

### Caracterización cromatográfica y microbiológica de muestras de suelo provenientes de parcelas de la Comuna Centro del Pueblo Alangasí

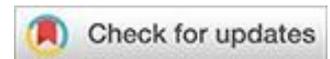
Chromatographic and Microbiological Characterization of Soil Samples from Plots in the Central Commune of Alangasí Village

Paola Ruiz <sup>1</sup>, Ismael Calderón <sup>1</sup>, Álvaro P. Gavilanes <sup>1,\*</sup> Pedro Romero <sup>1</sup>, Karina Ponce <sup>1</sup>,  
Andrea Ramirez <sup>2</sup>, Rafael Vargas <sup>1</sup>,

<sup>1</sup> *Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador. Centro de Investigaciones y aplicaciones militares (CIAM)*

<sup>2</sup> *Departamento de Ciencias Exactas. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador*

\* *Corresponding author. [apgavilanes@espe.edu.ec](mailto:apgavilanes@espe.edu.ec)*



---

### RESUMEN

El suelo es un ecosistema vital para la supervivencia de toda especie dentro del planeta. Este recurso está en riesgo debido a procesos erosivos ocasionados por factores naturales y potenciados por actividades antropológicas. El presente estudio evaluó la calidad de los terrenos afectados y no por incendios forestales en la Comuna Centro del Pueblo Alangasí. Se evaluaron cinco parcelas (197, 200, 205, 274 y 274 B) a través de pruebas cualitativas (cromatografía de Pfaiffer) y cuantitativas (método gravimétrico LOI). Se caracterizó preliminarmente las bacterias de estas zonas, además de la realización de pruebas complementarias de medición de fósforo y glucosa. Los resultados demostraron que la parcela 205 (sin afectación) presentó la mejor calidad, mientras que la parcela 197 (afectada por incendio) mostró una ligera recuperación, en contraste con la parcela 200 (suelo tipo cangahua) que tuvo la condición más desfavorable. Asimismo, se encontró la predominancia de las bacterias Gram positivas, especialmente en las parcelas con suelos afectados por el fuego (197) y con mayor presencia de cangahua (200). En la parcela quemada se observó la acumulación de fósforo total, así como una buena correlación entre glucosa y crecimiento bacteriano. Concluyendo que factores como la cobertura vegetal, cantidad nutrientes, condiciones fisicoquímicas influyen en la salud del suelo.

**Palabras clave:** suelo, incendio forestal, bacterias, materia orgánica, cromatografía, fósforo, glucosa, cangahua, calidad del suelo, diversidad microbiana

---

### ABSTRACT

Soil is a vital ecosystem for the survival of all species on the planet. This resource is at risk due to erosive processes caused by natural factors and intensified by anthropogenic activities. This study evaluated land quality affected and unaffected by forest fires in the Central Commune of Alangasí Village. Five plots (197, 200, 205, 274, and 274B) were assessed through qualitative (Pfeiffer chromatography) and quantitative (LOI

gravimetric method) tests. Preliminary characterization of bacteria from these areas and complementary measurements of phosphorus and glucose levels were conducted. The results showed that plot 205 (unaffected) had the best soil quality, while plot 197 (affected by fire) exhibited slight recovery. In contrast, plot 200 (cangahua-type soil) presented the poorest condition. Additionally, a predominance of Gram-positive bacteria was found, especially in plots affected by fire (197) and those with higher cangahua content (200). Total phosphorus accumulation and a strong correlation between glucose levels and bacterial growth were observed in the burned plot. The study concluded that vegetation cover, nutrient content, and physicochemical conditions significantly influence soil health.

**Keywords:** soil, forest fire, bacteria, organic matter, chromatography, phosphorus, glucose, cangahua, soil quality, microbial diversity

---

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural compuesto por factores abióticos (materia orgánica, nutrientes, etc) y seres vivos (macro y microbiológicos), y la interacción de estos factores corresponde a un proceso vital para la continuidad y mantenimiento de la vida en el planeta<sup>1</sup>. No obstante, está viéndose afectado por diversos factores, como la erosión, que se define como el proceso de pérdida de la fertilidad, desgaste del suelo y disminución del porcentaje de nutrientes<sup>2</sup>, consecuencia de agentes naturales como vientos fuertes, lluvias intensas<sup>3</sup>, topografía desfavorable<sup>4</sup>, y en gran medida por prácticas antrópicas inadecuadas. Los incendios forestales, que a menudo son causados por el ser humano son de las principales motivos que inciden para que un suelo sano pierda casi por completo su capa vegetal y sea degradado en un 90%<sup>5,6</sup>. La pérdida de vegetación hace que el suelo sea vulnerable y merme gran cantidad de materia orgánica y las propiedades del suelo se ven alteradas negativamente, ya que los valores de pH y humedad bajan, imposibilitando el crecimiento de plantas y microorganismos<sup>7</sup>. Países de América del Sur, son el foco de los incendios, debido especialmente al cambio climático<sup>8</sup>. En Ecuador, el número de hectáreas quemadas sigue en aumento. Solo en 2020 se reportaron 27.904,91 Ha incendiadas<sup>9</sup> y para el 2022 han aumentado en un 20% según el Ministerio del Ambiente<sup>10</sup>.

La materia orgánica contiene, principalmente, restos vegetales y animales derivados de su descomposición<sup>11,12</sup>. La presencia de cantidades altas de M.O. es sinónimo de una rica fuente de nutrientes que son esenciales para el desarrollo de la comunidad biótica presente en el suelo<sup>13</sup>. Así también, la presencia de materia orgánica contribuye a tener una mayor retención de agua y al mantenimiento de la estructura del suelo<sup>14</sup>.

Es importante mencionar que, dentro de los factores bióticos más esenciales presentes en el suelo, destacan microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, algas, que son considerados los "ingenieros de ecosistemas"<sup>15</sup>. Coexisten en consorcios que participan en múltiples procesos e interacciones bióticas importantes<sup>16</sup>. Desempeñan funciones indispensables en la eliminación y biodegradación de contaminantes<sup>17</sup>, solubilización de minerales, fósforo<sup>18</sup>, nitrógeno<sup>19</sup> y otros. La escasez de comunidades microbianas implica una disminución en la productividad del suelo, y aumenta la susceptibilidad de los cultivos frente al ataque de plagas<sup>20</sup>. Otros elementos fundamentales son los nutrientes y minerales presentes, en particular, el fósforo (P), un macronutriente crucial para el correcto desarrollo de la agricultura e indicador de fertilidad del suelo. El problema radica es su poca disponibilidad, pues reacciona fácilmente con iones de Ca, Fe y/o Al, convirtiéndose en una molécula estable e insoluble, con tan solo el 0,1% del fosfato disponible para la absorción de las plantas. Su deficiencia puede afectar en el crecimiento de tallos y raíces, así como la senescencia temprana en hojas

jóvenes, pero su exceso puede llevar a la eutrofización de las aguas superficiales y aumentar el riesgo de pérdida del P por erosión y lixiviación<sup>21</sup>.

El presente estudio tiene como objetivo analizar los suelos de la Comuna Centro del Pueblo Alangasí, para evaluar la calidad del suelo con métodos cualitativos y cuantitativos para determinar la cantidad de materia orgánica, caracterización y cuantificación preliminar de bacterias Gram negativas/positivas. Además de una breve comparación entre la parcela que ha sido perturbada por incendios forestales y las que no. Información que servirá de referente para el posterior diseño y propuesta de un plan de rehabilitación potencial de los suelos degradados de la comuna y el correcto aprovechamiento del microbioma propio de la zona.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Población y Zona de Estudio

Las muestras de suelo fueron recolectadas de diferentes tipos de parcelas pertenecientes a la Comuna Centro de Alangasí, ubicada en el Valle de los Chilllos, dentro de la parroquia rural de Alangasí, aproximadamente a 2600 msnm. La Comuna Centro de Alangasí cuenta con una extensión cercana a las 180 Ha, divididas en 292 parcelas que miden alrededor de 400m<sup>2</sup> cada una. Las coordenadas GPS de la Comuna son 0°17'26.0"S 78°24'44.0"W.

Se recolectaron cinco muestras compuestas de suelo, una por cada parcela, adaptadas a los requisitos de los estudios realizados. Para los análisis de cromatografía y gravimetría, cada muestra compuesta se obtuvo a partir de tres submuestras por parcela y en los análisis microbiológicos se recolectaron seis submuestras por parcela. Se utilizó el muestreo con pala, marcando en la herramienta las profundidades requeridas (10, 20, 30 cm), con una inclinación aproximadamente de 30° haciendo un hoyo en forma de "V"<sup>22</sup>. Se repitió el procedimiento con el resto de las submuestras hasta completar los 500g de cada parcela muestreada. Las muestras fueron bien etiquetadas y llevadas al laboratorio, siendo conservadas a temperatura ambiente<sup>23</sup>.

