fertilizantes en las regiones productoras de soya es fundamental para lograr una alta productividad. El análisis fisicoquímico de los suelos permite el correcto suministro de las principales necesidades nutricionales del cultivo y tiene como objetivo optimizar los costos de implementación y mantenimiento del cultivo (Conab, 2016). La soya tiene diferentes requerimientos nutricionales a lo largo de su desarrollo; además de los macronutrientes (C, H, O) que aporta la atmósfera (O_2 , CO_2 y H_2O), el cultivo también carece de nutrientes que son suministrados por el suelo, tales como P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Co y Zn y en el caso del N, en parte a través del suelo y en parte a través de la atmósfera.

Los trastornos nutricionales se encuentran entre los factores responsables de la reducción de la productividad (Carmello y Oliveira, 2006). Conociendo la importancia de los nutrientes para las plantas y sus efectos en el desarrollo y la productividad, la búsqueda de estimulantes que puedan contribuir a una mejor absorción de nutrientes en la búsqueda de una mayor productividad se ha convertido en el objetivo de muchos estudios. Los biofertilizantes, biorreguladores, bioestimulantes y bioactivadores se citan como los principales estimulantes capaces de promover efectos importantes en las plantas, estimulando la comunidad microbiana del suelo con el fin de alterar el desarrollo y la productividad de los cultivos (Morzelle *et al.*, 2017).

El uso de estos estimulantes se ha convertido en una herramienta importante para los productores e investigadores en la búsqueda de aumentar la productividad de los cultivos, con menor impacto en el medio ambiente (Soares, 2013). Entre los estimulantes destacan los biofertilizantes. Teniendo en cuenta que la aplicación de biofertilizantes puede contribuir a una mejor producción de los cultivos de soya, la búsqueda de información respecto a la aplicación vía surcos de siembra es necesaria para proporcionar conocimiento sobre las diferentes alternativas de manejo y uso de estos productos, como el impacto sobre los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de la materia orgánica, mineralización y solubilización de nutrientes para la planta.

El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de la aplicación de sustancias húmicas y fúlvicas sobre los atributos químicos y microbiológicos del suelo en el desarrollo del cultivo de soya.

Materiales y métodos

Caracterización del área experimental

El experimento se llevó a cabo en campo en el cultivo 2022-2023, en un Latosol Rojo Eutrófico típico en el municipio de Itambaracá, Estado de Paraná, Brasil, que se encuentra a 22° 58' 16.2" latitud S y 50° 28' 59.9" longitud O, con una altitud de 420 msnm; la clasificación del clima es Cfa (Köppen y Geiger) subtropical húmedo; el área tiene antecedentes de un sistema de falta de preparación para el cultivo de soya y maíz, con las siguientes características químicas: materia orgánica= 25.1 g kg⁻¹; pH= 4.6; P= 14.9 mg dm⁻³; K= 0.6 mol_c dm⁻³; Ca= 5.8 mol_c dm⁻³; Mg= 1.3 mol_c dm⁻³; H+Al= 5.1 mol_c dm⁻³; CIC= 12.8 mol_c dm⁻³; V= 59.7%. Y características microbiológicas: carbono de la biomasa microbiana (CBM)= 44.05 mg C kg⁻¹; respiración basal (RB)= 0.31 mg C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹; cociente metabólico (qCO₂)= 7.14; cociente microbiano (qMIC)= 0.27%.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo de octubre del 2021 a marzo del 2022 en una superficie total de 4 200 m². Los tratamientos consisten en [C]= control; [BAC]= *Bacillus* sp. aislado en una concentración de 10⁹ UFC mL⁻¹; [AHF1]= húmico y fúlvico 2 L ha⁻¹; [AHF2]= húmico y fúlvico 4 L ha⁻¹; [AHF1+BAC]= húmico y fúlvico 2 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp.; [AHF2+BAC]= húmico y fúlvico 4 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp., con parcelas con un área de 700 m² (10 m de ancho por 70 m de largo) distribuidas en la delimitación de parcelas en franja. En cada parcela se recogieron cinco muestras de suelo entre las líneas de plantación, utilizando un tornillo sinfín a una profundidad de 0-10 cm para los análisis microbiológicos y de 0-20 cm para los análisis químicos, constando cada muestra de 10 submuestras que se juntaron en un balde y se homogeneizaron para retirar cada muestra principal.

Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico y se transportaron en una caja térmica para no perder las características del suelo recolectado y evitar cualquier tipo de interferencia posterior en los análisis. Las muestras fueron llevadas el mismo día al Laboratorio de Microbiología de Suelos, en la UENP/CLM. La siembra de soya se realizó el 10-09-2021, con un espaciamiento de 0.45 cm entre hileras. Fertilizante base de 250 kg ha⁻¹ de fórmula 20-02-18.

La recolección de suelo para los análisis químicos y microbiológicos se realizó posemergencia en la etapa de plena floración (R2). En las evaluaciones químicas, se realizaron análisis de macronutrientes, materia orgánica y pH. En los análisis microbiológicos se evaluó el carbono de la biomasa microbiana (CBM), la respiración basal (RB), el cociente metabólico (qCO_2) y el cociente microbiano ($qMIC$).

La cosecha de la soya se realizó el 02-17-2022; las seis áreas fueron cosechadas, separadas y pesadas para obtener los resultados de productividad. Al momento de la cosecha, los granos tenían 19% de humedad, determinada después de recolectar una porción de 400 g y llevarla a la cooperativa integrada para determinar la humedad y posteriormente corregida a 14% de humedad para determinar el peso neto estándar de comercialización.

Atributos químicos y microbiológicos del suelo

Análisis químico del suelo

Después de secar las muestras de suelo al aire, se determinó el pH en 0.01 M CaCl₂, P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Al³⁺. Los contenidos de Ca²⁺, Mg²⁺ y Al³⁺ se extrajeron con KCl 1 N y se determinaron por absorción atómica (Ca²⁺ y Mg²⁺) y titulación con NaOH 0.025 M (Al³⁺); P y K⁺ se extrajeron con el extractor Mehlich-1 y se determinaron por espectrofotometría de ionización de llama (K⁺) y el método de azul de molibdeno (P), según Embrapa (2009).

Determinación de materia orgánica

El contenido de materia orgánica se determinó en función de la pérdida de masa del residuo incinerado, considerando el material perdido por combustión en el rango de temperatura de 105 °C a 550 °C, según Embrapa (2009); Tedesco (1995).

Determinación del carbono de la biomasa microbiana (CBM)

Considerada la parte viva y más activa de la materia orgánica. Está conformada por hongos, bacterias y actinobacterias que actúan en procesos que van desde la formación del suelo hasta la descomposición de residuos orgánicos, el ciclo de nutrientes, la biorremediación, entre otros. El carbono de la biomasa microbiana (CBM) del suelo se determinó mediante el método de fumigación-extracción indirecta (FEI) propuesto por Silva *et al.* (2007).

Determinación de la respiración basal (RB) del suelo

La respiración basal es la cantidad de CO₂ liberada por la respiración de microorganismos, un método utilizado para evaluar la actividad metabólica del suelo (Silva *et al.*, 2007).

Determinación del cociente metabólico (qCO_2) del suelo

El cociente metabólico (qCO_2) es la relación entre la respiración basal y la biomasa microbiana del suelo por unidad de tiempo (Anderson y Domsch, 1993).

Determinación del cociente microbiano ($qMIC$)

El cociente microbiano ($qMIC$) representa la relación entre el carbono de la biomasa microbiana (CBM) y el carbono orgánico total (COT). Esta relación se utiliza como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo, indicando la cantidad de carbono orgánico que se inmoviliza en la biomasa y demostrando también la eficiencia de los microorganismos en el uso de compuestos orgánicos (Silva *et al.*, 2010).

