








### Comparación de la eficiencia de microorganismos eficientes y de montaña en el compostaje de residuos orgánicos

Comparison of the efficiency of efficient and mountain microorganisms in composting organic waste

Karina Milagros Ordóñez Ruiz <sup>1\*</sup>, Luis Alberto Ordóñez Sánchez <sup>2</sup>, Victor Hugo Oblitas Quiroz <sup>3</sup>,  
Delmester Chuquimbalqui Marina <sup>4</sup>, Dina Marleny, Huanaco Quispe <sup>5</sup>,  
Jorge Max Navarro Reátegui <sup>6</sup>, Victor Hugo ordoñez Sanchez <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Huanta/Huanta/Perú; kordonez@unah.edu.pe;

<sup>2</sup> Universidad Nacional de San Martín/San Martín/Perú; laordonez@unsm.edu.pe;

<sup>3</sup> OQ Ingenieros EIRL/ San Martín/Perú; victorh.oblitas@gmail.com;

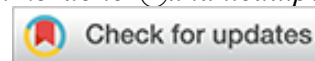
<sup>4</sup> Universidad Nacional de San Martín/San Martín/Perú; d.chuquimbalqui@unsm.edu.pe;

<sup>5</sup> Universidad Nacional Autónoma de Huanta/Huanta/Perú; 1912810161@unah.edu.pe;

<sup>6</sup> Universidad Nacional de San Martín/San Martín/Perú; jorgemaxnavarror@alumno.unsm.edu.pe;

<sup>7</sup> Universidad Nacional de San Martín/San Martín/Perú; vihorsan1069@gmail.com;

\* Correspondencia: kordonez@unah.edu.pe



### RESUMEN

La presente investigación tuvo por objeto evaluar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos proveniente de juguerías de un mercado zonal, mediante el uso de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) para determinar los macronutrientes, propiedades físicas y químicas del producto (compost). La metodología utilizada fue la de descomponer al mismo tiempo una cierta cantidad de residuos orgánicos con ME y MM, de manera independiente, verificar la rapidez e intensidad de olor en el proceso. Se evaluó constantemente, tres veces por semana, permitiendo recopilación de datos y observación de manera progresiva. Los resultados indican que la materia orgánica del compost se incrementó en 364,29 % con el trabajo de los MM y un incremento del 296,43 % ME; la arena del compost experimenta 14,15% de incremento con MM y 10,52 % de aumento con ME. La densidad aparente del compost experimenta 2,09 % de aumento con la incorporación de microorganismos de montaña y con microorganismos eficientes. El nitrógeno del compost incrementó 467,46 % con la incorporación de MM y 472,62 % con ME. Los residuos orgánicos a las siete semanas descomponen al 98 % con MM y 100 % con microorganismos eficientes.

**Palabras clave:** compost; descomposición; intensidad de olor; materia orgánica; residuos orgánicos

### SUMMARY

The purpose of this research was to evaluate the decomposition process of organic waste from juice factories in a local market, using mountain microorganisms (MM) and efficient microorganisms (EM) to determine the macronutrients and physical and chemical properties of the product (compost). The methodology used was to simultaneously decompose a certain amount of organic waste with ME and MM independently to verify the process's speed and intensity of odor. It was constantly evaluated three times a week, progressively allowing data collection and observation. The results indicate that the organic matter of the compost increased by 364.29% with the work of the MM and an increase of 296.43% ME; the sand of the compost experienced a 14.15% increase with MM and a 10.52% increase with ME. The apparent density of the compost experiences a 2.09% increase with the incorporation of mountain and efficient microorganisms. Compost nitrogen increased by 467.46% with the addition of MM and 472.62% with ME. Organic waste decomposes 98% after seven weeks with MM and 100% with efficient microorganisms.

