



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE SUELOS SOBRE LA ABUNDANCIA DE ANÉLIDOS EN ECOSISTEMAS PERTURBADOS DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

Roblez Yaguachi, Karonlay Brigitte

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

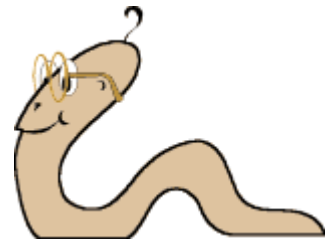
Dr. Pozo Rivera, Wilmer Edison, Ph. D.

23 de enero del 2023



CONTENIDO

- Introducción
- Justificación
- Objetivos
- Metodología
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Recomendaciones



INTRODUCCIÓN

Ecosistemas perturbados por la extracción petrolera, Pinto (2021).



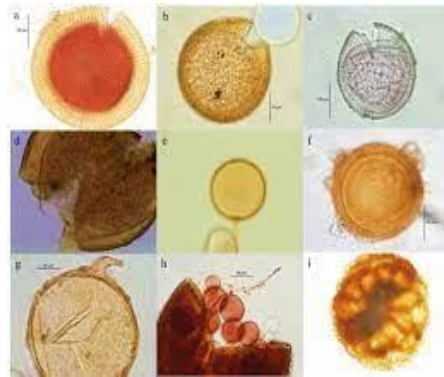
PAV y ESPE: programa de reforestación de áreas remediadas, Villacis et al. (2016).



Inoculado los suelos perturbados con, sustrato proveniente del bosque natural.



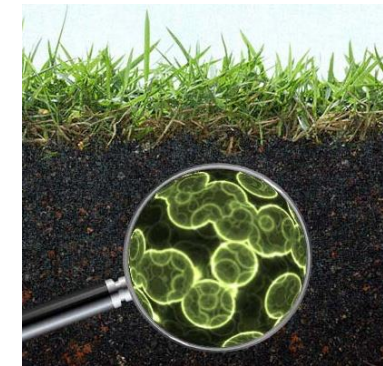
La diversidad de hongos rizosféricos, Arequipa et al. (2020); Quinsasamín Armas (2019); Sosa Vargas (2018); Vega Chimarro (2021)



Realizaron trabajos para evaluar el desempeño de las especies arbóreas sobre sitios afectados, Espinoza (2018)



Provocar la proliferación de la biomasa microbiana del suelo y tratar de acelerar el proceso de restauración, Arequipa et al. 2020; Bastidas Granada 2021; Sarango Ayo (2021).



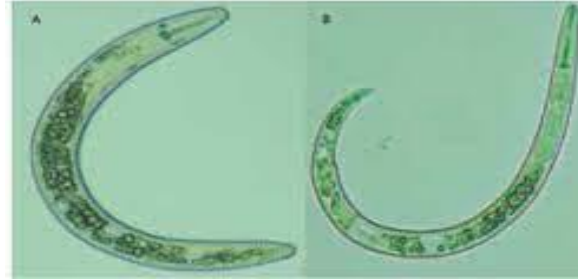
Continua

INTRODUCCIÓN

Coleópteros, Quiloango Chamarro (2019)



Nemátodos, Pinto Urbina (2021)



Otro tipo de indicador biológico son los anélidos.

