

EVALUACIÓN DE SUELO POST-INCENDIO Y ESTRATEGIA DE REMEDIACIÓN CON PRODUCTOS DE LOMBRICOMPOSTAJE

POST-FIRE SOIL ASSESSMENT AND REMEDIATION STRATEGY WITH WORMCOMPOSTING PRODUCTS

Mayra Genezareth Contreras Pérez¹ y Eliezer Cocoltzi Vásquez²

SUMARIO: Introducción, I. Metodología, I.1 Muestreo, I.2. Caracterización del suelo, I.3 Aplicación del tratamiento, I.4 Atributos funcionales, II. Resultados, II.1 Caracterización inicial, II.2 Evaluación de tratamiento humus y lixiviado de lombriz, II.3. Atributos funcionales, III. Conclusiones, IV. Fuentes consultadas

RESUMEN

Se evaluó la eficiencia del tratamiento biológico con enmiendas de humus y lixiviado de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) sobre las propiedades de un suelo post-incendio. Se realizó un muestreo 48 horas post-incendio y una caracterización inicial. Posteriormente se aplicaron cuatro tratamientos con diferentes porcentajes de humus (H) y lixiviado (L) (testigo, HL5%, HL10% y HL15%) y la siembra de dos especies vegetales, maíz (*Zea mays*) y tomate (*Lycopersicum esculentum*). Los cuatro tratamientos fueron evaluados mediante pH, conductividad eléctrica (CE), humedad, capacidad de campo, repelencia WDPT y repelencia MED, así como los atributos funcionales de las dos especies vegetales, durante 90 días. El análisis de varianza (ANOVA) indicó, con un 95% de

ABSTRACT

The efficiency of the biological treatment with humus amendments and Californian red worm (*Eisenia foetida*) leachate on the properties of a post-fire soil was evaluated. A sampling was carried out 48 hours after the fire and an initial characterization. Subsequently, four treatments were applied with different percentages of humus (H) and leachate (L) (Control, HL5%, HL10% and HL15%) and the planting of two plant species, corn (*Zea mays*) and tomatoe (*Lycopersicum esculentum*). The four treatments were evaluated by pH, electrical conductivity (EC), humidity, field capacity, WDPT repellency and MED repellency, as well as the functional attributes of the two plant species, during 90 days. The analysis of variance (ANOVA) indicated with 95% reliability that the HL15% treatment was

¹ Ingeniera ambiental, maestra en Gestión Ambiental, y en Estrategias para el Desarrollo Regional Sustentable. Doctpra en Ciencias Ambientales. Docente del Instituto Tecnológico Superior de Centla, México.

² Profesor investigador de la Universidad Veracruzana, México. Centro de EcoAlfabetización y Diálogo de Saberes.

confiabilidad, que el tratamiento HL15% fue el de mayor eficiencia incrementando la humedad, disminuyendo la repelencia del suelo y mejorando los atributos funcionales de las especies vegetales. Las enmiendas de lombricompostaje favorecen la remediación de suelos impactados por altas temperaturas.

the most efficient, increasing humidity, decreasing soil repellency and improving the functional attributes of plant species. Vermicomposting amendments favor the remediation of soils impacted by high temperatures.

PALABRAS CLAVE: incendio forestal, remediación, repelencia, suelo

KEYWORDS: forest fire, remediation, repellency, soils

INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, los incendios forestales han generado una tasa de destrucción de 11.2 millones de hectáreas anuales en promedio de los ecosistemas tropicales, equivalente a 20 hectáreas por minuto (Castillo et al., 2003). La gravedad de un impacto al suelo se determina por la intensidad, recurrencia y durabilidad del incendio, que se traducen en generación de erosión del suelo, pérdida de nutrientes, disminución de la materia orgánica, afectación en el ciclo hidrológico, disminución de vegetación y cambios de las propiedades del suelo; disminución de la tasa de infiltración del suelo y aumento de escurrimiento (Ressl & Cruz, 2012) y repelencia (Jaramillo, 2006).

Tratar de recuperar la calidad o condiciones óptimas de un suelo puede significar un excesivo costo; sin embargo, las tecnologías biológicas son una alternativa para la recuperación de suelos impactados (Volke & Velasco, 2002).

Entre estas se encuentran las de degradación lenta, como el humus y lixiviado de lombriz, que aportan retención de la humedad, aireación, porosidad; se presenta en forma soluble y disponible para las plantas y, bajo condiciones de sequía, mantiene el suelo en mejores condiciones hídricas (Hernández et al., 2008). Además genera tanto macronutrientes (N, K, Ca, Mg) como micronutrientes (B, Fe, Zn) contiene una alta carga de microorganismos benéficos para el sólido (Olivares et al., 2012) y permite la germinación de plantas (Ramos et al., 2019).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del tratamiento biológico con enmiendas de humus y lixiviado de lombriz aplicado en un suelo proveniente de incendio forestal, mediante análisis físicoquímicos y biológicos (atributos funcionales de especies vegetales) que permita conocer las modificaciones que tendrá el suelo al momento de aplicar el tratamiento. Inicialmente se realizó la caracterización del suelo afectado y

seguidamente se aplicaron los tratamientos mediante un diseño completamente aleatorizado realizado a escala laboratorio y finalmente se realizó la evaluación.

I. METODOLOGÍA

I.1 Muestreo

Se realizó un muestreo en la carretera Villahermosa-Frontera carretera costera del Golfo Km 37, en la Ranchería Tabasquillo 2da. sección, en las coordenadas $18^{\circ}17'59.51''N$, $92^{\circ}48'34.92''O$ perteneciente a la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RPBC). Dentro del sitio de estudio, se identificó una zona con presencia visible de incendio. El método empleado para el muestreo fue el establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se identificaron zonas impactadas por incendios y se tomaron 12 muestras superficiales y subsuperficiales ($n=12$) en diferentes puntos.