**Keywords:** compost, organic waste, organic matter, decomposition, odor intensity

## INTRODUCCIÓN

El problema de la gestión de los residuos sólidos orgánicos se evidencia en la creciente acumulación de estos materiales, principalmente por la falta de estrategias para su adecuado manejo. Un estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales (RSM) realizado en 2021 en la ciudad de Moyobamba reveló que el 80% de los residuos generados son orgánicos, mientras que el 14% son inorgánicos y el 6% no aprovechables<sup>1</sup>. Esta situación plantea la necesidad de buscar soluciones para el tratamiento de la fracción orgánica, como el compostaje. En este contexto, surge la pregunta: ¿Cómo los microorganismos de montaña y los microorganismos eficientes pueden optimizar los nutrientes y las propiedades físicas y químicas del compost elaborado a partir de los residuos orgánicos provenientes de las juguerías del Mercado Zonal Ayaymama, uno de los principales focos de generación de este tipo de residuos en la ciudad?

En países como China se producen enormes cantidades de desechos domésticos, y más del 50% de estos desechos son desechos de alimentos<sup>2</sup>. Las comunidades bacterianas contribuyen a la descomposición de diferentes desechos de alimentos; esto, guarda relación entre la dinámica de la comunidad microbiana y la emisión de COV malolientes<sup>3</sup>. Por otro lado, se desarrollaron cepas microbianas idóneas para degradar queratina; sin embargo, el procedimiento de descomposición de la queratina por parte de estos microorganismos no está del todo claro<sup>4</sup>. El exceso de desechos de alimentos no solo es un desperdicio de recursos y energía, sino que también causa una grave contaminación ambiental y quejas durante su proceso de descomposición<sup>5</sup>.

El compostaje es un proceso bio oxidativo que involucra diferentes tipos de microorganismos que pueden descomponer desechos sólidos orgánicos y producir productos finales orgánicos estables<sup>6</sup>. El microorganismo eficaz procede de origen natural<sup>7</sup>. Los microorganismos no contaminan las aguas ni los ecosistemas; por el contrario, purifican los suelos, aguas subterráneas, lagos y ríos, reduciendo la contaminación de manera efectiva, por la diversidad poblacional de microorganismos que beneficia los componentes naturales<sup>8</sup>. Las comunidades bacterianas centrales mejoraron la disponibilidad de NBO al degradar NBO de alto peso molecular en NBO de bajo peso molecular durante el compostaje de diferentes residuos<sup>9</sup>.

El uso de desechos de alimentos en el compostaje ha demostrado ser una estrategia prometedora para el crecimiento y la reproducción de microorganismos, así como para la optimización de las actividades metabólicas durante el proceso. Un estudio reciente<sup>10</sup> reveló que la adición de biocarbón de bagazo al 5% en la masa de desechos de alimentos mejoró significativamente estos parámetros.

Esta práctica se alinea con la creciente tendencia en la agricultura moderna de utilizar agentes microbiológicos como promotores del crecimiento y controladores biológicos de enfermedades y plagas en los cultivos<sup>11</sup>. Un ejemplo de ello es el aislamiento de cepas microbianas específicas a partir de desechos de alimentos que inhiben el crecimiento de hongos fitopatógenos<sup>12</sup>, lo que respalda el potencial de estos materiales como fertilizantes eficientes.

Los microorganismos desempeñan un papel crucial en el ecosistema, especialmente en procesos como la descomposición de la materia orgánica y el control de los cambios ambientales<sup>13</sup>. En el contexto del tratamiento de residuos, las reacciones microbiológicas y químicas que ocurren durante la descomposición de la materia orgánica generan productos como metano y dióxido de carbono<sup>14</sup>.

El pretratamiento microbiológico se presenta como una estrategia sostenible y de bajo coste para la producción de energía limpia, mientras que el compostaje de residuos orgánicos, como los desechos de alimentos, ofrece una solución económica y respetuosa con el medio ambiente.<sup>15</sup> El compost resultante actúa como un mejorador del suelo, aumentando su contenido de materia orgánica, lo que a su vez reduce la erosión y amortigua las fluctuaciones del pH. Además, el compostaje reduce la dependencia de los fertilizantes químicos en la agricultura<sup>16</sup>.