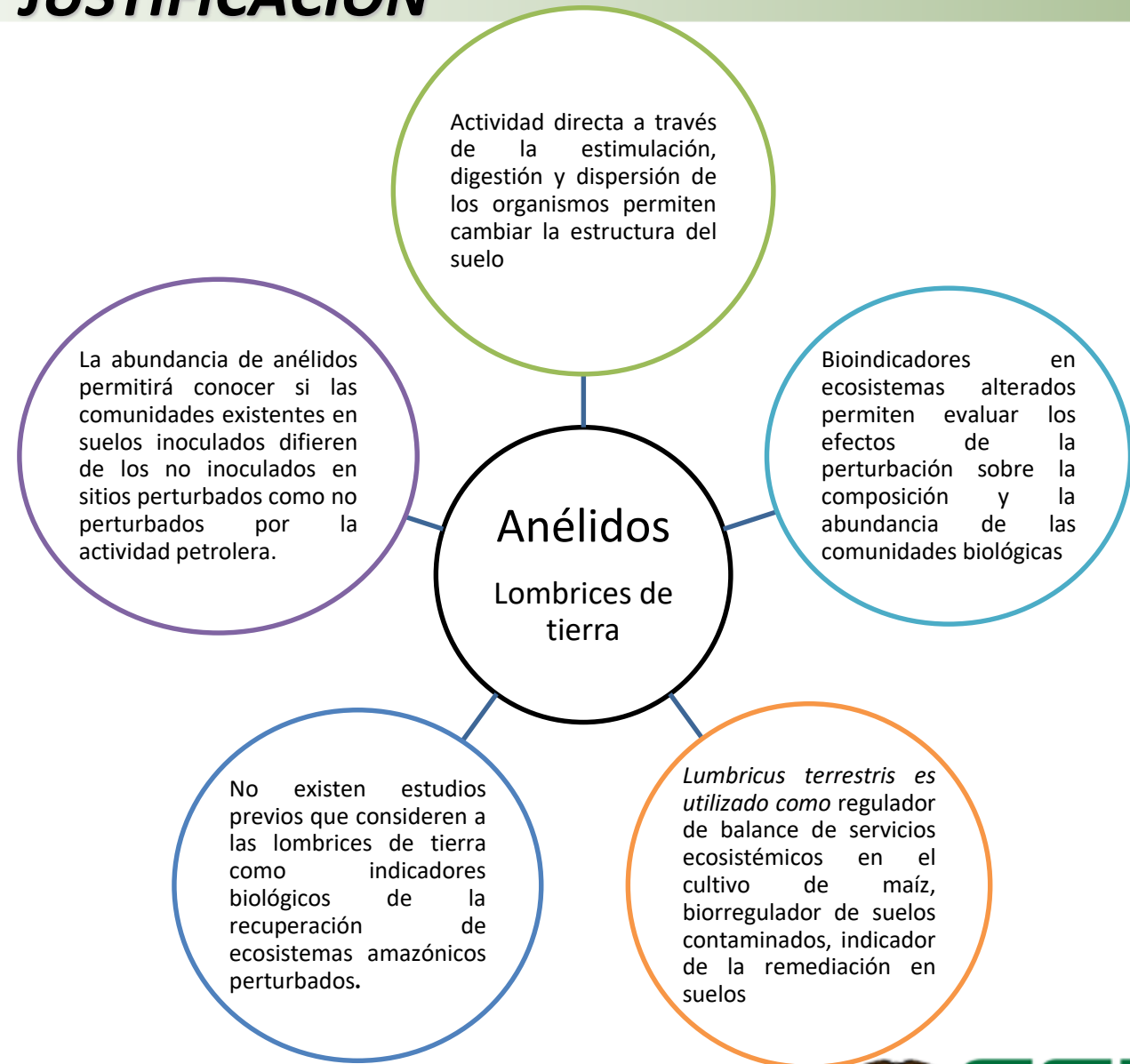


- Debido a la actividad directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los organismos permiten cambiar la estructura del suelo.
- las lombrices sirven como indicadores biológicos del cambio ambiental que ocurre cuando el ser humano interrumpe la tranquilidad del hábitat.

JUSTIFICACIÓN



Nota. Roblez K. (2023)



OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de la inoculación de suelos de bosque natural sobre la abundancia de anélidos encontrados en ecosistemas perturbados por actividades petroleras en la Amazonía ecuatoriana.