Evaluación agronómica

Las evaluaciones agronómicas se realizaron durante el desarrollo del cultivo. A los 7, 14 y 21 días después de la siembra, se evaluó el stand de las plantas. En la etapa vegetativa R2 se recolectaron 10 plantas por parcela para determinar la masa fresca y seca de brotes, raíces y nódulos. Las plantas se pesaron *in situ* (brote y raíz) para determinar la masa fresca y para determinar la masa seca las plantas se colocaron en una bolsa de papel y se secaron en un horno de circulación de aire forzado a 60 °C, hasta obtener peso constante. La productividad se determinó recolectando plantas en tres hileras de 1 m, totalizando siete submuestras por parcela.

Análisis estadístico

Los resultados de los atributos químicos y microbiológicos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey y los resultados de los parámetros agronómicos se sometieron a la prueba de T y la prueba de Scott-Knott para productividad, para comparar las medias al nivel de 5% de probabilidad, utilizando el software Sisvar (Ferreira, 2019).

Resultados y discusión

En cuanto a los parámetros químicos, se destaca el incremento del contenido de materia orgánica en el suelo en tratamientos con aplicación por aspersión en el área total de la parcela de 4 L ha⁻¹ sin y con inoculación de *Bacillus* sp. (Cuadro 1), este incremento reflejó un aumento de la biomasa microbiana sin la inoculación de *Bacillus* sp.; con la presencia de la bacteria, se observó que hubo competencia con las bacterias inoculadas y la biota nativa; sin embargo, la biomasa fue mayor que el control (Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis químico realizado en la etapa de plena floración (R1-2) en cultivos de soja.

Tratamiento	MO (g kg ⁻¹)	pH ^(*)	CaCl ₂	P ^(*) (mg dm ⁻³)	K ^(*) Ca ^(*) Mg ^(*)			H+Al	CIC ^(*)	V (%)
					(mol _e dm ⁻³)					
C	27.8 c	5.5	14.5	0.7	7.2	1.2	6.5 a	15.6	58.6 b	
BAC	28.1 bc	5.2	12.6	0.7	7.4	1.3	5.9 ab	15.3	61.2 ab	
AHF1	27.1 c	5.3	31.5	0.7	7.5	1.3	5.6 b	15.1	62.8 a	
AHF2	29.8 ab	5.5	19	0.7	7.5	1.2	5.7 b	15.1	62.5 a	
AHF1+BAC	28.9 bc	5.1	17.3	0.7	7.4	1.3	5.8 b	15.2	62 a	
AHF2+BAC	30.8 a	5.2	25.0	0.7	7.6	1.3	6 ab	15.6	61.6 ab	

Tratamiento	MO (g kg ⁻¹)	pH ^(*)	CaCl ₂	P ^(*) (mg dm ⁻³)	K ^(*)	Ca ^(*) Mg ^(*) H+Al			CIC ^(*)	V (%)
						(mol _e dm ⁻³)				
CV (%)	3.55	5.17	59.28	32.71	3.05	4.7	4.94	2.37	2.56	

MO= materia orgánica; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; H+Al= acidez potencial; CIC= capacidad de intercambio catiónico; V= saturación de base; [C]= control; [BAC]= *Bacillus* sp.; [AHF1]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹; [AHF2]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹; [AHF1+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp.; [AHF2+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp. Las medias seguidas de la misma letra minúscula en columnas no difieren entre sí utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad del 5%; *= no hubo diferencia estadística entre los tratamientos.

Cuadro 2. Análisis de los atributos microbiológicos de los suelos en la etapa de plena floración del cultivo de soya.