### Tratamiento de datos

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa estadístico InfoStat, recomendado por sus diversas aplicaciones estadísticas descriptivas y gráficos, así como métodos avanzados de modelación<sup>24</sup>. Las variables de respuesta que se evaluaron a través de un análisis de varianza (ANOVA) fueron el porcentaje de materia orgánica en función de diferentes profundidades de suelo, número de bacterias Gram positivas y Gram negativas. El fósforo y glucosa se compararon con la abundancia de las colonias bacterianas (UFC/mL), por medio de un análisis de coeficiente de correlación de Pearson.

### Cromatografía de Pfaffner

Las muestras de suelo se pasaron por un tamiz de 2 micras para eliminar residuos grandes como rocas o raíces. El polvo obtenido se pasó por una malla fina hasta recolectar 5g. Se preparó una solución de NaOH al 1%, y AgNO<sub>3</sub> al 0,1%.

Con papeles filtro circulares se los dividió en cuatro partes iguales, realizándoles un agujero central y dos marcas, de 4 cm y 6 cm desde el centro respectivamente. Una vez ejecutado dicho procedimiento, se preparó la solución de NaOH al 1% con el suelo, diluyendo 5 gramos en 50 mL y se dejó reposar por 6 horas. Se tomó un papel filtro preparado previamente y se insertó un pabilo en la abertura central. Se colocó 20 mL de la solución de nitrato de plata al 0.5% en la caja Petri de 5 cm de diámetro y se colocó el papel filtro con el pabilo, sin tocar ni manipular mucho el papel con los dedos, así se absorbió la solución y pudo recorrer el

papel filtro hasta la marca de 4 cm. En la misma línea se colocó en papel absorbente y se puso en una hoja de papel bond, posteriormente se guardó en una caja forrada previamente con papel aluminio y se esperaron 4 horas para el secado de la solución de nitrato de plata.

Pasado el tiempo establecido se tomaron 20 mL de la solución del suelo con hidróxido de sodio y con un nuevo pabito se dejó correr hasta la marca de 6 cm realizada. El proceso se llevó a cabo manteniendo la luz apagada. Para la revelación del cromatograma se colocó el papel filtro sobre la hoja de papel bond para reposar aproximadamente 12 horas sin presencia de luz directa. Pasado el tiempo de reposo se expuso el cromatograma a luz indirecta en un intervalo de 10 – 15 días.

### **Método de Gravimetría Para Determinación de Materia Orgánica**

Las muestras de suelo fueron colocadas en una zona donde no recibieron luz directa y tenían corriente de aire en un periodo de 3 días para su secado. Se tamizaron y pesaron 10 g de suelo y se colocaron dentro de los crisoles, por duplicado. Previamente, los crisoles se prepararon pesando y secando en estufa a 105°C por 2 horas

Los ejemplares realizados se llevaron a la mufla a una temperatura de 400°C durante un periodo de 4 horas, y se volvió a pesar. Para el análisis gravimétrico, se obtuvieron datos del peso del crisol solo (Pc), los 10 g de suelo (Pm) y también del crisol más los 10 g de suelo (Pt). Estos datos sirvieron para determinar el porcentaje de materia orgánica en cada una de las muestras de suelo mediante la aplicación de la fórmula:

$$\text{Contenido de materia orgánica (\%)} = [(Pc + Pm) - Pt] / Pt \times 100 \quad (1)$$

### **Caracterización y cuantificación de bacterias**

Se prepararon los medios de cultivo Agar Nutriente y PDA en cajas Petri. Para la caracterización macroscópica se escogieron 5 colonias de cada caja Petri sembrada a los 7 días de la siembra masiva. Describiendo de cada una: tamaño, forma, color, elevación y consistencia.

La tinción Gram se utilizó en la clasificación microscópica de bacterias Gram positivas y negativas. Con los resultados obtenidos se calculó el índice de Shannon.

En la cuantificación las bacterias se prepararon diluciones en Caldo Papa y Caldo Nutritivo y así se midió la absorbancia por espectrofotometría a 600nm, calculando la concentración (UFC/mL).

### **Cuantificación de Fósforo por el método colorimétrico del Vanadato-Molibdato**

Se tamizaron las muestras de suelo y se pesaron 5g de polvo, se secó en la estufa por 4 horas y concluido el procedimiento se añadió agua destilada y HCl. Se calentó sobre una estufa hasta que hierva el contenido por 1 min. El contenido se filtró en un balón de aforo de 50 mL.

En un vaso de precipitación aparte se preparó una mezcla de partes iguales de ácido nítrico, molibdato de amonio y nitrato vanadato, con un volumen final de 8,3 mL. En tubos de vidrio se depositaron 4 mL de la mezcla elaborada previamente y 1 mL de las muestras de suelo filtrado. Y se midió la absorbancia usando el espectrofotómetro de absorción ultravioleta visible (UV-Vis) a una absorbancia de 420nm.

### **Cuantificación de glucosa en el suelo**

Se elaboró una curva de calibración, utilizando un patrón glucosa y dilución salina. En la preparación de las muestras, fueron previamente trituradas con ayuda del mortero. Se diluyó con agua destilada y se tomó 1000 uL que se depositaron en los tubos de vidrio. Luego se agregó el reactivo cromóforo, dejándolo actuar por 5 minutos y finalmente valorarlo en el UV-Vis a 505nm.

## RESULTADOS

### Medición de materia orgánica

#### Método gravimétrico para obtención de materia orgánica LOI

La cantidad de materia orgánica presente en cada parcela muestreada, fue evaluada utilizando el método gravimétrico LOI. Que evidenció la cantidad de materia orgánica promedio obtenida en cada una de las diferentes parcelas (197, 200, 205, 274 y 274 B).

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los datos ordenados de forma descendente denotando que la parcela con mayor porcentaje (%) de materia orgánica es la número 3 que corresponde a la parcela 205, mientras que la parcela 200 (2) presenta una menor carga orgánica.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia	45	0,95	0,93	6,03

**Tabla 1.** Estadísticos de análisis de materia orgánica en los suelos de materia orgánica en los suelos estudiados, incluyendo número de observaciones (N), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), coeficiente de determinación ajustado (R<sup>2</sup> Aj) y coeficiente de variación (CV).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,71	14	0,84	41,56	<0,0001
Parcela	7,62	4	1,91	94,70	<0,0001
Profundidad	0,93	2	0,46	23,06	<0,0001
Parcela*Profundidad	3,16	8	0,39	19,61	<0,0001
Error	0,60	30	0,02		
Total	12,31	44			

**Tabla 2.** Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de materia orgánica en los suelos estudiados, considerando los factores de parcela, profundidad y su interacción.

Parcela	Medias	n	E.E				
Parcela 3	2,72	9	0,05	A			
Parcela 1	2,59	9	0,05	A	B		
Parcela 4	2,55	9	0,05		B		
Parcela 5	2,33	9	0,05			C	
Parcela 2	1,57	9	0,05				D

**Tabla 3.** Prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para el porcentaje de materia orgánica en cada parcela, donde medias con las mismas letras no representan diferencias significativas.

Parcela	Profundidad	Medias	n	E.E									
Parcela 3	5	3,34	3	0,08	A								
Parcela 1	5	3,10	3	0,08		B							
Parcela 4	5	2,77	3	0,08			C						
Parcela 5	25	2,62	3	0,08			C	D					
Parcela 4	25	2,57	3	0,08			C	D	E				
Parcela 1	25	2,42	3	0,08				D	E	F			
Parcela 3	25	2,40	3	0,08				D	E	F			
Parcela 3	15	2,40	3	0,08				D	E	F			
Parcela 5	15	2,33	3	0,08					E	F			
Parcela 4	15	2,31	3	0,08					E	F			
Parcela 1	15	2,25	3	0,08						F	G		
Parcela 5	5	2,05	3	0,08							G		
Parcela 2	25	1,79	3	0,08								H	
Parcela 2	15	1,56	3	0,08								H	I
Parcela 2	5	1,35	3	0,08									I

Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para el porcentaje de materia orgánica en función de la parcela y la profundidad del suelo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

En la figura 1, el gráfico de barras señala de la interacción del número de parcela con la profundidad y la cantidad de materia orgánica frente de cada muestra. Denotando que la parcela con mayor cantidad de materia orgánica es la número 205 a 0 cm de profundidad (%), y la que con menor carga orgánica es la parcela número 200 en cualquiera de sus profundidades.