Específicos

1. Analizar el efecto de la inoculación de los suelos sobre indicadores de abundancia de anélidos presente en la rizósfera de tres especies arbóreas.
2. Examinar el efecto de la perturbación de los suelos sobre la abundancia de anélidos presente en la rizósfera de tres especies arbóreas.
3. Predecir el comportamiento de los indicadores de abundancia de lombrices de tierra a partir de las características físico químicas del suelo perturbados y no perturbados.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H_0):

La abundancia de anélidos presente en la rizósfera de las especies arbóreas es independiente de la inoculación y de la perturbación del suelo.

Hipótesis alterna (H_1):

La abundancia de anélidos presente en la rizósfera de las especies arbóreas depende de la inoculación y de la perturbación del suelo

METODOLOGÍA

Ubicación política y geográfica

La fase de campo se realizó en 8 parcelas experimentales ubicadas en las instalaciones de Petroamazonas EP localizadas en las provincias de Sucumbíos y de Orellana. La fase de laboratorio se ejecutó en el Laboratorio de Zoología, y en el Laboratorio de Silvicultura del Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Tabla 1

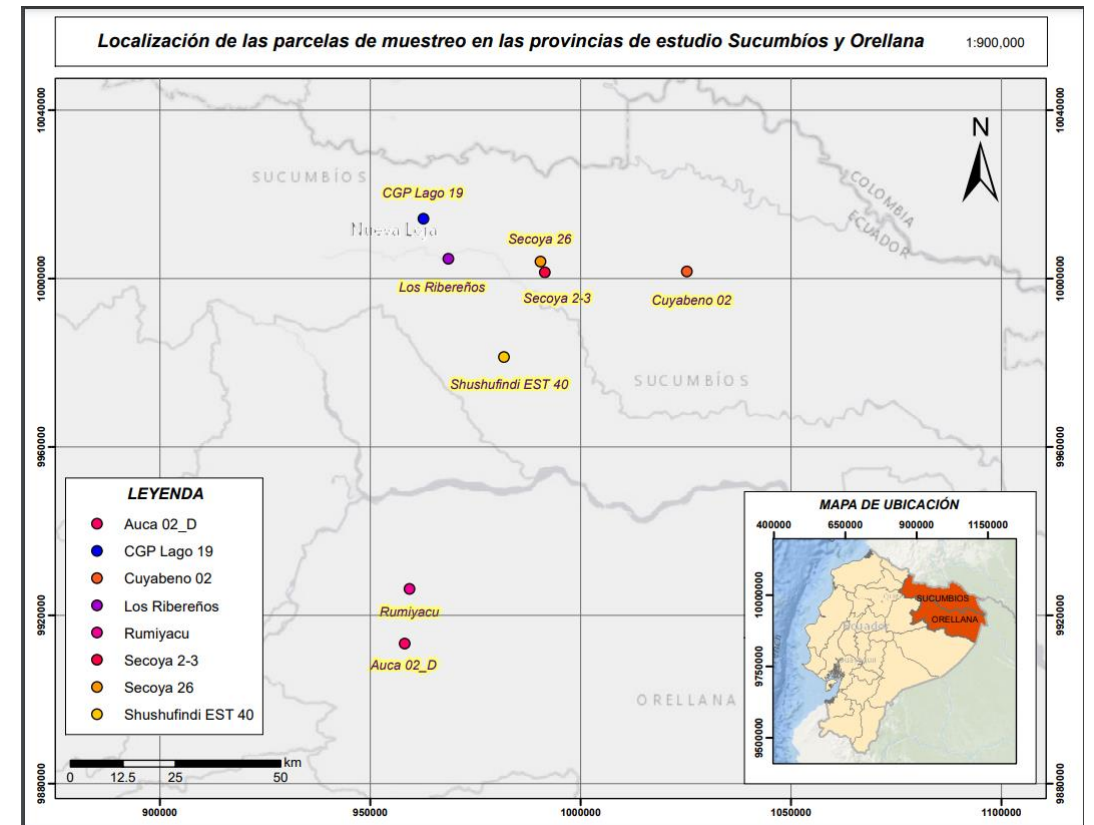
Ubicación geográfica de cada parcela de muestreo.