Trat	COT (g kg ⁻¹)	CBMS (mg C kg ⁻¹ suelo)	RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	qCO ₂ RB/BMS	qMIC (%)
C	16.14 c	52.89 d	0.38 d	7.19 c	0.33 d
BAC	16.3 bc	94.92 c	1.03 b	11.84 a	0.53 c
AHF1	16.74 abc	133.35 b	0.99 bc	7.5 c	0.8 b
AHF2	17.85 a	176.01 a	1.36 a	7.71 bc	0.99 a
AHF1+BAC	15.71 c	137.11 b	1.26 a	9.22 b	0.87 ab
AHF2+BAC	17.3 ab	96.42 c	0.76 c	7.91 bc	0.56 c
CV (%)	3.55	7.79	12.19	10.29	9.19

Carbono orgánico total (COT); carbono de la biomasa microbiana del suelo (CBMS); respiración basal (RB); cociente metabólico del suelo (qCO₂); cociente microbiano (qMIC); [C]= control; [BAC]= *Bacillus* sp.; [AHF1]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹; [AHF2]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹; [AHF1+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp.; [AHF2+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp. Las medias seguidas de la misma letra minúscula en columnas no difieren entre sí utilizando la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Los demás parámetros químicos están dentro de un buen manejo del suelo para el cultivo de soya. Sin embargo, en comparación con el análisis inicial del suelo y el análisis en plena floración, se observa una mejora considerable en la fertilidad del suelo con el uso de sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos, una mejora en la CIC y también en la saturación de bases. Los efectos de la aplicación de sustancias húmicas en la producción de plantas y la absorción de nutrientes dependen de la fuente de origen de las sustancias húmicas y fúlvicas y de su concentración. En altas concentraciones de ácidos húmicos, se desarrollan plantas más tolerantes al estrés, productivas y saludables (Ampong *et al.*, 2022).

En vista de los resultados obtenidos con el análisis químico del suelo en la etapa R2 de la soya, se encontró una diferencia en el contenido de P (melich⁻¹ mg dm⁻³) en el suelo, resultado de la aplicación de sustancias húmicas y fúlvicas. El aumento encontrado en el nivel de P disponible en el suelo puede haber ocurrido como resultado de la capacidad de las sustancias húmicas y fúlvicas para actuar como agentes complejantes. De acuerdo con Caron *et al.* (2015), las sustancias húmicas y fúlvicas pueden promover un aumento en el contenido de fósforo soluble a través de la complejación de Fe⁺² y Al⁺³ (suelos ácidos) y Ca⁺² (suelos alcalinos).

Con el posible uso de biofertilizantes a base de ácidos húmicos y fúlvicos a largo plazo, se espera que se observen aumentos en los niveles de otros elementos en el suelo. Li *et al.* (2019) evaluaron los efectos de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos bajo el cultivo continuo de cacahuate en tres años consecutivos, encontraron incrementos en los contenidos totales y disponibles de N, P y K y en los contenidos de materia orgánica, verificando el efecto máximo en el tercer año de aplicación de sustancias húmicas y fúlvicas.

En cuanto a los atributos microbiológicos, se observó que todos los tratamientos mostraron un aumento de la biomasa microbiana (CBM) del suelo, demostrando un aumento de la población

microbiana. El uso de sustancias húmicas y fúlvicas combinadas o no con bacterias no causó estrés metabólico (qCO_2), manteniéndose en los mismos niveles que el control (7.19), lo que muestra un aumento solo en la aplicación de la bacteria *Bacillus* sp., el aumento en el cociente metabólico (11.84) (Cuadro 2).

La actividad microbiana ($qMIC$) evaluada en el ensayo demostró una mejora en la actividad microbiana en la descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo en todos los tratamientos, con énfasis en el tratamiento AHF2 (0.99). Los grupos funcionales de sustancias húmicas y fúlvicas favorecen el crecimiento y aumento de la biomasa vegetal, así como un aumento en el número de frutos, lo que resulta en un aumento de la productividad de los cultivos (Halpern *et al.*, 2015).

Esta mejora en los atributos microbiológicos al utilizar rizobacterias y en especial sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a dosis de 2 y 4 L ha⁻¹ combinadas o no con *Bacillus* sp. demostró un aumento en la población y actividad microbiana en el suelo (Cuadro 2), en comparación con las condiciones iniciales antes de la siembra.