I.2 Caracterización del suelo

Se determinaron los siguientes los parámetros: pH y conductividad eléctrica con la metodología de la NOM-021-SEMARNAT-2001; la humedad se determinó con el método de termobalanza, la capacidad de campo con el método de capilaridad y la repelencia se evaluó empleando los métodos WDPT (Water Droplet Penetration Time) y el método MED (Molarity Ethanol Droplet).

I.3 Aplicación del tratamiento

Mediante un ensayo completamente aleatorizado factorial de 4×6 , se establecieron las unidades experimentales constituidas por cinco repeticiones, en bolsas germinadoras. Los tratamientos

fueron 1. Testigo (T), 2. Humus-lixiviado 5% (HL5%), 3. humus-lixiviado 10% (HL10%) y 4. Humus-lixiviado 15% (HL15%). Las enmiendas fueron humus y lixiviado proveniente del proceso de lombricompostaje de un invernadero tecnificado. Para la aplicación del lixiviado se usó una relación humus-lixiviado 1:1. La aplicación se realizó de manera manual e integrando la enmienda con el suelo, sobre cada ensayo experimental durante 90 días con aplicaciones cada 15 días, en proporción a la base actual. El periodo de aplicación se basó en lo sugerido por Farías et al., (1999).

I.4 Atributos funcionales

El diseño experimental fue de una vía con cuatro niveles. Se evaluaron las especies vegetales maíz (*Zea mays*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*), con el periodo de germinación respectivo y crecimiento de 21 días. La evaluación de los atributos funcionales se inició con la siembra de la especie vegetal (tomate). Los tratamientos evaluados fueron suelo post-incendio (T) y suelo con enmiendas humus y lixiviado de lombriz *Eisenia foetida* (HL5%, HL10% y HL15%) con cinco réplicas cada uno.

Maíz (*Zea mays*). Se seleccionaron las semillas que visiblemente tuvieron el mismo tamaño, evitando las que presentaran daños físicos. Las semillas se desinfectaron con una solución de 3.0% de NaClO y se colocaron en un recipiente de plástico, posteriormente se adicionó una solución acuosa al 0.4% de CaCo. Se dejaron reposar en la mezcla, por 8 o 12 h, para eliminar cualquier sustancia ajena a las semillas. Posteriormente se realizó la siembra colocando 10 semillas por cada unidad experimental y, finalmente, agregando 50

ml de lixiviado para favorecer la humedad de inicio.

Tomate (*Lycopersicon esculentum*). Todas las semillas fueron especificadas de tipo orgánico. Se descartaron las semillas dañadas y se utilizaron las de un mismo lote y tamaño, con el objetivo de reducir la variabilidad en los resultados (Sobrero & Ronco, 2013). Como control de calidad de las semillas, se realizó una prueba de viabilidad antes de realizar los ensayos de toxicidad. El procedimiento se basó en un lavado con solución de NaClO, luego se lavaron con agua destilada durante 15 min para eliminar los residuos. Una vez determinada la viabilidad de los lotes de semillas, estas se almacenaron en recipientes en oscuridad y ambiente seco para inhibir su germinación y mantener su fertilidad.

Evaluación de atributos funcionales. Se realizó mediante la medición de elongación de raíces, altura del tallo, cuantificación de número de hojas, peso fresco y peso seco (parte aérea y raíz) y contenido de agua y de biomasa (parte aérea y raíz).

A los 21 días de germinación, el procedimiento de obtención de las raíces, evaluación de biomasa y contenido de humedad se realizó limpiando las raíces mediante lavado, secado y pesado (peso húmedo) en una balanza analítica marca electrónica marca VELAB modelo VE-300. El tallo y la parte aérea se depositaron en bolsas de papel debidamente identificadas y se colocaron en el horno de secado marca NOVATECH modelo E135-E durante 48 h, a 60 °C.

II. RESULTADOS

Cada una de las variables registradas (pH, conductividad eléctrica, humedad, capacidad de campo, repelencia WDPT y repelencia MED) en el suelo sometido al tratamiento con humus y lixiviado (T, HL5%, HL10%, HL15%) y considerando 6 periodos de registro (15, 30, 45, 60, 75 y 90 días) fueron estudiadas con un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Cuando se encontraron diferencias significativas en los tratamientos se aplicó un análisis pos-hoc de comparaciones múltiples Tukey (<0.05).

Las variables registradas en el suelo sometido al tratamiento con humus y lixiviado fueron correlacionadas con los seis periodos de registro, además se hizo un análisis de regresión para obtener la línea de ajuste y la ecuación. Y cada uno de los atributos funcionales fueron examinados con análisis de varianza (ANOVA) de una vía para comparar los tratamientos (T, HL5%, HL10%, HL15%). Cuando se encontraron diferencias significativas en los tratamientos, se aplicó un análisis pos-hoc de comparaciones múltiples Tukey (<0.05). En todas las variables se probó la normalidad y la homocedasticidad para cumplir con los supuestos del modelo. Todas las representaciones, tablas y análisis fueron realizados en el *software* estadístico R (Ver. 4.0.1).

II.1 Caracterización inicial

Los resultados de un suelo post-incendio se muestran en la Tabla 1.

pH: De acuerdo a la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000, el suelo post-incendio se caracteriza como

medianamente alcalino, determinado por la cantidad de óxidos, hidróxidos y carbonatos, resultado de la combustión de compuestos orgánicos; los cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ se convierten en óxidos relativamente solubles, constituyendo a menudo componentes importantes de la ceniza que queda después del fuego (Bodíet al., 2014; Minervini, 2017). El cambio del pH también depende de la pérdida de grupos -OH por parte de las arcillas y la formación de óxidos derivados de la disociación de carbonatos (Úbeda, 2001).