Nombre del sitio	Tipo de suelo	Provincia	Coordenadas	
Auca 02_d	SP	Orellana	MO290191	UTM9913436
Cgp lago 19	SP		NO294572	UTM1014133
Cuyabeno 02	SP		NO357023	UTM1001631
Rumiyacu	SP			
Shushufindi est 40	SP	Sucumbíos	M313661	UTM9981360
Secoya 26	SP		NO322323	UTM1003990
Secoya 2-3	SNP		N323353	UTM1001430
Los ribereños	SNP		NO300491	UTM1004661

Nota. SP: Suelo perturbado; SNP: Suelo no perturbado. Recuperado de repositorio

ESPE en el 2011 por Bastidas A. (2021).

Figura 1 Localización de las parcelas de muestreo en las provincias de estudio Sucumbíos y Orellana



METODOLOGÍA

Selección de sitios de muestreo

1. Tipo de suelo

Tabla 2

Parcelas permanentes de muestreo según el tipo de suelo (Pinto Urbina, 2021).

Nombre del sitio	Perturbación	Tipo de suelo
Auca 02	Si	Contaminado
CGP Lago 19		Contaminado
Cuyabeno 02		Plataforma
Rumiyacu		Plataforma
Shushufindi Est. 40		Celdas de lodos y ripios
Secoya 26		Celdas de lodos y ripios
Secoya 2-3	No	Potreros
Los Ribereños		Potreros

Nota. SP: Recuperado de repositorio ESPE en el 2021 (Pinto Urbina

2021).

2. Especies arbóreas



Platymiscium pinnatum



Piptadenia pteroclada



Zygia longifolia

3. Inoculación

La inoculación de suelo de bosque natural se realizó en medios perturbados y no perturbados. Aplicación del inóculo en la superficie (2 m de diámetro) a una concentración de 1 Lm⁻², Pinto R. (2021)

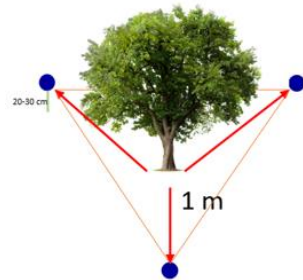


Nota. 123 RF (2016)

METODOLOGÍA

Descripción de método de recolección de anélidos

1. Distribución en campo de los puntos de muestreo



Nota. Autoría propia

2. Determinación de los puntos de muestreo cerca de los árboles de *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* en suelos perturbados y no perturbados, si y no inoculados



3. Determinación de los puntos de muestreo cerca de los claros en suelos perturbados y no perturbados, si y no inoculados.



4. Extracción de las muestras de suelo perturbado y no perturbado, si y no inoculados en tres especies arbóreas (*Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*) y claros.