El mejoramiento en las condiciones microbiológicas del suelo y en la materia orgánica del suelo, reflejado en los parámetros agronómicos de la planta de soya, demostrando un incremento en la masa seca del brote en los tratamientos con sustancias húmicas y fúlvicas en las dos dosis evaluadas combinadas con *Bacillus* sp. (13.1% y 18.42%, respectivamente), a pesar de ser estadísticamente iguales al control (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros agronómicos de la planta de soya (brote, raíz, nódulos y productividad).

Trat	MSB (g)	MSR (g)	MNOD (g)	Productividad	
				(kg ha ⁻¹)	(Sacos ha ⁻¹)
C	21.22 ab	2.6 ab	0.19 bc	3 523.37 b	58.72
BAC	20.18 b	2.71 a	0.28 a	3 286.22 b	54.77
AHF1	21.35 ab	2.23 b	0.2 bc	3 704.06 b	61.73
AHF2	22.29 ab	2.31 ab	0.17 c	4 133.19 a	68.89
AHF1+BAC	24.06 ab	2.57 ab	0.25 ab	3 478.2 b	57.97
AHF2+BAC	25.13 a	2.3 ab	0.15 c	4 381.63 a	73.03
CV (%)	18.64	16.19	34.71	16.5	-

MSB= masa seca del brote; MSR= masa seca de la raíz; MNOD= masa de nódulos; C= control; BAC= *Bacillus* sp.; [AHF1]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹; [AHF2]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹; [AHF1+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 2 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp.; [AHF2+BAC]= sustancias a base de ácidos húmicos y fúlvicos a una dosis de 4 L ha⁻¹ + *Bacillus* sp. Las medias seguidas de la misma letra minúscula en columnas no difieren entre sí utilizando la prueba de T al 5% de probabilidad para parámetros agronómicos (MSB, MSR, MNOD) y la prueba de Scott-Knott para la productividad.

Los derivados de leonardita alteraron la estructura del microbioma del suelo cultivado en condiciones de invernadero. Las plantas tratadas con ácidos húmicos mostraron mayor diversidad y riqueza microbiana, con predominio de proteobacterias, causando un impacto beneficioso en el crecimiento de las plantas (Hita *et al.*, 2020). La inoculación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) y ácidos húmicos regula genes relacionados con la protección de las plantas y el estrés oxidativo. Estos cambios metabólicos adaptativos pueden reducir el estrés de las plantas en condiciones de estrés biótico y abiótico (Galambos *et al.*, 2020).

Esta combinación es beneficiosa ya que induce una protección secundaria y promueve el crecimiento de las plantas. El uso prolongado de ácidos húmicos en la agricultura altera la actividad enzimática del suelo y la estructura de la comunidad microbiana del suelo, aumentando la población de bacterias y hongos beneficiosos (Li *et al.*, 2019). Las plantas desencadenan la producción de fitohormonas, lo que provoca cambios en el crecimiento de las raíces y los brotes, y la rizodeposición que luego influirán en la microbiota en la composición de la comunidad del sistema suelo-planta.

En el parámetro raíz, no se observaron variaciones importantes en el peso seco de la raíz, hecho explicado por la extrema dificultad de remover la raíz del suelo arcilloso; no obstante, se observó una diferencia significativa entre los tratamientos BAC y AHF1. El tratamiento con bacterias que presenta mayor masa seca puede estar relacionado con la mayor masa seca de los nódulos (Cuadro 3). Sin embargo, la mayor nodulación no se reflejó en la productividad ($54.7 \text{ sacos ha}^{-1}$).

La mayor productividad se observó en los tratamientos con sustancias húmicas y fúlvicas a dosis de 4 L ha^{-1} con y sin *Bacillus* sp. ($4\ 381.63$ y $4\ 133.19 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente), con un incremento de 14 y 10 sacos ha^{-1} , respectivamente, en comparación con el control (Cuadro 3). Caron *et al.* (2015) afirmaron que las sustancias húmicas pueden ser utilizadas como insumos, con el objetivo de acondicionar positivamente el suelo, mejorando el desarrollo de los cultivos donde se utiliza, principalmente el sistema radicular.