Conductividad Eléctrica (CE): el suelo objeto de estudio presentó niveles despreciables de CE de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT, debido a la pérdida de humedad por altas temperaturas registradas durante el incendio y las afectaciones en la textura relacionadas a pérdida de macroporos y microporos que no retienen humedad (Rhoades et al., 1989; Farahani et al., 2007; Shaner et al., 2008; Simón et al., 2013).

Humedad: En un área con impacto de incendio, la textura es el factor más determinante en el control de la distribución espacial del suelo, si bien la fracción textural implicada en dicho control varía con el contenido de humedad (Gómez, 2000). La humedad de un suelo en un área quemada es muy baja, pues la presencia de altas temperaturas evapora el contenido de agua presente en el suelo (Holden et al., 2015) razón por la cual la muestra presentó 1.066% de humedad.

Capacidad de Campo (CC): Serna (2017) señala que la textura está

relacionada con la capacidad de absorción de agua y retención hídrica, de tal manera que durante un incendio, las arcillas se reducen, quedando principalmente una textura arenosa; por lo tanto, se sugiere que los resultados de $26.693 \pm 1.001\%$ de humedad del suelo presentaba índices de destrucción de materia orgánica, de arcillas, conservando en su mayoría arena que favorecen la absorción de agua por capilaridad.

Repelencia WDPT: la variación se debe a las fuerzas adhesivas y de las sustancias orgánicas que se volatilizan durante la combustión y se condensan posteriormente. La muestra caracterizada se clasifica como severamente repelente al agua con una clase de persistencia 3, de acuerdo a la clasificación de Dekker y Jungerius (1990).

Repelencia MED: La muestra caracterizada se clasifica como repelencia muy severa, con un MED de 5.6 Mol superando el límite de 3.2 Mol de la clasificación de King (1981). La repelencia, además de las fuerzas cohesivas y adhesivas de la superficie, se sugiere que está determinada por la formación de macroagregados posteriores al incendio, que presentan sustancias húmicas, fúlvicas, así como polímeros, lípidos y ligninas; todos

Parámetros	Media y desviación estándar	Unidades
pH	8.32±0.03	[H] ⁺
CE	0.25±0.01	ds · m ⁻¹
Humedad	1.07±0.02	% humedad
CC	55.94±3.23	%
WDPT	3259.96±259.99	S
MED ₁₀ [*]	5.54±0.04	Mol

Tabla 1 Características de un suelo post-incendio

estos son insolubles en agua, lo que genera una hidrofobicidad superficial del suelo.

II.2 Evaluación de los tratamientos con enmiendas de humus y lixiviado de lombriz

La evaluación periódica consistió en que, durante 6 periodos secuenciales correspondiente a 15 días cada uno, se analizaron los mismos parámetros de la caracterización inicial, los cuales fueron analizados en periodos y tratamientos mediante la prueba estadística ANOVA.

pH. El análisis de varianza factorial (periodos y tratamiento) indicó diferencias estadísticas significativa ($p < 0.0001$) entre las medias de la variable pH cuando fue sometida a los periodos (15, 30, 45, 60, 75 y 90 días) y tratamientos (T, HL5%, HL10% y HL15%) con un nivel de confianza del 95% ($F = 11.56$, $p < 0.0001$).

El comportamiento de dicha variable podría estar sujeto a factores como la progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas en la tercera fase. El pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón (Chávez et al., 2019). La concentración de la enmienda influye sobre el proceso de degradación, desde el punto biológico.

Ortiz et al., (2016) mencionan que el compostaje con la aireación adecuada

pH [H] ⁺			
Periodos	Inicial	8.32 ± 0.03	d
	15 días	8.09 ± 0.02	a
	30 días	8.06 ± 0.03	a
	45 días	8 ± 0.02	ab
	60 días	7.93 ± 0.02	b
	75 días	7.93 ± 0.03	b
	90 días	7.76 ± 0.03	c
Tratamientos	Control	8.32 ± 0.03	d
	Testigo	8.01 ± 0.02	bc
	HL5%	7.89 ± 0.03	a
	HL10%	7.91 ± 0.03	ab
	HL15%	8.03 ± 0.03	c

Tabla 2. Resultados de pH por periodo y tratamientos

conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8.

Posteriormente, se inicia un proceso de descomposición que tiende a acidificar el medio; para el caso de este trabajo, el pH disminuyó en promedio de 8.32 ± 0.03 a 7.76 ± 0.03 , manteniéndose como medianamente alcalino.

CE. La prueba estadística ANOVA indicó que se registraron diferencias significativas para la variable de CE entre los periodos ($F = 7.26$, $p < 0.0001$), y los tratamientos ($F = 14.74$, $p < 0.0001$) para los diferentes tratamientos T, HL5%, HL10% y HL15%.

Se presentó un incremento comparando el resultado de la caracterización inicial y el resultado final a los 90 días, pasando de 0.25 ± 0.01 a $0.56 \pm 0.08 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$, sin embargo, en ambos momentos se clasifica en efectos despreciables de la salinidad $< 1.0 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$.

Mediante el análisis ANOVA de dos vías no se identificó una interacción significativa entre los factores; es decir, entre periodos y tratamientos ($F = 1.33$, $p < 0.2$) (Tabla 3).