5. Observación, Identificación y extracción de anélidos en campo

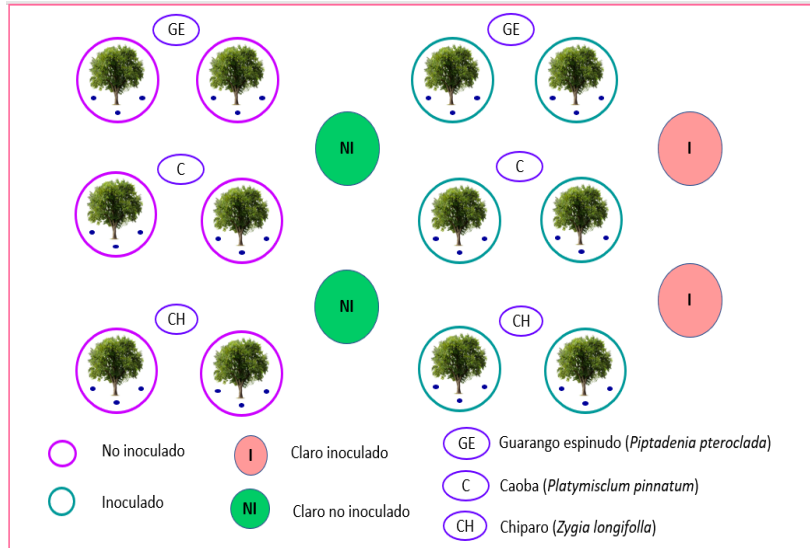


6. Actividad en laboratorio, observación e identificación de *Lumbricus terrestris*.



METODOLOGÍA

Determinación de parcelas y subparcelas en sitios



Nota. Elaboración propia (2023)

Diseño Experimental

El experimento se dispuso bajo un Diseño Completamente al Azar en parcela subdividida (2 x 4 x 2) bajo el siguiente modelo matemático.

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + \delta_{i(0)} + E_j + (SE)_{ij} + \sigma_{jk(i)} + I_k + (SI)_{ik} + (EI)_{jk} + (SEI)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Abundancia de anélidos

μ = Media general

S_i = Efecto del i -ésimo tipo de suelo

$\delta_{i(0)}$ = Error del tipo de suelo

E_j = Efecto de la j -ésima especie

$(SE)_{ij}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie

$\sigma_{jk(i)}$ = Error de la especie

I_k = Efecto del k -ésimo inóculo

$(SI)_{ik}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * inóculo

$(EI)_{jk}$ = Efecto de la interacción especie * inóculo

$(SEI)_{ijk}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie * inóculo

e_{ijkl} = Error para el inóculo

Análisis de la información



- Estadística descriptiva.
- Análisis de varianza mediante modelos mixtos.
- Pruebas de comparación de medias LSD ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Impacto de la inoculación sobre la abundancia de anélidos presente en la rizosfera de *Platymiscium pannatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada*.

Promedio y error estándar del total de anélidos encontrados en suelos perturbados y no perturbados, inoculados y no inoculados de tres especies arbóreas y claros.

Factores	Abundancia Absoluta (N; Ind)			Densidad (Ind/m ³)			Abundancia proporcional por factores (%)		
	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total
No perturbados			96			32			16,05
Claros	4,75	2,81	19	1,59	0,94	6,33	0,80	0,47	3,18
<i>Piptadenia pteroclada</i>	5,25	1,70	21	1,75	0,57	7,00	0,88	0,28	3,51
<i>Platymiscium pinnatum</i>	6,75	1,93	27	2,25	0,64	9,00	1,13	0,32	4,52
<i>Zygia longifolia</i>	7,25	2,02	29	2,42	0,67	9,67	1,21	0,34	4,85
Perturbados			502			167,33			83,95
Claros	5,5	1,68	66	1,83	0,56	22	0,92	0,28	11,04
<i>Piptadenia pteroclada</i>	13,33	4,18	160	4,44	1,39	53,33	2,23	0,70	26,76
<i>Platymiscium pinnatum</i>	10,83	2,72	130	3,61	0,91	43,33	1,81	0,45	21,74
<i>Zygia longifolia</i>	12,17	3,82	146	4,05	1,27	48,67	2,04	0,64	24,41
Total general			598			199,33			100

Nota. \bar{X} = Media aritmética, E.E.= Error estándar

En suelos mexicanos altamente perturbados por la contaminación de petróleo, los oligoquetos presentan una densidad 120 Ind./0,008 m³, García Segura et al. (2018), transformando estos datos a la unidad de densidad utilizada en el presente trabajo, se obtiene 45 000 Individuos/ 3 m³, lo que indica que nuestra densidad de 199,33 Ind./ 3 m³ es muy baja al igual que la abundancia absoluta de 598 individuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Promedio \pm error estándar de la abundancia de *Lumbricus terrestris* presentes en suelos perturbados y no perturbados, inoculados en cada subparcela