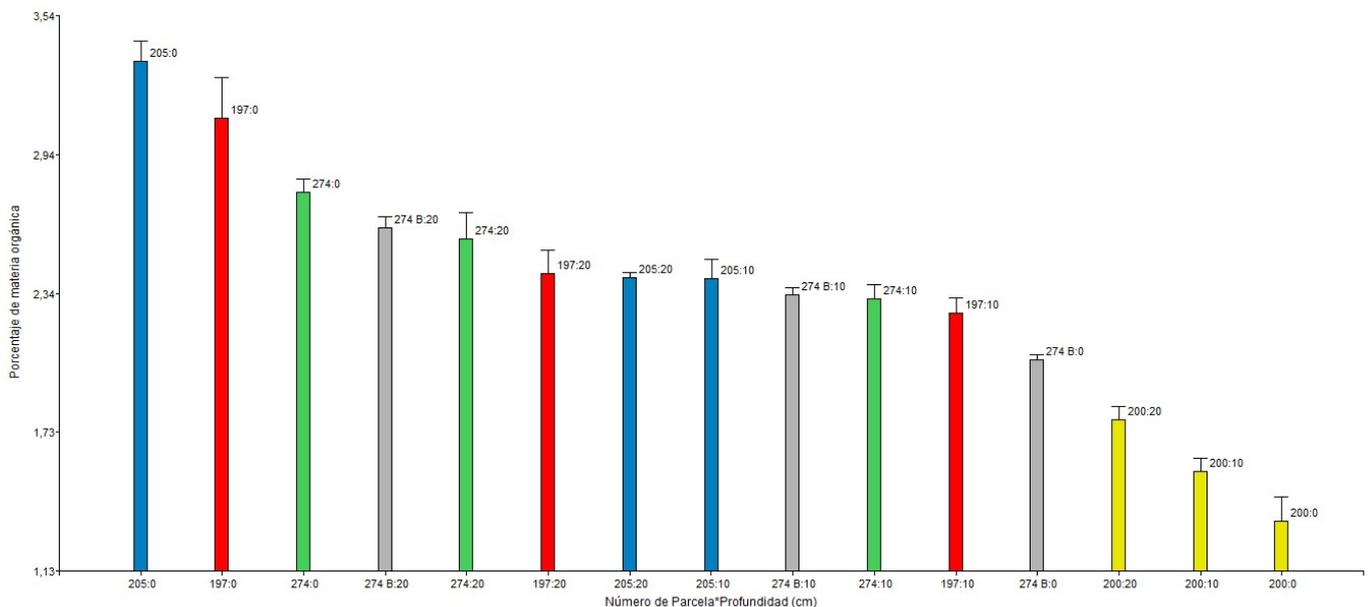


Figura 1. Resultados arrojados por el Programa Infostat - Gráfico de barras en donde se compara el porcentaje promedio de materia orgánica de cada una de las parcelas (197, 200, 205, 274 y 274 B) a cada una de las profundidades estudiadas (0 cm, 10 cm y 20 cm).

Adicionalmente, se procedió a evaluar la carga orgánica promedio en dos capas de profundidad de interés, siendo estas de 5 cm (0 cm - 10 cm) y 20 cm (10 cm – 30 cm), representando los promedios de cada rango de profundidad, con el fin de detectar variaciones más específicas.

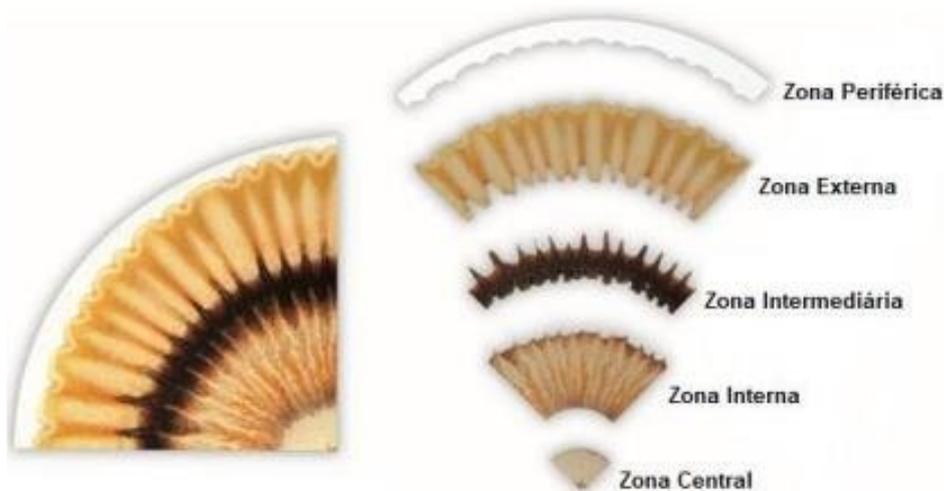
La carga orgánica fue determinada mediante el método gravimétrico LOI, estos resultados se presentan en la tabla 5, donde se evaluó en función de la longitud de la zona intermedia de los cromatogramas. A pesar de la diferencia en los métodos empleados, ambos enfoques mostraron tendencias coincidentes. Las parcelas 1 y 3 presentaron los valores más altos en ambos casos, lo que indica un mayor contenido de materia orgánica, mientras que la parcela 2 tuvo los valores más bajos, reflejando una deficiencia en su carga orgánica.

Parcela	Profundidad	Medias	n	E.E						
Parcela 3	5	3,34	3	0,10	A					
Parcela 1	5	3,10	3	0,10		B				
Parcela 4	5	2,77	3	0,10			C			
Parcela 5	20	2,47	6	0,07				D		
Parcela 4	20	2,44	6	0,07				D		
Parcela 3	20	2,40	6	0,07				D		
Parcela 1	20	2,34	6	0,07				D		
Parcela 5	5	2,05	3	0,10					E	
Parcela 2	20	1,68	6	0,07						F
Parcela 2	5	1,35	3	0,10						G

**Tabla 5.** Prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para el porcentaje de materia orgánica en función de la parcela y la profundidad del suelo en base a sus capas de interés (5 cm y 20 cm). Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

### Método cromatográfico de Pfaiffer

En la figura 2 se puede observar las zonas bien definidas que posee un cromatograma de un buen suelo, estas reflejan la distribución de los componentes minerales y orgánicos. Todas las zonas tienen una franja muy clara en el centro, que indica la actividad biológica, otro claro componente son los anillos concéntricos que significan la presencia de materia orgánica, minerales y la estructura del suelo. Una correcta comparación entre cada una de estas divisiones permite evaluar la calidad y fertilidad de un suelo a diferentes tipos de condiciones.



**Figura 2.** Esquema de identificación en donde se presentan todas las zonas de un cromatograma, desde la central, interna, intermedia y externa, cada una de estas se asocia con componentes esenciales del suelo para la evaluación de su calidad general<sup>25</sup>.

En la figura 3 se muestran los diversos cromatogramas revelados de cada una de las parcelas (197, 200, 205, 274 y 274 B) a diferentes rangos de profundidades de muestreo (0 cm – 10 cm, 10 cm – 20 cm, 20 cm – 30 cm), mismos que representan los datos cualitativos del estudio que servirán para contraste con los análisis cuantitativos.