CE (ds·m ⁻¹)			
Periodos	Inicial	0.25 ± 0.01	ab
	15 días	0.17 ± 0.01	a
	30 días	0.33 ± 0.03	ab
	45 días	0.35 ± 0.03	ab
	60 días	0.39 ± 0.04	bc
	75 días	0.42 ± 0.05	bc
	90 días	0.56 ± 0.08	c
Tratamientos	Control	0.25 ± 0.01	ac
	Testigo	0.19 ± 0.05	a
	HL5%	0.30 ± 0.02	a
	HL10%	0.46 ± 0.03	bc
	HL15%	0.53 ± 0.03	b

Tabla 3. Resultados de CE por periodo y tratamientos

La constante aplicación de humus y lixiviado puede aumentar la CE debido a que la mayoría de estas enmiendas presentan altos valores de salinidad (Ayyobi et al., 2014; Mogollón et al., 2015). Bonanomi et al., (2014) señalan que los sitios tratados con enmiendas orgánicas presentan un aumento significativo de Na⁺ intercambiable y CE (Vázquez & Loli, 2018). Los resultados obtenidos son semejantes a las conclusiones de Vázquez et al., (2020), quienes observaron un incremento en la CE en un suelo al que se le adicionó vermicompostaje.

El humus tiene estrecha relación con la humedad como característica principal y, en este sentido, Gordillo et al., (2010) mencionan que entre mayor es el contenido de materia orgánica presente en el medio, menor es la CE; en contraposición, durante este estudio, se observó un incremento exponencial durante los periodos, así como en los

tratamientos, lo que sugiere que la CE incrementa debido al contenido de humedad (Corwin et al., 1999; Cortés et al., 2013).

Los resultados de CE no superaron los efectos despreciables de salinidad para ninguno de los tratamientos ni periodos; sin embargo, Pascual et al., (2006) sugieren no rebasar el 50% de vermicompostaje en la mezcla de enmienda, debido a que incrementar los niveles de CE puede ser limitante para el

desarrollo de especies sensibles y tiene un efecto variable sobre la fisiología vegetal en plantas (Gutiérrez y Cáceres, 2018).

Humedad. La prueba estadística demostró que hubo diferencias significativas para la variable de humedad entre los periodos (F=4.40, P<0.0001), y los tratamientos T, HL5%, HL10% y HL15% evaluados (F=37.33, P<0.0001) (Tabla 4). El análisis ANOVA de dos vías estableció diferencias estadísticamente significativas (P<0.0001)

CE (Humedad %)			
Periodos	Inicial	1.07 ± 0.02	ac
	15 días	2.09 ± 0.22	a
	30 días	5 ± 0.96	abc
	45 días	5.02 ± 0.72	abc
	60 días	4.85 ± 0.94	abc
	75 días	6.26 ± 0.81	bc
	90 días	6.94 ± 1.05	b
Tratamientos	Control	1.07 ± 0.02	ac
	Testigo	1.17 ± 0.03	c
	HL5%	3.53 ± 0.26	a
	HL10%	6.81 ± 0.64	b
	HL15%	8.60 ± 0.71	b

Tabla 4. Resultados de humedad por periodo y tratamientos

entre los niveles de las fuentes de variación sobre este parámetro, demostrándose la interacción entre los periodos y los tratamientos.

El contenido de humedad aumentó respecto al resultado de la caracterización inicial pasando de 1.07 ± 0.02 % a 6.94 ± 1.05 % hacia los 90 días de evaluación; dicho aumento se debió a la aplicación de los productos de humus y lixiviado, el cual favorece la meta de proveer humedad a un suelo post-incendio con características de repelencia.

Sin embargo, durante las evaluaciones, se observó un decremento de la humedad en todos los tratamientos (T, HL5%, HL10% y HL15%), asociado a la fase termófila de un proceso de compostaje en el que se alcanza una temperatura de 40°C , caracterizada por una mayor actividad microbiológica; en esta etapa se descomponen las ceras, proteínas y hemicelulosas; finalmente, la fase de madurez-estabilización, caracterizada por una disminución de la temperatura. En esta fase se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de las sustancias húmicas (Toratorolo, 2008).

Lo anterior influye directamente sobre la humedad, resultando una variación de temperatura y en consecuencia de humedad del sistema, el cual coincide con los resultados de ese trabajo; es decir, un incremento inicial de humedad, debido a la incorporación de humus y lixiviado y, hacia los 45 y 60 días, una disminución de la humedad que, tal como lo refieren Tortarolo et al. (2018) en sus experimentos, es a partir de los 40 a 80 días cuando se presenta la

fase termófila. Igualmente, Vargas et al. (2019) exponen en sus resultados que es a partir de los 90 días cuando un proceso de compostaje alcanza su maduración.

Capacidad de campo. El análisis estadístico mostró diferencias significativas para la capacidad de campo entre los periodos ($F=9.45$, $P<0.0001$), así como en los tratamientos T, HL5%, HL10% y HL15% evaluados ($F=8.43$, $P<0.0001$). Respecto a la capacidad de campo, el tratamiento HL5% fue el tratamiento con menor capacidad de filtración de agua por capilaridad, mientras que el tratamiento HL15% fue el que presentó mayor porcentaje de humedad. Según Grimaldo (2011), la capacidad de campo es ligeramente superior a lo normal, debido a una alta retención de agua por el suelo y la baja capacidad del agua para infiltrarse en el mismo.

El análisis ANOVA de dos vías indicó que no se presentó una interacción entre las fuentes de variación relacionadas a la capacidad de campo ($F=10.33$, $P<0.0001$); estos fueron el periodo (15, 30, 45, 60, 75 y 90 días) y los tratamientos (T, HL5%, HL10% y HL15%) (Tabla 5).