Factores	Inoculado								
	Abundancia Absoluta (N; Ind)			Densidad (Ind/m ³)			Abundancia proporcional por factor (%)		
	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total
No Perturbado			48			16			8,03
Claros	4,0	4,0	8	1,34	1,34	2,67	0,67	0,67	1,34
Piptadenia pteroclada	4,5	3,5	9	1,50	1,17	3,00	0,76	0,59	1,51
Platymiscium pinnatum	10,0	1,0	20	3,34	0,34	6,67	1,68	0,17	3,34
Zygia longifolia	5,5	1,5	11	1,83	0,50	3,67	0,92	0,25	1,84
Perturbado			243			81			40,64
Claros	6,00	2,91	36	2,00	0,97	12,00	1,00	0,49	6,02
Piptadenia pteroclada	11,50	6,32	69	3,83	2,11	23,00	1,92	1,06	11,54
Platymiscium pinnatum	12,33	4,39	74	4,11	1,46	24,67	2,06	0,73	12,37
Zygia longifolia	10,67	4,07	64	3,55	1,36	21,33	1,79	0,68	10,70
Total general			291			97			48,66

Nota. \bar{X} = Media aritmética, E.E.= Error estándar

La inoculación de acuerdo a Chaudhary et al. (2021) es riesgosa cuando se realiza de manera directa con suelo debido a que no tiene impacto sobre los ambientes contaminados que carecen de degradadores de petróleo autóctonos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Promedio \pm error estándar de la abundancia de *Lumbricus terrestris* presentes en suelos perturbados y no perturbados, no inoculados en cada subparcela.

	No inoculado								
	Abundancia Absoluta (N)			Densidad m ³			Abundancia proporcional por factores		
	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total	\bar{X}	E.E.	Total
No perturbado			48			16			8,03
Claros	5,5	5,5	11	1,84	1,84	3,67	0,92	0,92	1,84
<i>Piptadenia pteroclada</i>	6	2	12	2,00	0,67	4,00	1,01	0,34	2,01
<i>Platymiscium pinnatum</i>	3,5	0,5	7	1,17	0,17	2,33	0,59	0,09	1,17
<i>Zygia longifolia</i>	9	4	18	3,00	1,33	6,00	1,51	0,67	3,01
Perturbado			259			86,33			43,31
Claros	5,00	1,97	30	1,67	0,66	10,00	0,84	0,33	5,02
<i>Piptadenia pteroclada</i>	15,17	5,96	91	5,06	1,99	30,33	2,54	1,00	15,22
<i>Platymiscium pinnatum</i>	9,33	3,51	56	3,11	1,17	18,67	1,56	0,59	9,36
<i>Zygia longifolia</i>	13,67	6,84	82	4,56	2,28	27,33	2,29	1,15	13,71
Total general			307			102,3			51,34

Nota. \bar{X} = Media aritmética, E.E.= Error estándar

Frelich et al. (2006) considera que los árboles proporcionan ambientes adecuados para la supervivencia de lombrices con temperaturas óptimas, rayos solares y corrientes de viento regulados, adicionalmente las raíces disminuyen la humedad del suelo causado por las lluvias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la perturbación de los suelos sobre la abundancia de anélidos presente en la rizósfera de tres especies arbóreas.

Análisis de varianza para la abundancia absoluta de Lumbricus terrestris en tres especies arbóreas y claro, con y sin inoculo sobre diferentes tipos de suelo.