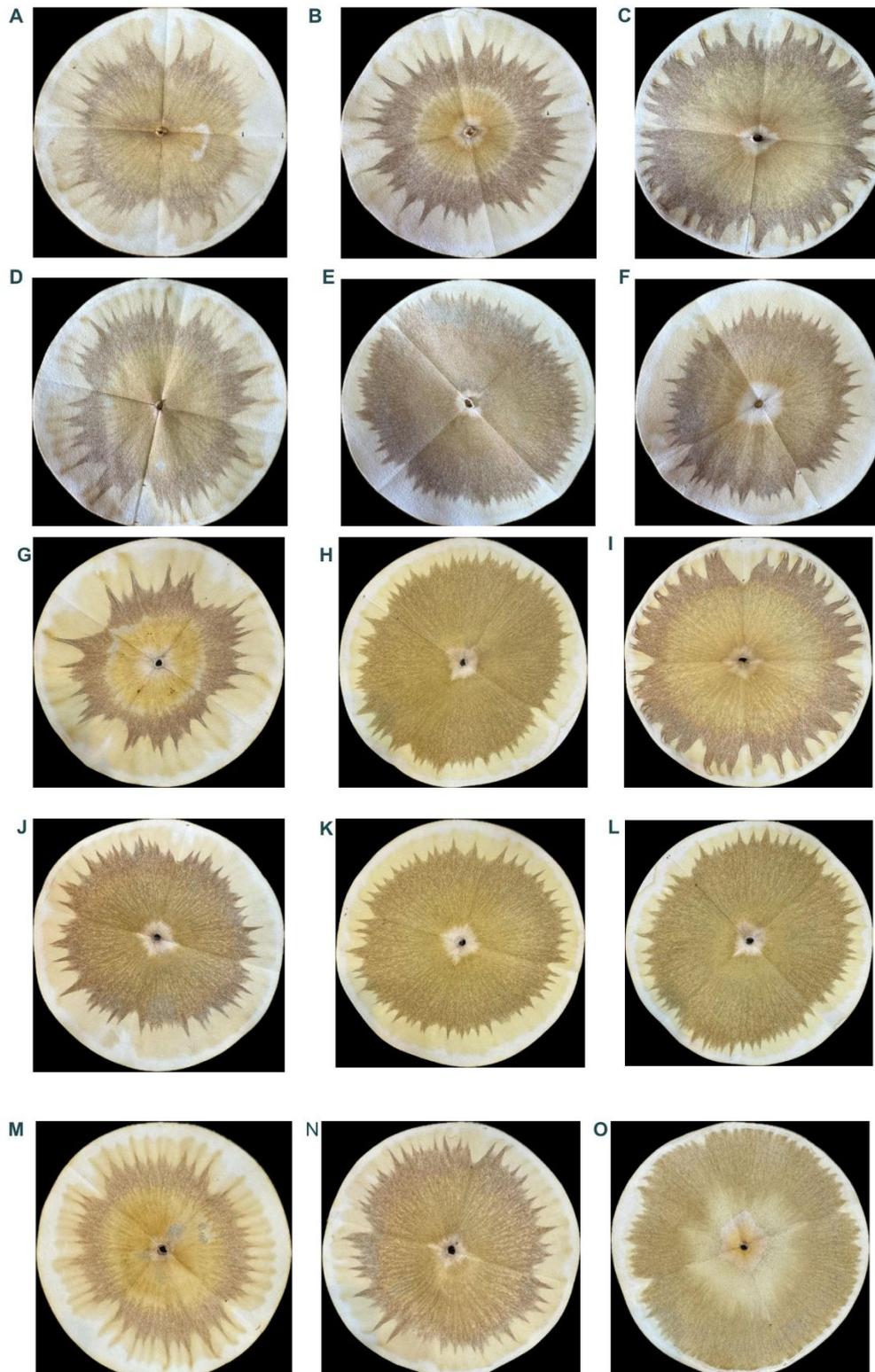


Figura 3. Cromatogramas obtenidos del análisis realizado de cada una de las parcelas seleccionadas ordenados según los rangos tomados 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente; A-B-C representan los cromatogramas de la muestra de suelo de la parcela 197; D-E-F corresponden a la parcela 200; G-H-I obtenidos de la parcela 205; J-K-L de la parcela 274 y M-N-O de la parcela 274 B.

Tras la observación de los patrones en los cromatogramas, se midió la longitud de la zona intermedia (refleja la carga orgánica) de cada uno, utilizando el programa Fiji, lo que permitió correlacionar y validar los resultados obtenidos del análisis cualitativo en los rangos de 0-10 cm y 10-30 cm. En la tabla 6 se presenta un test de Duncan comparando las longitudes de estas zonas.

Parcela	Profundidad	Medias	n	E.E			
Parcela 1	5	1,95	3	0,16	A		
Parcela 3	20	1,94	3	0,11	A		
Parcela 1	20	1,78	3	0,11	A		
Parcela 3	5	1,66	6	0,16	A		
Parcela 4	5	1,16	6	0,16		B	
Parcela 4	20	0,96	6	0,11		B	C
Parcela 2	20	0,73	6	0,11		B	C
Parcela 5	20	0,67	3	0,11		B	C
Parcela 5	5	0,58	6	0,16			C
Parcela 2	5	0,55	3	0,16			C

**Tabla 6. Resultados arrojados por el Programa Infostat - Comparación de la longitud de la zona intermedia de cada uno de los cromatogramas para cada una de las parcelas (197, 200, 205, 274 y 274 B) realizadas a dos profundidades promedio 0 cm – 10 cm y 10 cm – 20 cm (5 cm y 20 cm) mediante el test de Duncan.**

### Observación microscópica

En total se observaron 100 colonias en total, siendo más abundantes Bacterias Gram positivas (51%), seguidas por Gram Negativas (39%) y otros 10% (posibles hongos y levaduras).

Parcela	Gram positivas	Gram negativas	Otros: Posibles hongos
1: 205	7	9	4
2: 200	12	6	2
3: 197	12	8	0
4: 274b	11	7	2
5: 274	9	9	2

**Tabla 7. Tabla resumen cantidad de microorganismos encontrados en cada parcela**

Composición de las colonias cultivadas según la tinción de Gram, mostrando el porcentaje de Gram positivas, Gram negativas y hongos en parcelas quemadas y no quemadas mediante un gráfico de columnas apiladas.

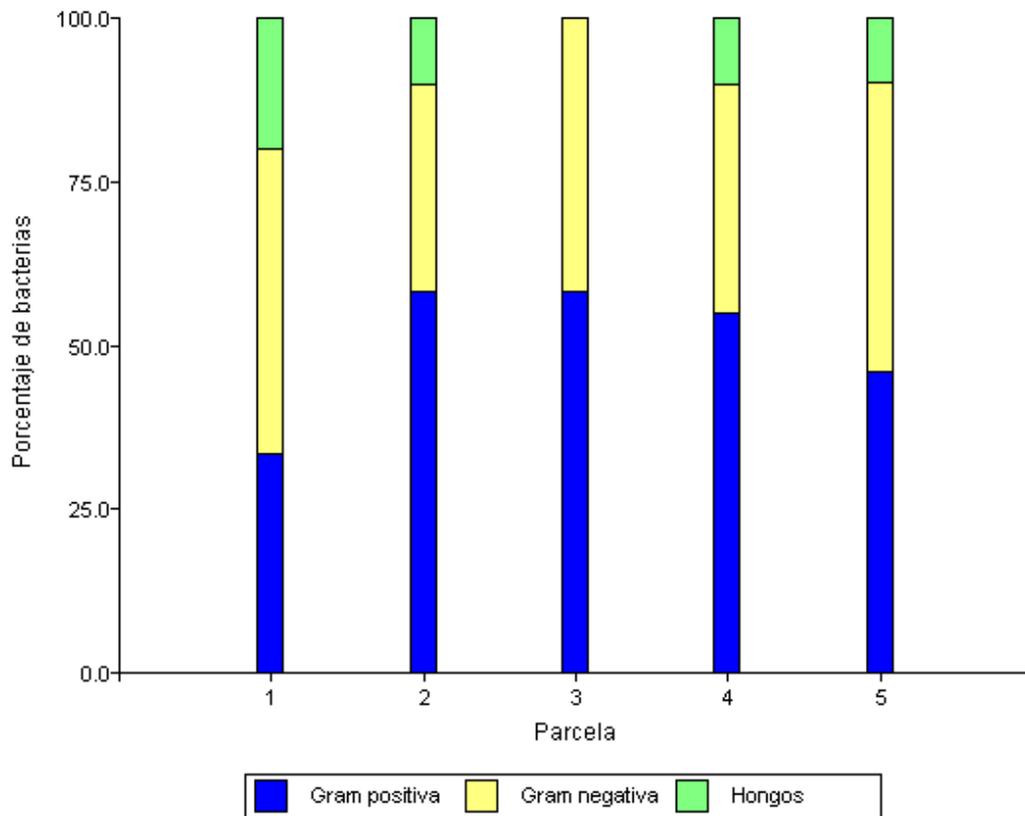


Figura 4. Gráfico de columnas apiladas de los resultados obtenidos de la Tinción Gram. Parcela 1(205), parcela 2(200), parcela 3 (197), parcela 4(274b) y parcela 5 (274).

### Índice de Shannon

Para el cálculo de la diversidad de especies en cada parcela se utilizaron los siguientes datos:

Parcela	Total Gram positivas	Cocos	Bacilos	Total Gram negativas	Cocos	Bacilos	Total de bacterias	Índice de Shannon
1: 205	7	1	6	9	0	9	16	1.4199
2: 200	12	7	5	6	5	1	18	1.365
3: 197	12	8	4	8	6	2	20	0.8645
4: 274b	11	6	5	7	3	4	18	1.2895
5: 274	9	5	4	9	6	3	18	1.29

Tabla 8. Tabla resultados Índice de Shannon, se resume la cantidad de bacterias encontradas en cada parcela para el cálculo del índice de Shannon.

### Cuantificación de bacterias

Con los datos recolectados de absorbancias a las diferentes diluciones, se preparó la Curva de Calibración. Y se calculó la concentración utilizando la ecuación resultante para el Caldo Nutritivo  $y = 0.0322x + 0.6884$ , que tiene un  $R^2 = 0,9618$ . Y para el Caldo Papa  $y = 0.04x + 0.2329$  la ecuación resultante con un  $R^2 = 0,9593$ .

Parcela	Concentración (UFC/mL) Caldo Papa	Concentración (UFC/mL) Caldo Nutritivo
1: 205	17,77	27,29
2: 200	13,06	9,82
3: 197	17,05	20,53
4: 274b	16,70	22,13
5: 274	16,38	24,05

Tabla 9. Valores promedio calculados de la Concentración (UFC/mL) para cada medio calculados con las curvas de calibración respectivas.

### Cuantificación de fósforo y glucosa en el suelo

El cálculo de la concentración de fósforo y glucosa se realizó con la ecuación dada de la curva de calibración  $y=0.0041X$  y  $y=0,1312x-0.003$ , respectivamente.

Las concentraciones promedio calculadas de fósforo, glucosa y pH se resumen en la siguiente figura.