En este contexto, la capacidad de campo inicial podría estar determinada por la textura arenosa del suelo, característica de una muestra post-incendio; sin embargo, esta capacidad de absorción por capilaridad inicial favorecida por el tamaño de partícula no es directamente proporcional a la capacidad de retención de humedad, por lo que se observa una disminución hasta 37.69 ± 2.51 % en la capacidad de campo en los primeros 15 días de evaluación al no

Capacidad de Campo %			
Periodos	Inicial	55.94 ± 3.23	c
	15 días	37.93 ± 0.96	ab
	30 días	41.47 ± 0.68	ab
	45 días	40.56 ± 1.77	ab
	60 días	35.88 ± 2.09	a
	75 días	43.33 ± 0.69	b
	90 días	42.42 ± 0.98	b
Tratamientos	Control	55.94 ± 3.23	b
	Testigo	39.49 ± 1.74	a
	HL5%	41.95 ± 0.85	a
	HL10%	40.67 ± 0.91	a
	HL15%	38.94 ± 0.81	a

Tabla 5. Resultados de capacidad de campo por periodo y tratamientos

presentar microporos que favorezcan la mencionada retención de humedad.

Tal como concluye Sandoval (2007) en sus experimentos y confirmados por Chicas et al. (2014), la capacidad de retención de humedad muestra una estrecha relación con la textura de los suelos, puesto que los valores más altos indican la presencia de suelos arcillosos, mientras

que la disminución indica la tendencia hacia suelos con granulometría media o gruesa. La disminución que se observó en los periodos y los respectivos tratamientos están determinados por la retención de humedad que le proporcionó la enmienda orgánica, misma que propició la formación de microporos, responsables de esta acción.

Repelencia. La repelencia fue evaluada mediante los métodos WDPT y MED. Las pruebas estadísticas demostraron que se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los periodos en la repelencia WDPT ($F=15.48$, $P<0.0001$), así como en los tratamientos ($F=19.18$, $P<0.0001$). Para la repelencia MED se presentaron diferencias entre los periodos en la repelencia WDPT ($F=15.67$, $P<0.0001$), así como en los tratamientos ($F=15.33$, $P<0.0001$) (Tabla 6).

Repelencia					
		WDP		MED	
Periodo	Inicial	3259.96 ± 259.99	a	5.54 ± 0.04	d
	15 días	2918.32 ± 49.06	a	3.85 ± 0.04	a
	30 días	2173.61 ± 297.32	ab	4.01 ± 0.04	ab
	45 días	1799.7 ± 225.83	bc	3.22 ± 0.02	c
	60 días	1184.45 ± 148.12	c	3.32 ± 0.04	c
	75 días	1190.90 ± 146.17	c	3.06 ± 0.03	c
	90 días	1048.90 ± 155.60	c	5.54 ± 0.04	b
Tratamiento	Control	3259.96 ± 259.99	a	3.78 ± 0.14	a
	Testigo	2389.58 ± 91.60	a	3.42 ± 0.07	a
	5%	2243.49 ± 142.74	a	3.64 ± 0.08	a
	10%	1349.75 ± 190.04	b	3.64 ± 0.12	a
	15%	917.91 ± 186.92	b	5.54 ± 0.04	b

Tabla 6 Resultados de repelencia MED y WDPT por periodo y tratamientos

La repelencia está determinada por la presencia de los compuestos orgánicos hidrofóbicos. González (2010) menciona que los enlaces C-H son no polares debido a sus electronegatividades similares, el hidrógeno tiene 2.1 y el carbono tiene 2.5, en cambio, los enlaces O-H son enlaces polares, donde el O tiene una electronegatividad de 3.5. La electronegatividad es la habilidad de un átomo en una molécula de compartir un electrón con otro átomo. Los grupos -OH en presencia de agua tienden a formar enlaces de hidrógeno, favoreciendo el flujo del agua; en otras palabras, dan lugar a un material hidrofílico (Morelos, 2005).

La tendencia a la disminución podría estar influenciada por la adición periódica del lixiviado, la cual apoya a las fuerzas adhesivas y cohesivas, permitiendo la entrada del agua y, en consecuencia, favoreciendo la disminución de la repelencia; sin embargo, también podría presentarse un aumento después de semanas de acción de la materia orgánica debido al inicio de la descomposición de la enmienda, la cual se caracteriza por poseer altos contenidos de grasas y aceites (Mendoza y Plaza, 2019).

Respecto al método MED, que evalúa la severidad de la repelencia, se presentó una disminución de la clase de severidad, de repelencia muy severa (>3.2) a repelencia severa (2.4–3.0) en los tratamientos HL15% a los 75 días y en el tratamiento HL5% a los 90 días de evaluación. Sin embargo, durante los 90 días de evaluación, se presentaron variaciones en la repelencia.

Estas variaciones de incremento y decremento pueden estar determinadas por la incorporación gradual de la enmienda orgánica que se aplicó a los tratamientos HL5%, HL10% y HL15%, el cual añadía sustancias húmicas de carácter hidrofóbico. Por su parte, la disminución que se presentó hacia los 60 y 75 días coincide con el periodo termófilo, en el cual se lleva a cabo la degradación de compuestos orgánicos hidrofóbicos, aunado a la adición de lixiviado que, como se ha referido con anterioridad, influye en las fuerzas adhesivas y cohesivas.