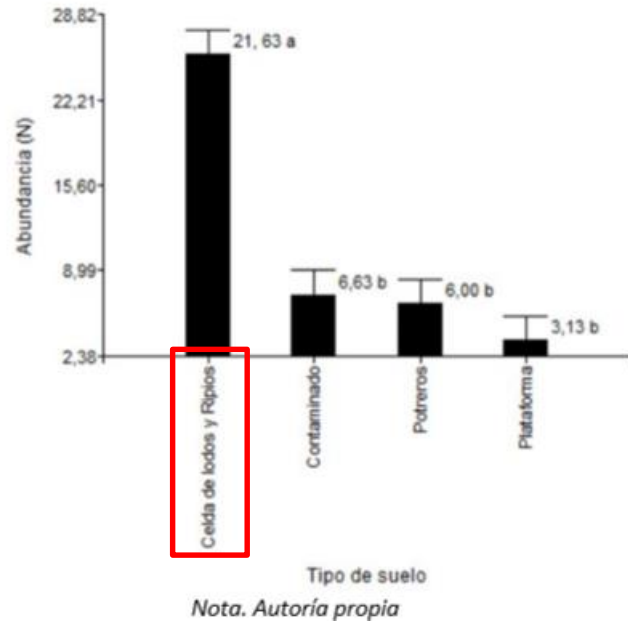
	Grados libertad	Abundancia absoluta (Ind)	
		F- fisher	p-valor
Especie arbórea	3	2,28	0,0983
Inoculo	1	0,07	0,7864
Tipo de suelo	3	15,41	<0,0001
Tipo de suelo* Especie arbórea	3	0,84	5015
Tipo de suelo* Inoculo	9	0,94	0,8384
Especie arbórea* Inoculo	3	0,28	0,4828
Tipo de suelo* Especie arbórea* Inoculo	9	0,58	0,8038

Nota. Las especies arbóreas, inoculo y tipo de suelo se consideran factores fijos.

Geissen et al. (2008) observó la respuesta inusual de las lombrices de tierra con mayor presencia en áreas contaminadas. Las lombrices podían sobrevivir y reproducirse en suelos contaminados (1 a 1, 5 %).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Promedio \pm errores estándares del tipo de suelo que influyen en la abundancia de *Lumbricus terrestris*.



García Segura et al. (2018) afirma que las lombrices de tierra reaccionan diferente a la perturbación de su ambiente, adaptándose a condiciones extremas

Promedio \pm errores estándares de la densidad de *Lumbricus terrestris* en los tipos de suelo evaluados.

Tipo de suelo	Densidad <i>Lumbricus terrestris</i> (Ind/m ³)
Celdas de lodos y rípios	7208,33 \pm 876,98 a
Áreas de tratamiento de suelos contaminados	2208,33 \pm 707,72 b
Potreros	2000 \pm 377,31 b
Plataformas petroleras	1041,67 \pm 274,81 b

Nota. Las letras distintas reflejan diferencias significativas de la densidad de lombrices según el tipo de suelo (LSD Fisher; $p > 0,05$).

Promedio \pm errores estándares de la abundancia proporcional por factores de *Lumbricus terrestris* en los tipos de suelo evaluados.

Tipo de suelo	Abundancia proporcional por factores (%)
Celdas de lodos y rípios	3,62 \pm 0,44 a
Áreas de tratamiento de suelos contaminados	1,11 \pm 0,36 b
Potreros	1 \pm 0,19 b
Plataformas petroleras	0,52 \pm 0,14 b

Nota. Las letras distintas reflejan diferencias significativas de la tasa de captura entre los tipos de suelo evaluados (LSD Fisher; $p > 0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de los indicadores de abundancia de *Lumbricus terrestris* a partir de las características físico químicas de suelos perturbados y no perturbados.

Coefficiente de correlación de Spearman (grado de correspondencia entre rangos) para las variables evaluadas por el tipo de suelo y abundancia de *Lumbricus terrestris* (Ind./m³).