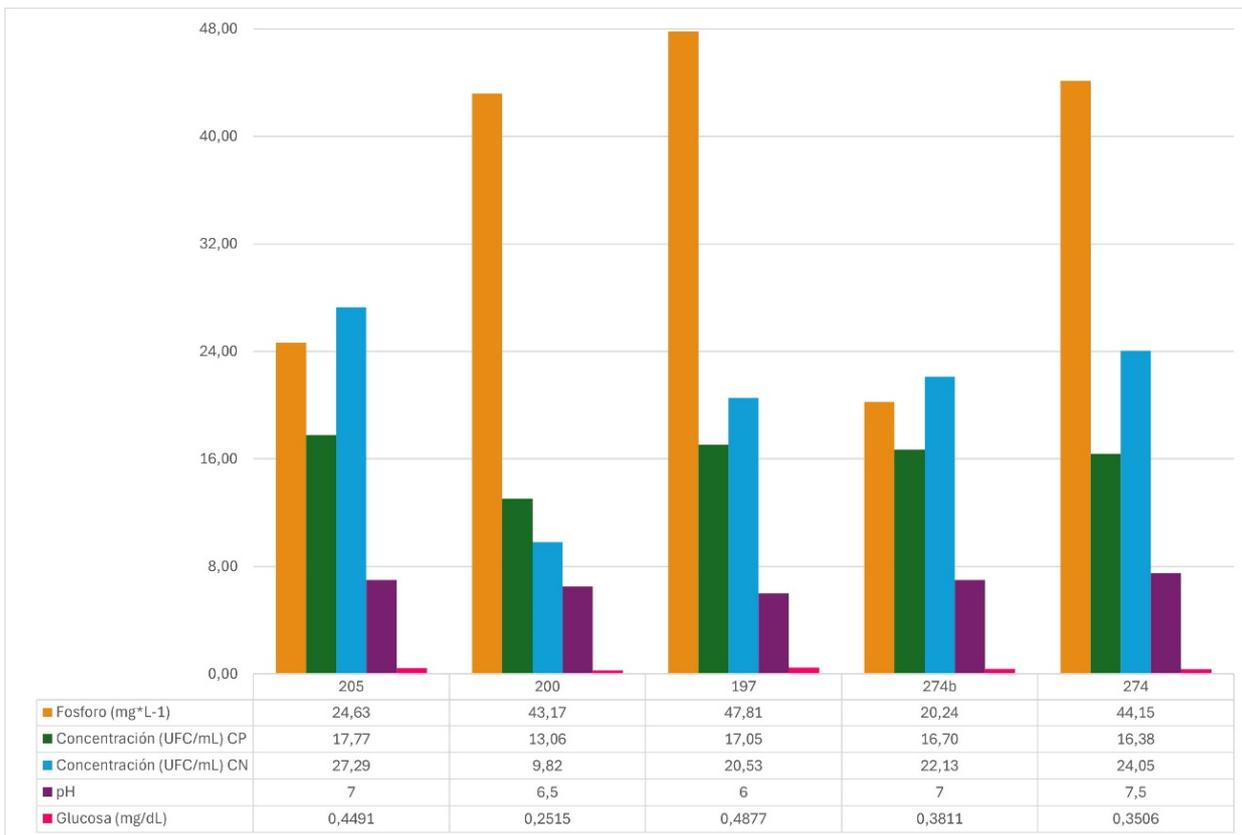


Figura 5. Resumen de concentraciones calculadas en medios de cultivo y otros parámetros. Los valores de la tabla del gráfico de barras son el promedio de las tres repeticiones medidas para cada cálculo efectuado.

### Coefficiente de Correlación de Pearson

Resultados del análisis de Correlación de Pearson para la Concentración (UFC/mL) en Caldo Papa para cada parámetro detallado en la caracterización fisicoquímica de cada parcela.

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Concentración Caldo Papa mg*L-1	
Concentración Caldo Papa mg*L-1	1.00	0.51
	-0.40	1.00

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Concentración Caldo Papa glucosa	
Concentración Caldo Papa glucosa	1.00	0.04
	0.89	1.00

Figura 6. Resultados arrojados por el Programa Infostat - Análisis de correlación medio CP. Los resultados del análisis de Correlación de Pearson para la Concentración (UFC/mL) en Caldo Papa vs fósforo, pH y glucosa muestra que si hay correlación y se sitúa como bajo (-0.41); y alta (0,89) respectivamente.

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Concentración Caldo Nutrit.. mg*L-1	
Concentración Caldo Nutrit.. mg*L-1	1.00	0.45
	-0.45	1.00

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Concentración Caldo Nutrit.. glucosa	
Concentración Caldo Nutrit.. glucosa	1,00	0,17
	0,72	1,00

Figura 7. Resultados arrojados por el Programa Infostat - Análisis de correlación medio CN. Los resultados del análisis de Correlación de Pearson para la Concentración (UFC/mL) en Caldo Nutritivo vs fósforo y glucosa muestra que si hay correlación y se sitúa como baja (-0,45) y media (0,72) respectivamente.

## DISCUSIÓN

La cantidad de materia orgánica se midió a través del método gravimétrico LOI y se realizaron análisis Anova indican un R2 ajustado de 0.93 y un valor-p <0,0001. Resultados que corroboran la existencia de diferencias significativas en la cantidad de materia orgánica en función de la profundidad, dependiendo del tipo de parcela (Tabla 1, 2). En la Tabla 3, de manera específica, se evidencia que la parcela 205 fue el lote que presentó mayor cantidad de materia orgánica (2,72%), seguida por la parcela 197 (2.59%), 274 (2.55%), 274B (2.33%) y, finalmente la parcela 200 en donde se obtuvo una carga orgánica baja de 1.56%. De manera gráfica se ilustra en la Figura 1, un descenso progresivo del porcentaje de materia orgánica al incrementar la profundidad del suelo de donde fueron recolectadas las muestras para análisis, coincidiendo con Ma & Gali-Izard 26 quienes describen a un suelo bueno con un porcentaje de materia orgánica mayor o igual al 3%, y uno regular con un porcentaje debajo del indicado, por lo que los resultados obtenidos muestran que todas las parcelas tienen un suelo regular (<3% M.O), obteniéndose que el promedio total de cada parcela tomando en cuenta sus rangos de profundidad son: parcela 197 de 2,59%, parcela

200 de 1.56%, parcela 205 de 2,71%, parcela 274 de 2,55% y parcela 274 B de 2,33%, estos rendimientos pueden explicarse porque la superficie del suelo en cada una de las parcelas, a excepción de la 200, tenían una cubierta vegetal y una cantidad considerable de restos de plantas, esto ayuda a que la carga orgánica aumente. Las superficies de los suelos pueden verse influenciadas positivamente por la acumulación de hojarasca que contribuye para un proceso de mineralización de la materia orgánica para recuperar la fracción estable y formar humus que puede mejorar notablemente la calidad final<sup>27</sup>.

Las Figuras 2 y 3 muestran los resultados del análisis de Pfeiffer, en las que se observaron los cromatogramas y se identificó una buena interacción que existe entre la zona central y la zona interna de los cromatogramas de cada una de las parcelas a las distintas profundidades. Lo que sugiere una buena estructura del suelo en las parcelas 197 y 205. No obstante, al evidenciar la zona intermedia con una terminación en picos en forma de aguja delgada y la zona externa sin la formación de lunares o nubes en la mayoría de muestras, demuestran que la calidad biológica del suelo no es la óptima. Sin embargo, el color café oscuro que se observa indica la presencia de materia orgánica. Estos resultados pueden ser interpretados con la información brindada por Domingues y colaboradores<sup>28</sup>, quienes argumentan que si en la zona intermedia de un cromatograma existe una terminación de picos y una zona externa sin formación de lunares significará que el ambiente en el cual se están desarrollando los procesos biológicos y ciclos naturales del suelo se dan en condiciones anaerobias. Una falta de oxígeno impedirá un proceso de oxidación de los nutrientes o minerales y esto disminuye el metabolismo microbiano, lo que incide directamente en la calidad y salud de un suelo. Además, Oliveira contrasta estos resultados mencionando que la coloración café oscura y sus tonalidades similares como el pardo se originan debido a la acción de microorganismos que descomponen la materia orgánica y forman humus, que le otorga estos tonos oscuros al cromatograma y representan una biota activa<sup>29</sup>. A pesar de las diferencias metodológicas entre el análisis gravimétrico LOI y el cromatográfico de Pfeiffer los resultados mostraron tendencias coincidentes, donde las parcelas con mayor materia orgánica (1 y 3) podrían favorecer la actividad microbiana en comparación con la parcela 2, que presentó una menor cantidad de materia orgánica.

En cuanto a los microorganismos presentes en el suelo, estos desempeñan funciones ecológicas vitales en los ecosistemas, sin embargo, su respuesta a los disturbios como el fuego dependen de la severidad y tipo de incendio, condiciones climáticas y claramente la composición microbiana del suelo<sup>30</sup>.

En lo que respecta a la carga de microorganismos, se mostró una evidente abundancia de bacterias (Tabla 7 y Figura 4). Se encontró un 51% de bacterias Gram positivas, un 39% de bacterias Gram negativas y un 10% que se distribuyó entre hongos o levaduras. Dentro de este grupo, la distribución por parcela fue la siguiente: porcentaje más alto en las parcelas 197 (quemada) y 200 con el 23.5% y 274b (21,56%), en comparación de las parcelas 205 (13,7%) y 274 (17,6%), con proporciones menores.