II.3 Atributos funcionales

Maíz (*Zea mays*). Los resultados (Tabla 7) mostraron que un suelo post-incendio con características de hidrofobicidad, no favorece la germinación de maíz *Zea*

Tratamientos	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)	Núm. Hojas (Unidad)
Testigo	7.99 ± 0.9 a	14.66 ± 1.41 a	3.89 ± 0.31 a
HL5%	7.98 ± 0.51 a	17.07 ± 1.85 a	4.47 ± 0.24 a
HL10%	8.4 ± 0.46 a	16.45 ± 1.77 a	4.42 ± 0.49 a
HL15%	8.34 ± 0.37 a	20.9 ± 1.06 a	6.13 ± 0.58 b

Tabla 7 Promedio de altura de la plántula, longitud de raíz y número de hojas de la especie maíz (*Zea mays*)

mays. Sin embargo, los tratamientos HL5%, HL10% y HL15%, favorecieron la germinación de la especie con un óptimo desarrollo, presentando un crecimiento del tallo y elongación de raíz a los 21 días. Los resultados sugieren que, a mayor contenido de materia orgánica en el sistema, la planta presenta mejor desarrollo.

El peso seco en la parte aérea y en las raíces fue < 0 en todos los tratamientos. En la Tabla 8 se muestran los resultados de la respuesta de la especie maíz (*Zea mays*) en relación al contenido de agua y biomasa. Los resultados podrían estar determinados por el almacenamiento del agua. Contreras et al. (2005) mencionan que, debido al ascenso capilar del agua para un suelo de textura media, la zona de abastecimiento de esta humedad es del orden de 30 cm aproximadamente. Para determinar el volumen de agua aprovechable por la planta, esta dependerá de las características físicas del suelo y la profundidad de exploración de las raíces (Palacios, 1980).

La característica visible como la repelencia, mostró una diferencia entre los tratamientos. La absorción de lixiviado se presentó adecuadamente en el

tratamiento HL15% en comparación con el tratamiento testigo (T) que no logró filtrar, lo que permite concluir que está asociada directamente al porcentaje de enmienda orgánica. En el tratamiento T se observó una textura arenosa que no favorecía la fijación de la semilla de parte aérea y raíz. Entre los efectos generales más obvios de estrés hídrico se encuentran los fallos en la germinación, la reducción en la altura de la planta, área foliar y rendimiento del cultivo.

Para el caso de este estudio, los atributos funcionales podrían estar determinados por la misma tolerancia que desarrolla la especie, ya que las plantas desarrollan las raíces con el objetivo de buscar agua en zonas más profundas (crecimiento radicular); la disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés (Florido & Bao, 2014; Contreras & Hernández, 2022).

Biasutti y Galiñanes (2001) y Avendaño et al. (2008) mencionan que la especie de maíz puede presentar tolerancia al estrés hídrico, en condiciones de sequía y una recuperación en posterior riego,

Tratamientos	Contenido de agua (%)		Contenido de biomasa (%)	
	Parte aérea	Raíz	Parte aérea	Raíz
Testigo	98.83 ± 0.12 b	98.01 ± 0.42 b	0.01 ± 0 b	1.17 ± 0.12 b
HL5%	77.94 ± 3.22 a	87.18 ± 0.85 a	0.22 ± 0.03 a	22.06 ± 3.22 a
HL10%	91.05 ± 1.58 b	86.35 ± 2.06 a	0.09 ± 0.02 b	8.95 ± 1.58 b
HL15%	68.38 ± 5.69 a	74.65 ± 4.81 c	0.32 ± 0.06 a	31.62 ± 5.69 a

Tabla 8 Promedio de contenido de agua y biomasa de parte aérea y raíz de la especie de maíz *Zea mays*

tal como se presentó en este estudio; se observó que la especie se logró desarrollar debido a la adición de agua; sin embargo, el suelo dificultaba la filtración debido a la hidrofobicidad ocasionada por el incendio.

Tomate (*Lycopersicum esculentum*). La especie de tomate *Lycopersicum esculentum* presentó germinación hasta los 14 días, así como un limitado desarrollo en el crecimiento del tallo en todos los tratamientos. Para esta especie vegetal, se presentó menor desarrollo en un suelo post-incendio (T) que en un suelo con enmienda orgánica (HL5%, HL10% y HL15%), presentando influencia directa sobre los atributos funcionales de altura, longitud de la raíz, germinación y número de hojas (Tabla 9).

Al igual que el maíz, el peso fresco de la raíz, el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz fue < 0. En la Tabla 10 se muestran los resultados del contenido de agua y biomasa de la especie tomate (*Lycopersicum esculentum*). El efecto sobre la fisiología vegetal en plantas depende de la concentración en la solución edáfica en

contacto con el sistema radicular, mismo que varía de acuerdo a su contenido de humedad que, a su vez, depende de la capacidad de campo.

Los efectos del estrés o déficit hídricos inhiben la fotosíntesis y disminuyen el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo (Boyer y Westgate 2004). Cuando el estrés ocurre durante el desarrollo del cigoto, se provoca absorción o bien el saco embrionario puede ser afectado en su desarrollo (Avendaño et al., 2008; Contreras & Hernández, 2022).

A medida que el suelo se seca, las raíces disminuyen el contacto y el efecto final es una reducción en la absorción de agua, cierre de las estomas, una reducción en la fotosíntesis, y en la producción de biomasa (Santiago et al., 1998), tal como se observó en este estudio. La presencia de mantillo u hojarasca sobre el suelo es muy importante (Roose, 1974), así como mantener la humedad del suelo entre el 65 y el 80% de la capacidad de campo es necesaria para aumentar el rendimiento (Dunwell et al., 2001).