Estos mismos autores reportan que las sustancias húmicas pueden causar efectos beneficiosos como un mayor crecimiento radicular, mayor efectividad en la absorción de nutrientes y productividad en la parte aérea de la planta a través de procesos como la señalización hormonal y los cambios metabólicos (Caron *et al.*, 2015).

La nutrición de las plantas, así como la fertilidad del suelo, se destacan entre los factores que están directamente relacionados con el éxito del cultivo y la productividad, y constituyen la gestión de los nutrientes considerados esenciales para el crecimiento de las plantas. Los requerimientos nutricionales de la soya y el potencial de exportación del cultivo son características determinadas por factores genéticos, pero influenciadas por factores climáticos, la fertilidad del suelo y el manejo cultural (Oliveira *et al.*, 2019).

Los biofertilizantes, biorreguladores, bioestimulantes y bioactivadores se citan como los principales estimulantes capaces de promover efectos importantes en las plantas, estimulando la comunidad microbiana del suelo con el fin de alterar el desarrollo y la productividad de los cultivos (Morzelle *et al.*, 2017).

Otra forma de incluir estimulantes en el manejo del cultivo mencionada en algunos estudios es la aplicación foliar. Según Bertolin *et al.* (2010), el uso de estos productos en el cultivo de soya proporciona un aumento en el número de vainas por planta y la productividad del grano tanto cuando se aplican a través del tratamiento de semillas como de la aplicación foliar. Otra manera de insertar estimulantes en el manejo del cultivo de soya es la aplicación vía surcos de siembra; no obstante, el tema se discute con menor frecuencia en la literatura cuando se compara con el tratamiento de semillas y la aplicación foliar.

Los productos a base de ácido húmico pueden aumentar la capacidad de retención de nutrientes del suelo, mejorando el ciclo de nutrientes dentro de diferentes compartimentos de la materia orgánica del suelo, así como el intercambio de nutrientes disueltos en el agua en los poros del suelo (Ampong *et al.*, 2022).

Dado que los aditivos orgánicos pueden actuar como fertilizantes de liberación lenta, esta situación beneficiosa podría mantenerse durante largos períodos de tiempo; en contraste, con los fertilizantes minerales solos. El uso combinado de ácido húmico y fertilizantes inorgánicos aumenta el rendimiento y la calidad de las plantas a largo plazo (Li *et al.*, 2019). Los ácidos húmicos alivian los problemas asociados con el sistema de cultivo continuo. En presencia de estos, aumenta los niveles de NPK disponibles para las plantas y la materia orgánica en el suelo, lo que resulta en una mayor absorción de NPK por parte de la planta.

Además, las mejoras en la calidad fisicoquímica del suelo conducen al crecimiento de las plantas al mejorar la diversidad microbiana y las actividades enzimáticas del suelo (Li *et al.*, 2019). Se destaca la importancia de utilizar sustancias basadas en ácidos húmicos y fúlvicos aplicadas vía suelo para mejorar la microbiota y en consecuencia, las propiedades físicas y químicas.

Conclusiones

Las sustancias húmicas y fúlvicas influyeron positivamente en los atributos químicos y microbiológicos evaluados, observándose principalmente la mejora en el contenido de materia orgánica, hecho que influyó directamente en la biomasa y la actividad microbiana del suelo y en consecuencia en la descomposición y mineralización de la materia orgánica, mejorando la eficiencia en la puesta a disposición de nutrientes para la planta, hecho que se refleja en la productividad de los cultivos de soja.