Parámetros edafológicos	Spearman	t	p-valor
Materia orgánica (%)	0,32	2,26	0,02
Ni (mg/kg)	-0,08	-0,53	0,60
Pb (mg/kg)	0,22	-1,53	0,13
pH	-0,16	-1,12	0,27
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,13	0,92	0,36
N (%)	-0,13	-0,36	0,39
P (mg/kg)	0,38	2,80	0,01
C Totales (mg/ha*año)	0,08	0,53	0,60

Nota. Ni= níquel, Pb= plomo, N= nitrógeno, P= fosforo, C= carbono. Autoría propia

Spearman demostró que la materia orgánica y el fósforo son los únicos parámetros físico-químicos del suelo, asociados con la abundancia

La materia orgánica como el P se forman debido a los servicios ecosistémicos que brindan las lombrices al suelo, pues éstas degradan restos vegetales y animales para convertirlos en lombricompost, Lee Flores A. (2020).

En los bosques amazónicos la calidad de nutrientes de la materia orgánica es baja, Moragas Valencia F. (2008)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Regresión de níquel, pH y C.E. con respecto a la densidad poblacional, indicador de abundancia de *Lumbricus terrestris*

Análisis de regresión múltiple entre la densidad poblacional de *Lumbricus terrestris* y las variables edafológicas.

Parámetros	Estadístico	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	VIF
Intercepto	26,64	8,88	8,12	45,17	3	0,0071	
Ni (mg/kg)	-0,22	0,08	-0,4	-0,05	-2,64	0,0159	1,17
CE (dS/m)	21,75	8,53	3,96	39,55	2,55	0,0191	1,72
pH	-3,57	1,71	-7,13	-0,01	-2,09	0,0494	1,94

Nota. E.E.= Error estándar, LI= Límite inferior, LS= Límite superior, T= t student, VIF= Valor de inflación de varianza.

Níquel

García Segura et al. (2018), reportó niveles más altos de Ni en suelos perturbados y contaminados con hidrocarburos que Espinoza (2018).

Wang et al. (2020) afirman que la presencia de lombrices de tierra reduce la disponibilidad del níquel.

Gish y Christensen (1973) aseguran que la disponibilidad del níquel en los suelos contaminados se reduce, mientras la abundancia de lombrices incrementa

pH

Lee Flores A. (2020) suelos óptimos con ph 7,2.

C.E.

Factor limitante para la presencia de lombrices nativas. Lavelle (1988), considera que C.E. permite que especies exóticas de lombrices tal como *Lumbricus terrestris* habiten en suelos de los bosques tropicales.

$$\text{Densidad poblacional de } Lumbricus terrestris = -0,22Ni + 21,75CE - 3,57pH + 26,64$$

CONCLUSIONES

- La inoculación con suelo de bosque natural no causó efecto sobre la abundancia de *Lumbricus terrestris* en las especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, y *Zygia longifolia*.
- En la rizosfera de *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* sembradas en celdas de lodos y ripios se encontró mayor abundancia de *Lumbricus terrestris* que en los suelos no perturbados.
- La densidad poblacional de *Lumbricus terrestris* aumenta por la tendencia decreciente de níquel en los suelos perturbados como no perturbados de la Amazonia ecuatoriana.
- Los parámetros edafológicos que predicen el comportamiento de la abundancia son níquel, pH y conductividad eléctrica. A medida que Ni y pH disminuyen sus niveles en el suelo las lombrices aumentan, en cambio, si la CE disminuye también bajara el número de individuos de *Lumbricus terrestris*.

RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en tejidos de *Lumbricus terrestris* para evaluar los niveles tolerables de contaminación de la especie.
- Incorporar una nueva inoculación tomando en cuenta los microorganismos más representativos que ayuden a reducir la cantidad de metales pesados en conjunto con una vermirremediación utilizando la especie endógena *Eisenia foetida*.
- Elaborar un sistema de evaluación de *Lumbricus terrestris* ex situ en condiciones controladas bajo laboratorio con suelos contaminados por agroquímicos.

Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza
habla, mientras el ser humano no escucha

Víctor Hugo (1806-1885)
Poeta y dramaturgo