Tratamiento	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)	Núm. Hojas (Unidad)
Testigo	6.95 ± 0.65 a	1.7 ± 0.1 a	2.5 ± 0.5 a
HL5%	7.77 ± 0.81 a	2.58 ± 0.3 a	6.18 ± 1.01 a
HL10%	8.9 ± 0.55 ab	4.25 ± 0.52 b	7.63 ± 0.89 ab
HL15%	11.86 ± 0.63 b	4.91 ± 0.23 b	10.29 ± 1.02 b

Tabla 9. Promedio de altura de la plántula, longitud de raíz y número de hojas de la especie de tomate *Lycopersicum esculentum*

Tratamientos	Contenido de agua (%)		Contenido de biomasa (%)	
	Parte aérea	Raíz	Parte aérea	Raíz
Testigo	99.69 ± 0.1 a	100 ± 0.01 a	0.003 ± 0.001 a	0.31 ± 0.1 a
HL5%	98.78 ± 0.37 a	92.98 ± 1.7 a	0.012 ± 0.004 a	1.22 ± 0.37 a
HL10%	98.02 ± 1.01 a	70.36 ± 8.11 b	0.02 ± 0.01 a	1.98 ± 1.01 a
HL15%	98.26 ± 0.7 a	88.15 ± 2.4 ab	0.017 ± 0.007 a	1.74 ± 0.7 a

Tabla 10. Promedio de contenido de agua y biomasa de parte aérea y raíz de la especie tomate (*Lycopersicum esculentum*).

III. CONCLUSIONES

Las propiedades del suelo proveniente de la Ranchería Tabasquillo 2da. sección, se modificaron, posterior a un incendio, lo cual afectó su estructura y resultó con mayor porcentaje de arenas. Debido a la incorporación de cenizas, a las bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) y a la ruptura de los enlaces de arcilla, se caracterizó como medianamente alcalino y con efectos no apreciables de salinidad. Al ser un suelo post-incendio, la humedad no fue significativa. Respecto a la repelencia, se caracterizó como extremadamente repelente al agua con clase de persistencia 4 (>3600) en la clasificación WDPT y, en la clasificación MED, se ubicó con repelencia muy severa (> 3.2 Mol), generando dificultad a la filtración rápida de agua en el medio.

Las enmiendas de lombricompostaje influyeron sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo. El tratamiento con mayor concentración de humus-lixiviado HL15% presentó un efecto positivo en los parámetros fisicoquímicos, principalmente en el contenido de humedad, que logró un incremento (13.52±0.67), siendo una acción

favorable en un suelo con características iniciales de hidrofobicidad. Por su parte, la CE también se favoreció al incrementarse a un porcentaje de 0.73±0.03; del mismo modo, la capacidad de campo incrementó a un porcentaje de 38.60±1.28. La repelencia WDPT disminuyó hasta un tiempo de 448.2±17.23 s, mientras que la repelencia MED solamente logró disminuir a 4.6±0.04 Mol, ubicando a la muestra con repelencia muy severa.

En el tratamiento T, el maíz (*Zea mays*) presentó mayor tolerancia al estrés hídrico causado por la repelencia del suelo, mientras que el de tomate (*Lycopersicum esculentum*), no logró desarrollarse. Se observaron impactos directos sobre el área foliar o la biomasa vegetativa en comparación con un suelo con contenido de materia orgánica y humedad hasta un 50% en el desarrollo de las especies, lo que sugiere que no es óptimo para posteriores actividades agrícolas.

Esto se confirmó con la capacidad de campo y humedad, pues el suelo no presentó valores elevados, lo que indicó que el agua retenida que pudo ser utilizada por

las plantas, fue en cantidades mínimas, afectando su desarrollo.

El tratamiento biológico de productos de lombricompostaje (humus y lixiviado) es una estrategia para la remediación de un suelo impactado por incendio forestal, debido a que nivela el pH, favorece a la conservación de la humedad del suelo, reduce la repelencia y propicia el desarrollo de especies como maíz y tomate.

IV. FUENTES CONSULTADAS

- Avendaño, C.; Molina, J.; Trejo, C.; López, C. & Cadena, J. (2008). Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1), 27-37. <https://doi.org/10.15517/am.v19i1.5019>
- Beadle, C. L.; Long, S. P.; Imbomba S. K.; Hall, D.O. & Olembo, R. (1985). *Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems*. Tycooly International, Oxford.
- Biasutti, C. A. & Galiñanes, V. A. (2001). Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *AgriScientia*, 18, 37-44.
- Bodi, M.B.; Martin, D.A.; Balfour, V.N.; Santin, C.; Doerr, S.H.; Pereira, P.; Cerda, A. & Mataix Solera, J. (2014). Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews*, 130, 103-127.
- Bonanomi, G.; d'Ascoli, R.; Scotti, R.; Gaglione, S. A.; Cáceres, M. G.; Sultana, S.; & Zoina, A. (2014). Soil quality recovery and crop yield enhancement by combined application of compost and wood to vegetables grown under plastic tunnels. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 192, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.029>
- Boyer, J. S. & Westgate, M. E. (2004). Grain yields with limited water, *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2385-2394, <https://doi.org/10.1093/jxb/erh219> Principio del formulario.
- Castillo, M., Pedernera, P., y Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 19(3), 44-53.
- Chávez, C. R. & Fuentes, A. E. (s.f.). *Determinación de parámetros físicoquímicos y microbiológicos del lixiviado obtenido del estiércol de bovino utilizando Eisenia foetida (lombriz roja californiana)* [tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador]. Red de repositorios latinoamericanos. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3255/1/16103223.pdf>
- Chicas, S. R.; Vanegas, C. E. & García A. N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 41-46. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Contreras, H. J.; Volke, H. V.; Oropeza, M. J.; Rodríguez, F. C.; Martínez, S. T. & Martínez, G. A. (2005). Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuítlán, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 399-408.
- Contreras, P. M. & Hernández, H. Y. (2022). Influencia de un suelo post-incendio sobre los atributos funcionales de las especies *Lycopersicon esculentum* y *Zea mays*. *Revista LASIRC*. 3(1).
- Cortés, D. L.; Pérez, J. H. & Camacho, J. H. (2013). Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 401-408. <http://www.scielo.org>