Bibliografía

- 1 Ampong, K.; Thilakarathna, M. S. and Gorim, L. Y. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontier in Agronomy*. (4):1-14. Doi: 10.3389/fagro.2022.848621.
- 2 Anderson, T. H. and 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*. 3(25):393-395.
- 3 Bertolin, D. C.; Sá, M. E.; Arf, O.; Furlani-Junior, E.; Colombo, A. S. and Carvalho, F. L. B. M. 2010. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. *Bragantia Campinas*. 2(69):339-347. Doi: 10.1590/S0006-87052010000200011.
- 4 Carmello, Q. A. C. and Oliveira, F. A. 2006. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. *Visão Agrícola*. 5(1):8-11.
- 5 Caron, V. C.; Graças, J. P. and Castro, P. R. C. 2015. Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos. Piracicaba: ESALQ-USP. 13-27 pp.
- 6 CONAB. 2024. Companhia Nacional de Abastecimento. Evolução de produção de soja no Brasil. Brasília. Conab. 111 p.
- 7 CONAB. 2016. Companhia Nacional de Abastecimento. Evolução dos custos de produção de soja no Brasil. Brasília. Conab. 156 p.
- 8 Embrapa. 2009. empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Silva, F. C. Ed. 2 Ed. Rev. Ampl. Embrapa Informação tecnológica. 627 p.
- 9 Ferreira, D. F. 2019. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*. 4(37):529-535.
- 10 Galambos, N.; Compant, S.; Moretto, M.; Sicher, C.; Puopolo, G. and Wäckers, F. 2020. Humic acid enhances the growth of tomato promoted by endophytic bacterial strains through the activation of hormone growth and transcription related processes. *Frontier in Plant Science*. 11:1-14. Doi: 10.3389/fpls.2020.582267.
- 11 Halpern, M.; Bar-Tal, A.; Ofek, M.; Minz, D.; Muller, T. and Yermiyahu, U. 2015. Chapter two is the use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in Agronomy*. 130:141-174. Doi: 10.1016/bs.agron.2014.10.001.
- 12 Hita, D.; Fuentes, M.; Zamarreño, A. M.; Ruiz, Y. and García-Mina, J. M. 2020. Culturable bacterial endophytes from sedimentary humic acid-treated plants. *Frontier in Plant Science*. 11:1-12. Doi: 10.3389/fpls.2020.00837.
- 13 Li, Y.; Fang, F.; Wei, J.; Wu, X.; Cui, R.; Li, G.; Zheng, F. and Tan, D. 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three year experiment. *Scientific reports*. 1(9):1-9. Doi: 10.1038/s41598-019-48620-4
- 14 Lopes, J. A. M.; Pelúzio, J. M. and Martins, G. S. 2016. Teor de proteína e óleo em grãos de soja, em diferentes épocas de plantio para fins industriais. *Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa*. 3(10):49-53.

- 15 Morzelle, M. C.; Peters, L. P.; Geraldi, A. B.; Castro, P. R. C. and Mendes, A. C. C. M. 2017. Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólicos microbianos na agricultura. Série produtor rural núm. 63. 1. Ed. Piracicaba. ESALQ divisão de biblioteca. 96 p.
- 16 Oliveira, F. A.; Sfredo, G. J.; Klepker, D. and Castro, C. 2019. Exigências minerais e adubação. Embrapa. <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/contag01-38-271020069132.html>. 1-8 pp.
- 17 Silva, E. E.; Azevedo, P. H. S. and Polli, H. 2007. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo. Seropédica. Embrapa Agrobiológica. 6 p.
- 18 Silva, R. R. D.; Silva, M. L. N.; Cardoso, E. L.; Moreira, F. M. D. S.; Curi, N. and Alivisi, A. M. T. 2010. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 5(34):1585-1592. Doi: 10.1590/S0100-06832010000500011.
- 19 Soares, L. H. 2013. Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja. Dissertação (mestrado) - curso de agronomia, escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 130 p. Doi: 10.11606/D.11.2014.tde-04022014-152437.
- 20 Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohner, H. and Vlkweiss, S. J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais, 2 Ed. Porto alegre. UFRGS-Departamento de Solos. 174 p.



Influencia de las sustancias húmicas y fúlvicas en los atributos del suelo

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 03 June 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3644
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3644

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Glycine max

bioindicadores de calidad del suelo

bioinsumos

rizobacterias

Counts

Figures: 0

Tables: 3

Equations: 0

References: 20

Pages: 0