Según Mittal<sup>31</sup>, los incendios forestales fomentan el aumento de las bacterias cultivables predominantemente del género *Bacillus*, así como los filos Actinobacteria y Firmicutes que se presentan en mayor abundancia tras un incendio forestal por el interés de los microorganismos de preservar el Nitrógeno; cumpliendo un papel vital dentro del ciclo y fijación del nitrógeno<sup>32</sup>. Mittal<sup>31</sup> concluyó que el bosque quemado tenía como principal componente microbiano (80%) bacterias Gram positivas en forma de bastoncillos, bacilos, consorcio reconocido por su habilidad de formar esporas que facilitan su propagación y resistencia. De la misma manera, Actinomicetos que se desarrollan bajo condiciones alcalinas y de poca humedad, ayudados también de sus esporas termorresistentes<sup>30</sup>. Se ha descrito también que la

proliferación de Bacterias G+ puede deberse a la disponibilidad de carbono en el suelo, pues este grupo utiliza fuentes de carbono más inertes.

En comparación con bacterias G-, que aprovechan residuos frescos y suelen ser más sensibles a ciertas condiciones como la humedad, aireación del suelo, movilidad de agua, nutrientes<sup>33</sup>, sugiriendo que posterior al incendio la calidad del sustrato en las parcelas afectadas cambió, favoreciendo el predominio de bacterias mejor adaptadas a estos recursos.

Aunque el estudio se centró en bacterias, hubo un porcentaje bajo de posibles hongos y levaduras, equivalente al 10 %. Llamando la atención la nula presencia de colonias de hongos en la parcela afectada por incendio forestal (197). Señalando que son un grupo altamente vulnerable a los cambios bruscos del medio. Así lo asevera Nwokeh<sup>34</sup>, quien demostró que los incendios forestales pueden dañar severamente la disponibilidad de hongos, pues estos son más sensibles al calor, además de la mortalidad de plantas hospedantes Pressler et al. (2019). Afirmando que los daños al Reino Fungi pueden verse afectados negativamente incluso posterior a los 15 meses de la quema.

Lo que no pasa con las bacterias, Lombao<sup>35</sup> estipula que la recuperación bacteriana es más rápida que para los hongos. Que, en ciertas condiciones, las bacterias pueden verse favorecidas o estimuladas tras un evento de calentamiento del suelo. (Figura 4)

En la Tabla 8 se detalló el índice de Shannon calculado señalando poca variabilidad de la diversidad de bacterias. Los valores resultantes oscilan entre 0,86 más bajo (parcela 197) y 1,42 más alto (parcela 205), que sugiere una diversidad microbiana en un rango de relativamente baja a moderada. Un análisis de 131 investigaciones concluyó que el fuego tuvo un fuerte efecto negativo sobre la diversidad de los organismos del suelo, con reducciones significativas en hongos y artrópodos, y menor afectación en bacterias<sup>36</sup>. Coincidiendo que la parcela 197 perturbada por un incendio tiene el valor más bajo lo que implicó una pérdida representativa de especies. Aunque la reducción en la diversidad de la muestra no es extrema. Además, la recuperación microbiana posterior al incendio puede verse afectada por el clima, se ha reportado que en condiciones secas la recuperación es más lenta debido a una menor descomposición de la materia orgánica y menor disponibilidad de nutrientes<sup>30</sup>.

La cuantificación de bacterias (Tabla 9), las UFC's fueron menores para las parcelas 200 ( $x=11.44b$ ) en comparación con los suelos de las parcelas 205 ( $x=22.53$ ), 197 ( $x=18.79$ ), 274b ( $x=19.42$ ) y 274 ( $x=20.22$ ). Esto puede atribuirse al aumento de cenizas que aporta con minerales esenciales para el crecimiento bacteriano, así como el aumento del pH por su alcalinidad. Otros factores como textura y porosidad también se ven alterados de manera beneficiosa temporalmente<sup>37</sup>. Mientras que los suelos con cangahua son característicos por su ambiente poco favorable para la proliferación bacteriana. La baja permeabilidad, limitado intercambio de agua, aire y nutrientes, dificulta la abundancia de los consorcios microbianos<sup>38</sup>.

En las Figuras 6 y 7, se refleja el análisis realizado de la correlación de Pearson entre factores como la concentración de microorganismos(UFC/mL), y factores como fósforo (mg/L) y concentración de glucosa (mg/dL). Por un lado, la concentración de fósforo mostró un coeficiente de  $r=0.31$  para Caldo Papa y  $r=0.4$  para el Caldo nutritivo, valores que indican que no existe una correlación significativa entre la abundancia de fósforo y UFC/mL medidas.

Las concentraciones de fósforo total varían entre 47,805 mg/L (Parcela 197) y 20.24 mg/L (Parcela 274b) cuya variabilidad podría no ser suficiente para establecer una correlación significativa con las UFC/mL, especialmente si las concentraciones no cambian de manera drástica entre parcelas. Sumada a la capacidad del fósforo de formar complejos lo que reduce su disponibilidad, estudios previos han demostrado que a pesar de que los suelos pueden contener altas concentraciones, el P es fuertemente adsorbido por minerales y solo una fracción muy baja está disponible para bacterias y plantas<sup>39</sup>. De hecho, investigaciones que anteceden indican que la reacción de los microorganismos varía según las formas de adición de P, los tipos de ecosistemas, al igual que la forma disponible del fósforo<sup>40</sup>. Reforzando la idea de que la complejidad de la interacción entre P y el crecimiento de microorganismos puede depender de otros múltiples factores, como la composición inicial del suelo, presencia de otros nutrientes, pH<sup>41</sup>. Y aunque el fósforo esté presente si no es fácilmente accesible se vuelve limitante para la productividad<sup>42</sup>. Si bien, los microorganismos desempeñan un papel clave en la transformación del fósforo orgánico y en su movilización, su capacidad depende de su diversidad y actividad enzimática (grupos especializados solubilizadores de fosfato)<sup>43</sup> o interacciones clave entre ellos. Además, la baja correlación puede deberse a las limitaciones de medición de bacterias, puesto que se ocupa UFC que mide únicamente los microorganismos cultivables, que son apenas una fracción del total de bacterias presentes.

La evaluación entre glucosa y UFC en Caldo Papa ( $r=0,89$ ) sugiere que este carbohidrato es un factor determinante para la proliferación bacteriana, pero no para Caldo Nutritivo  $r=0,72$ . Diferencia que pudo darse porque los diferentes medios de cultivo, por ejemplo, el Caldo Papa contiene mayor cantidad de carbohidratos, incluidos azúcares simples como la glucosa. Sin embargo, no se realizó el estudio para analizar estas diferencias. Mas bien, se confirma que sin importar el medio en el que se encuentre sembradas las bacterias, la presencia de glucosa es un parámetro que se relaciona fuertemente con la concentración en UFC/mL. En las parcelas 205, 197, 274 y 274b, con valores de glucosa de 0,4491; 0,4877; 0,3811; 0,3506 respectivamente. Y para la parcela 200 el valor más bajo de 0,2515. Encontrándose una correlación positiva entre glucosa y UFC/mL. Lo que sugiere que la presencia de glucosa y la concentración microbiana son directamente proporcionales entre ambas. Además, señala la dependencia de la proliferación bacteria con la disponibilidad de glucosa. Respuesta que se encontró en investigaciones que demuestran que a medida que la tasa de crecimiento microbiano aumenta, también lo hace la tasa de absorción de sustrato (en este caso, la glucosa), lo que a su vez eleva la tasa de consumo de oxígeno<sup>44</sup>. Apuntando que existe una cantidad mínima de glucosa necesaria para mantener la reproducción celular<sup>45</sup>.

Aunque se debe considerar que, el daño causado por la quemadura de la corteza terrestre pudo haber sido solo en una parte delgada y superficial<sup>36</sup>, lo que implica que el deterioro visible del suelo se pudo haber diluido durante el muestreo que se tomó en un rango de 0 – 30cm, anulando el impacto durante los análisis realizados, coincidiendo con otros estudios. Investigaciones como las de Lombao<sup>35</sup> y Lucas-Borja<sup>32</sup> que evaluaron el daño de las características bioquímicas del suelo expuestos al calentamiento del suelo a temperaturas de alta y baja severidad que confirman lo expuesto anteriormente.

Es importante mencionar que, dentro de las principales limitaciones del estudio, figura la cuantificación de microorganismos mediante un método convencional. Esto, debido a que se puede subestimar la diversidad microbiana total, tomando en cuenta que la mayoría de microorganismos como bacterias y hongos no son cultivables en condiciones de laboratorio<sup>32</sup>. Por lo tanto, se destaca la importancia de la utilización de métodos de secuenciación para observar de manera más real la diversidad microbiana asociada al suelo. Adicionalmente, la toma de muestras dentro de un momento específico, podría no reflejar la variabilidad estacional y los cambios dentro del suelo cuando se experimentan épocas secas versus épocas donde se

tengan lluvias abundantes, debido a que podría evidenciarse una relación directa en la tasa de descomposición de la materia orgánica y las interacciones de los microorganismos <sup>8</sup>.