- org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185020672013000100005&lng=es&tln=es
- Dunwell, W.C.; Jones, R.T.; Strang, J.G.; Stegelin, F. (2001). *Summer Squash Production. Extension Specialists in Horticulture and Extension Specialist for Horticultural Marketing*. <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/id/id78/id78.htm>
- Escobar, C. M. (2020). *Régimen de fuego de las selvas tropicales húmedas del sur de México e implicaciones para su restauración* [tesis doctoral, Universidad de Sherbrooke]. El Colegio de la Frontera Sur.
- Farahani, H. J. & Flynn, R. L. (2007). Map quality and zone delineation as affected by width of parallel swaths of mobile agricultural sensors. *Biosystems Engineering*, 96(2), 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.10.010>
- Farias, C. D.; Ballesteros, M. I. & Bendeck, M. (1999). Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje. *Revista Colombiana de Química*.
- Florido, B. & Bao, F. L (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 70-88. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300008&lng=es&tln=es
- Gómez Plaza, A. (2000). *Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida: efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica* [tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes]. Archivo digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.709>
- González Peñaloza, F. (2010). *Repelencia al agua en suelos mediterráneos: factores, causas e implicaciones hidrológicas*. Med Soil Research Group, [tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Depósito de investigación. Universidad de Sevilla. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/15671/ETD_PROV39.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Grimaldo Hernández, C.D. (2011). *Evaluación del efecto de enmiendas sobre la fitoestabilización de un suelo contaminado por Pb y Zn* [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Colección digital UANL. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080049566.PDF>
- Holden, S. R., Berhe, A. A., & Treseder, K. K. (2015). Decreases in soil moisture and organic matter quality suppress microbial decomposition following a boreal forest fire. *Soil Biology and Biochemistry*, 87, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.04.005>
- Huertas, H. A.; Baptiste, B. B. L.; Toro, M. M. & Huertas, R. H. (2019). Manejo de la quema de pastizales de sabana inundable: una mirada del pueblo originario Sáliva en Colombia. *Chungará (Arica)*, 51(1), 167-176. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562018005002401>
- Jaramillo, J. D. (2006). Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(115), 215-232.

- López, M., L.; Lezama, F. & Altesor, A. (2019). *¿Qué sabemos sobre los efectos del fuego en pastizales? Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de los pastizales II*. INIA-FPTA, Uruguay.
- Mendoza V. E. & Plaza S. A (2019). *Evaluación química del humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida), a partir de sustrato de cáscara de cacao y estiércol bovino* [tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio DSpace. <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1212>
- Minervini, M. G. (2010). *Propiedades morfológicas, físicas y mineralógicas, y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos incendiados de humedal y de yungas* [tesis doctoral, Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires]. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2017minervinimarianagabriela.pdf>
- Minervini, M. G.; Morras, H. & Taboada, M. A. (2018). *Efectos del fuego en la matriz del suelo: consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas*.
- Mogollón, S. J.; Martínez, A. E. & Torres, D. G. (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta agronómica*, 64(4), 315-320. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.47115>
- Morelos, G. A. (2005). *Regulación de regiones hidrofóbicas e hidrofílicas en materiales elastoméricos* [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
- Diario Oficial de la Federación (2002, 31 de diciembre de 2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Olivares, C. M.; Hernández, R. A.; Vences, C. C.; Jáquez, B. J. & Ojeda, B. D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27-37.
- Ortiz, T. J. A.; Delgadillo, M.; Rodríguez, M. & Calderón, Z. G. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana* 34, 177-185.
- Palacios, V. E. (1980). *Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuándo y cuánto regar*. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo.
- Plúas, P. M. F.; Villao, F. A.; Morán, J. M.; Tamayo, P. V. & García, W. M. (2022). Identificación de propiedades del suelo agrícola en la Parroquia Charapotó. UNESUM-Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria* 6(2), 15-28.
- Ramos, O.C.; Castro, R. A.; León, M.N.; Álvarez, S.J. & Huernta, L.E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*,

- 37, 45-55. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>
- Ressler, R. & Cruz, I. (2012). Detección y monitoreo de incendios forestales mediante imágenes satélite. *Biodiversitas*, 100, 12-13.
- Rhoades, J. D.; Manteghi, N. A.; Shouse, P. J. & Alves, W. J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal*, 53(2), 433-439. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300020020x>
- Roose, E.J. (1974). Contribution a l'étude de la resistance a l'érosion des Quelques sols tropicaux. Trans. X International Congress of Soil Science. Moscú, XI Commission.
- Sandoval, J. (2007). *Principios de Riego y Drenaje*. Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Santiago J. y Borrego F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana*, 59-65.
- Serna Velásquez, A. (2017). *Efectos en el suelo del Incendio Forestal de Carcaixent del 2016* [tesis doctoral, Universitat Politècnica de València Escola Politècnica Superior De Gandia].
- Shaner, D.L.; MK Brodahl y GW Buchleiter. 2008. How well does zone sampling based on soil electrical conductivity maps represent soil variability? *Agronomy Journal* 100: 1472-1480. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0060>
- Simón, M.; Peralta, N.R. & Costa, J.L. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciencia del Suelo* 31(1); 7; 45-55.
- Sobrero, M. C. & Ronco, A. (2013). *Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L.* American Public Health Association (APHA). 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Úbeda, X. (1998). *Efectes de les diferents intensitats de foc, durant els incendis forestals, en els paràmetres físico-químics del sòl i en l'increment de l'escolament i l'erosió* [tesis doctoral, Universitat de Barcelona].
- Vázquez, J.; Álvarez, V. M.; Iglesias, A. S. & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>
- Vázquez, J. & Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43-52. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>
- Volke, T. & Velasco T. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. INE-SEMARNAT.