## CONCLUSIONES

Los hallazgos del estudio demostraron que los suelos de la Comuna Centro de Alangasí, se encuentran altamente afectados por el impacto de los incendios forestales, y por características propias del suelo (cangahua).

La cromatografía de Pfaiffer reveló que los cromatogramas más adecuados fueron los de la parcela 205 que mostraron una estructura buena con alta presencia de materia orgánica y una actividad biológica considerable. La parcela 197 evidenció una recuperación importante del suelo con patrones que indican una carga orgánica buena con una diversidad microbiana significativa. Por el contrario, la parcela 200 evidenció un suelo degradado con carencia de materia orgánica y de actividad biológica.

El análisis gravimétrico confirmó que la parcela 205 tiene el mayor contenido de materia orgánica (2,71%), reflejando su superior calidad. La parcela 197 también presentó un buen porcentaje (2,59%), en contraste con la parcela 200 con el menor porcentaje (1,56%), resaltando factores como alta tasa de mineralización, erosión, compactación, exposición directa al sol y una baja actividad microbiana como responsables de la degradación. La estabilidad de agregados en agua se presentó en mayor cantidad en la parcela 205 (68,77%), sugiriendo una buena resistencia frente a la erosión. La parcela 197 mostró un porcentaje similar (67,83%), lo que respalda su proceso de recuperación post incendio, al contrario de la parcela 200 registró el menor valor (55,27%). Denotando la falta de materia orgánica, diversidad microbiana y una humedad deficiente que debilitan su estructura.

En cuanto a la caracterización y cuantificación de bacterias en las parcelas de Comuna Centro de Alangasí, se encontró que el impacto de los incendios forestales tiene un efecto significativo en la composición microbiana del suelo. De las 100 colonias observadas, se denotó el crecimiento favorecido de Gram positivas (51%) en comparación con Gram negativas (39%).

La parcela 197 (afectada por incendio) y la 200 (suelo tipo cangahua) indicaron predominancia de Gram positivas (23,5%), en comparación con las que no. Lo que permite deducir que este grupo de microorganismos presenta una ventaja adaptativa a condiciones adversas como altas temperaturas, baja concentración y disponibilidad de nutrientes.

De la misma manera, la parcela 197 mostró el valor más bajo del índice de Shannon (0.86), lo que implica una pérdida de especies bacterianas. Resultados que respaldan que la exposición al fuego tiene un efecto negativo sobre la diversidad biológica. Afectando a los microorganismos más sensibles, en este caso bacterias Gram negativas.

La relación entre variables físico (fósforo) y microbiota (UF/mL) fue baja (-0.4 y -0.42). Esto pudo deberse tanto la limitada accesibilidad del fósforo como al tipo de muestreo y técnicas utilizadas para su detección que podrían haber diluido la concentración de fósforo o no haber capturado adecuadamente su relación con la actividad bacteriana. Mientras que la fuerte correlación que se encontró entre la concentración de microorganismos y la glucosa ( $r=0.89$  y  $r=0.72$ ) indica que la presencia de carbono fácilmente asimilable es un factor fundamental para el mantenimiento de la microbiota del suelo.

Por otro lado, los resultados indican una creciente necesidad de gestionar programas de rehabilitación de suelo, con un enfoque en el mantenimiento y retención de materia orgánica para favorecer procesos de recuperación del suelo tras incidentes como erosión e incendios con el objetivo de mejorar su calidad productiva.

**Contribuciones de los autores:** Conceptualización, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Metodología, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Análisis formal, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Investigación, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Análisis de datos, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Escrito borrador del manuscrito, Paola Ruiz, Ismael Calderón; Edición, Paola Ruiz, Supervisión Petronio Gavilanes. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no ha recibido financiación externa.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

---

## REFERENCIAS

- Hernández, H.; Sato, M. ¿ La Palma Aceitera (*Elaeis Guineensis*) Genera Un Impacto Negativo Sobre El Suelo? *Agronomía Mesoamericana* **2023**, *34* (1).
- Nayakekorale, H. B. Soil Degradation. *The Soils of Sri Lanka* **2020**, *9*, 103–118. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44144-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44144-9_9).
- Borrelli, P.; Robinson, D. A.; Panagos, P.; Lugato, E.; Yang, J. E.; Alewell, C.; Wuepper, D.; Montanarella, L.; Ballabio, C. Land Use and Climate Change Impacts on Global Soil Erosion by Water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2020**, *117* (36), 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.
- Zhao, J.; Wang, Z.; Dong, Y.; Yang, Z.; Govers, G. How Soil Erosion and Runoff Are Related to Land Use, Topography and Annual Precipitation: Insights from a Meta-Analysis of Erosion Plots in China. *Science of The Total Environment* **2022**, *802*, 149665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149665>.
- Fontúrbel, T.; Jiménez, E.; Merino A.; Vega, J. A. Contrasting Immediate Impact of Prescribed Fires and Experimental Summer Fires on Soil Organic Matter Quality and Microbial Properties in the Forest Floor and Mineral Soil in Mediterranean Black Pine Forest. *Science of The Total Environment* **2023**, 167669–167669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167669>.
- Molina Velásquez, E. R.; Sinchi Alba, D. I.; Baquero Padilla, P. A. Evaluación de Los Factores Geográficos Que Inciden En Los Flujos Turísticos de La Parroquia Rural de Alangasí. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA* **2020**, *7* (5), 31–56. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.75.400>.
- Konrad Miotliński; Kuenzang Tshering; Boyce, M. C.; Blake, D.; Horwitz, P. Simulated Temperatures of Forest Fires Affect Water Solubility in Soil and Litter. *Ecological Indicators* **2023**, *150*, 110236–110236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110236>.
- Vidal-Riveros, C.; Souza-Alonso, P.; Bravo, S.; Laino, R.; Ngo Bieng, M. A. A Review of Wildfires Effects across the Gran Chaco Region. *Forest Ecology and Management* **2023**, *549*, 121432. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121432>.
- Cruz, H.; Jácome, S.; Gualotuña, T.; Marcillo, D.; Fonseca, R. Causes and Variables of Forest Fires, a Brief Review of the Ecuadorian Case. *Springer eBooks* **2022**, 397–410. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96043-8\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96043-8_31).
- Ministerio del Ambiente. *Gobierno Nacional presentó campaña de prevención de incendios forestales – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. [www.ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec). <https://www.ambiente.gob.ec/gobierno-nacional-presento-campana-de-prevencion-de-incendios-forestales/>.

11. Li, Q.; Wang, L.; Fu, Y.; Lin, D.; Hou, M.; Li, X.; Hu, D.; Wang, Z. Transformation of Soil Organic Matter Subjected to Environmental Disturbance and Preservation of Organic Matter Bound to Soil Minerals: A Review. *Journal of Soils and Sediments* **2022**. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03381-y>.
12. Keiji Jindo; Audette, Y.; Fabio Lopez Olivares; Luciano Pasqualoto Canellas; D. Scott Smith; R. Paul Voroney. Biotic and Abiotic Effects of Soil Organic Matter on the Phytoavailable Phosphorus in Soils: A Review. *Chem. Biol. Technol. Agric* **2023**, *10* (1). <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00401-y>.
13. Urbanski, L.; Karsten Kalbitz; Rethemeyer, J.; Schad, P.; Kögel-Knabner, I. Unexpected High Alkyl Carbon Contents in Organic Matter-Rich Sandy Agricultural Soils of Northwest Central Europe. *Geoderma* **2023**, *439*, 116695–116695. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116695>.
14. Błońska, E.; Wojciech Prazuch; Lasota, J. Deadwood Affects the Soil Organic Matter Fractions and Enzyme Activity of Soils in Altitude Gradient of Temperate Forests. *Forest Ecosystems*, **2023**, *10*, 100115–100115. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100115>.
15. Mumzaei, A.; Sadeghi, S. H.; Zarei Darki, B.; Homae, M. Reducing Gasoil-Induced Soil Loss Using Endemic Soil Microorganisms. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* **2024**, *135*, 103648. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103648>.
16. Meyer, C.; Jeanbille, M.; Breuil, M.-C.; Bru, D.; Höfer, K.; Screpanti, C.; Philippot, L. Soil Microbial Community Fragmentation Reveals Indirect Effects of Fungicide Exposure Mediated by Biotic Interactions between Microorganisms. *Journal of Hazardous Materials* **2024**, 134231. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134231>.
17. Vijay Kumar Aralappanavar; Mukhopadhyay, R.; Yu, Y.; Liu, J.; Bhatnagar, A.; Sarva Mangala Praveena; Li, Y.; Paller, M.; Adyel, T. M.; Jörg Rinklebe; Bolan, N. S.; Sarkar, B. Effects of Microplastics on Soil Microorganisms and Microbial Functions in Nutrients and Carbon Cycling – a Review. *Science of the total environment* **2024**, *924*, 171435–171435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171435>.
18. Liu, Z.; Wu, Z.; Tian, F.; Liu, X.; Li, T.; He, Y.; Li, B.; Zhang, Z.; Yu, B. Phosphate-Solubilizing Microorganisms Regulate the Release and Transformation of Phosphorus in Biochar-Based Slow-Release Fertilizer. *Science of The Total Environment* **2023**, *869*, 161622–161622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161622>.
19. Liang, X.; Zhu, Y.; Liu, H.; Xie, Z.; Li, G.; Li, D.; Liang, Y.; Peng, C. Nitrogen-Fixing Cyanobacteria Enhance Microbial Carbon Utilization by Modulating the Microbial Community Composition in Paddy Soils of the Mollisols Region. *Science of the total environment* **2024**, 172609–172609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172609>.
20. Suarez, A.; Gwozdz, W. On the Relation between Monocultures and Ecosystem Services in the Global South: A Review. *Biological Conservation* **2023**, *278*, 109870. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109870>.
21. Aliyat, F. Z.; Maldani, M.; Mohammed, E. G.; Nassiri, L.; Ibjibijen, J. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Phosphate Solid Sludge of the Moroccan Phosphate Mines. *The Open Agriculture Journal* **2020**, *14* (1), 16–24. <https://doi.org/10.2174/1874331502014010016>.
22. Mendoza, R.; Espinoza, A. *Guía Técnica Para Muestreo de Suelos ASA AGUA Y SUELO PARA LA AGRICULTURA*; 2017. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>.
23. Red de Buenas Prácticas Agropecuarias. *Recomendaciones Para Muestreo de Suelos*; 2020. <https://redbpa.org.ar/wp-content/uploads/2021/04/EP-RedBPA-MuestreoDe-Suelos.pdf>.
24. Infostat. *Infostat - Statistical software*. [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar). <https://www.infostat.com.ar/>.
25. Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). *Cromatografía imagen de vida y destrucción del suelo* (1ra ed). Feriva S.A.

26. Ma, Z.; Gali-Izard, T. BeingAliveLanguage: Visualizing Soil Information from a Design Perspective to Enhance Multidisciplinary Communication. *Ecological Informatics* **2023**, *76*, 102151–102151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102151>.
27. Shi, J.; Deng, L.; Yang, L.; Dong, Y.; Liao, Y.; Li, J.; Liu, Y.; Ren, C.; Yang, F.; Zhouping Shangguan; Yakov Kuzyakov. Deciphering Microbial Drivers of Soil Organic Matter Mineralization in Surface and Subsurface Soil during Long-Term Vegetation Succession. *Agriculture, ecosystems & environment* **2024**, *374*, 109186–109186. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109186>.
28. Domingues, S.; Boff, P.; Carissimi Boff, M. I. Cromatografía Circular Pfeiffer En Suelo Tratado Con Altas Diluciones Dinamizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **2022**, *13* (7), 1183–1194. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3172>.
29. Oliveira, W. S.; Costa, J. L. do V.; Cardoso, E. P.; Teixeira, R. de N. P.; Oliveira, M. E. da S. Métodos de Interpretação Para Teste de Qualidade Em Solos a Partir Da Cromatografia Circular Plana (FCC) / Interpretation Methods for Soil Quality Testing from Flat Circular Chromatography (FCC). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* **2020**, *3* (3), 1107–1125. <https://doi.org/10.34188/bja-erv3n3-031>.
30. Hu, M.; Wang, J.; Lu, L.; Gui, H.; Wan, S. Global Recovery Patterns of Soil Microbes after Fire. *Soil Biology and Biochemistry* **2023**, *183*, 109057. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109057>.
31. Mittal, D.; Shukla, R.; Verma, S.; Sagar, A.; Verma, K. S.; Pandey, A.; Negi, Y. S.; Saini, R. V.; Saini, A. K. Fire in Pine Grown Regions of Himalayas Depletes Cultivable Plant Growth Promoting Beneficial Microbes in the Soil. *Applied Soil Ecology* **2019**, *139*, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.020>.
32. Lucas-Borja, M. E.; Miralles, I.; Ortega, R.; Plaza-Álvarez, P. A.; González-Romero, J.; Sagra, J.; Soriano-Rodríguez, M.; Certini, G.; Heras, J. Immediate Fire-Induced Changes in Soil Microbial Community Composition in an Outdoor Experimental Controlled System. *Science of The Total Environment* **2019**, *696*, 134033–134033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134033>.
33. Cheng, Z.; Wu, S.; Du, J.; Pan, H.; Lu, X.; Liu, Y.; Yang, L. Variations in the Diversity and Biomass of Soil Bacteria and Fungi under Different Fire Disturbances in the Taiga Forests of Northeastern China. *Forests* **2023**, *14* (10), 2063–2063. <https://doi.org/10.3390/f14102063>.
34. Nwokeh, U. J.; Nwachukwu, S. C.; Onwuka, M. I. EFFECT of TIMING SLASHING, BURNING and SOIL AMENDMENT on SOIL MICROBES. *Fudma Journal of Sciences* **2023**, *6* (5), 161–168. <https://doi.org/10.33003/fjs-2022-0605-1186>.
35. Lombao, A.; Barreiro, A.; Fonturbel, T.; A. Martín; T. Carballas; Montserrat Díaz-Raviña. Effect of Repeated Soil Heating at Different Temperatures on Microbial Activity in Two Burned Soils. *Science of The Total Environment* **2021**, *799*, 149440–149440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149440>.
36. Pressler, Y.; Moore, J. C.; Cotrufo, M. F. Belowground Community Responses to Fire: Meta-Analysis Reveals Contrasting Responses of Soil Microorganisms and Mesofauna. *Oikos* **2018**, *128* (3), 309–327. <https://doi.org/10.1111/oik.05738>.
37. Barba, P.; Chimbo, G.; Chilinguina, A.; Echeverría, C.; Ortega, S.; Sandoval, C.; Zárata, S. *Uso de microorganismos nativos como estrategia de restauración de suelos de páramo afectados por incendios*. Catálisis. <https://www.catalisec.com/v4-n8-restauracion-paramos>.
38. Carrión Granja, B. D. Evaluación Del Efecto de Microorganismos En Las Propiedades Físicas Y Químicas de Suelos Cangahua. Trabajo De titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2020. <https://repositorioibe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a416992b-561c-44f1-8f5c-951e2c5bd2bc/content>.

39. Díaz, V. C.; Khalajabadi, S. S. ADSORCIÓN de FÓSFORO EN SUELOS de LA ZONA CAFETERA de COLOMBIA. *Cenicafé* **2018**, *69* (2), 7–16.
40. Wu, W.; Wang, F.; Xia, A.; Zhang, Z.; Wang, Z.; Wang, K.; Dong, J.; Li, T.; Wu, Y.; Che, R.; Li, L.; Niu, S.; Hao, Y.; Wang, Y.; Cui, X. Meta-Analysis of the Impacts of Phosphorus Addition on Soil Microbes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2022**, *340*, 108180. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108180>.
41. Zhou, Z.; Wang, C.; Luo, Y. Meta-Analysis of the Impacts of Global Change Factors on Soil Microbial Diversity and Functionality. *Nature Communications* **2020**, *11* (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16881-7>.
42. Chávez, R. S. Respuesta Del Cultivo de Frijol Común a Bajo Contenido de Fósforo En El Suelo: Revisión de Literatura. Trabajo De titulación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, 2020. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ac3cf030-d4ac-48a5-bdf2-6d674f9c1bca/content>.
43. Zhang, X.; Zhan, Y.; Zhang, H.; Wang, R.; Tao, X.; Zhang, L.; Zuo, Y.; Zhang, L.; Wei, Y.; Li, J. Inoculation of Phosphate-Solubilizing Bacteria (*Bacillus*) Regulates Microbial Interaction to Improve Phosphorus Fractions Mobilization during Kitchen Waste Composting. *Bioresource technology* **2021**, *340*, 125714–125714. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125714>.
44. Yogender Pal Khasa; Mohanty, S. R. Growth Physiology and Kinetics. *Springer eBooks* **2021**, 137–179. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0723-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0723-3_5).
45. Schulze, K. L.; Lipe, R. S. Relationship between Substrate Concentration, Growth Rate, and Respiration Rate of *Escherichia Coli* in Continuous Culture. *Archiv für Mikrobiologie* **1964**, *48* (1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/bf00406595>.

**Received:** December 2, 2024 / **Accepted:** February 18, 2025 / **Published:** March 15, 2025

Citation: Ruiz P, Calderón I, Gavilanes Á P, Romero P, Ponce K, Ramirez A, Vargas R, Caracterización cromatográfica y microbiológica de muestras de suelo provenientes de parcelas de la Comuna Centro del Pueblo Alangasí. *Bionatura journal*. 2025;2 (1):17. doi: 10.70099/BJ/2025.02.01.17

**Additional information** Correspondence should be addressed to [apgavilanes@espe.edu.ec](mailto:apgavilanes@espe.edu.ec)

**Peer review information.** Bionatura thanks anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

**ISSN.3020-7886**

All articles published by Bionatura Journal are made freely and permanently accessible online immediately upon publication, without subscription charges or registration barriers.

**Publisher's Note:** Bionatura Journal stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**Copyright:** © 2025 by the authors. They were submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).