Diversos estudios han demostrado el impacto positivo de los microorganismos en el proceso de compostaje<sup>17</sup>. Por ejemplo, se ha observado que la celulasa acelera la descomposición de sustratos como los hongos gastados, mejora la comunidad bacteriana y promueve la formación de humus. Asimismo, la inoculación microbiana en el compostaje puede aumentar la temperatura, el pH y el índice de germinación, acelerando la madurez del compost<sup>18</sup>.

Aunque el compostaje presenta grandes ventajas, también existen desafíos, como la posible presencia de patógenos y la generación de olores<sup>19</sup>. Es importante destacar que los microorganismos nativos del suelo, incluyendo cepas exógenas, participan en la degradación de contaminantes como el aceite y el petróleo<sup>20</sup>.

En Malasia, donde la mayor parte de los residuos de alimentos terminan en vertederos generando gas metano, la producción de biofertilizantes a partir del compostaje se presenta como una alternativa viable con beneficios económicos y ambientales<sup>21</sup>, incluyendo la mitigación de gases de efecto invernadero<sup>22</sup>.

En este contexto, la presente investigación se centra en evaluar la eficiencia de microorganismos, incluyendo aquellos provenientes de ambientes de montaña, en la descomposición de materia orgánica procedente de juguerías<sup>23</sup>. El objetivo es caracterizar el compost generado y compararlo con las propiedades del suelo sin tratamiento, buscando promover la disminución y el aprovechamiento sostenible de los residuos orgánicos<sup>24,25</sup>.

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se emplearon 2 secciones o camas para el compostaje, cuyas medidas del espacio fueron de 1x2 m<sup>2</sup> y 30 cm de profundidad, en la ciudad de Moyobamba. El tipo de investigación utilizada fue básica<sup>27</sup>. El diseño de investigación es no experimental, con un nivel de estudio descriptivo, porque no se manipularon variables<sup>28</sup>.

La población está comprendida por los residuos sólidos orgánicos del Mercado Zonal Ayaymama, de la ciudad y provincia de Moyobamba, departamento de San Martín-Perú, se consideraron criterios de exclusión, básicamente a los propietarios y personal que residen menos de dos meses en los puestos de juguerías. Se seleccionó, a conveniencia del investigador, los puestos de juguería Marleny y Nancy's, del Mercado Ayaymama, permitiendo la obtención de residuos orgánicos a partir de la actividad comercial, 40 Kg. de residuos de juguería para cada poza de descomposición, haciendo un total de 80 Kg entre las camas de descomposición. Todo el proceso de compostaje duró siete semanas. Los datos se colocaron en el instrumento de evaluación. Los días de evaluaciones semanales fueron: lunes, martes y miércoles.

Las dos camas de descomposición contaron con su respectivo código, la primera se denominó A-ME; que consta de un proceso de compostaje a partir del suministro de microorganismos eficientes, obtenido en el distrito de Naranjos. La segunda se denominó A-MM; la cual consta de un proceso de compostaje a partir del suministro de microorganismos de montaña, los mismos que fueron obtenidos en la ciudad de Moyobamba. Para cada cama de descomposición de residuos sólidos orgánicos se aplicaron las siguientes cantidades: Dos litros para el código A-ME y 2 kilogramos para el código A-MM de microorganismos, de acuerdo a su codificación. El objeto del estudio es evaluar el periodo de descomposición con el uso de los 2 tipos de macroorganismos, constatar sus características, propiedades y olores durante ese proceso.

El análisis estadístico empleado fue la media aritmética, esto con el fin de sistematizar y analizar los datos que se obtuvieron en el trabajo de campo de siete semanas.

El proceso de compostaje requirió una distribución equitativa de los insumos para cada tratamiento: 40 kg de residuo orgánico, como parte primordial y materia base para el compostaje, que correspondió el 80%; además, se agregó 10 kg de aserrín (20 %), sumando en promedio 50 kg de producto en cada cama de tratamiento.

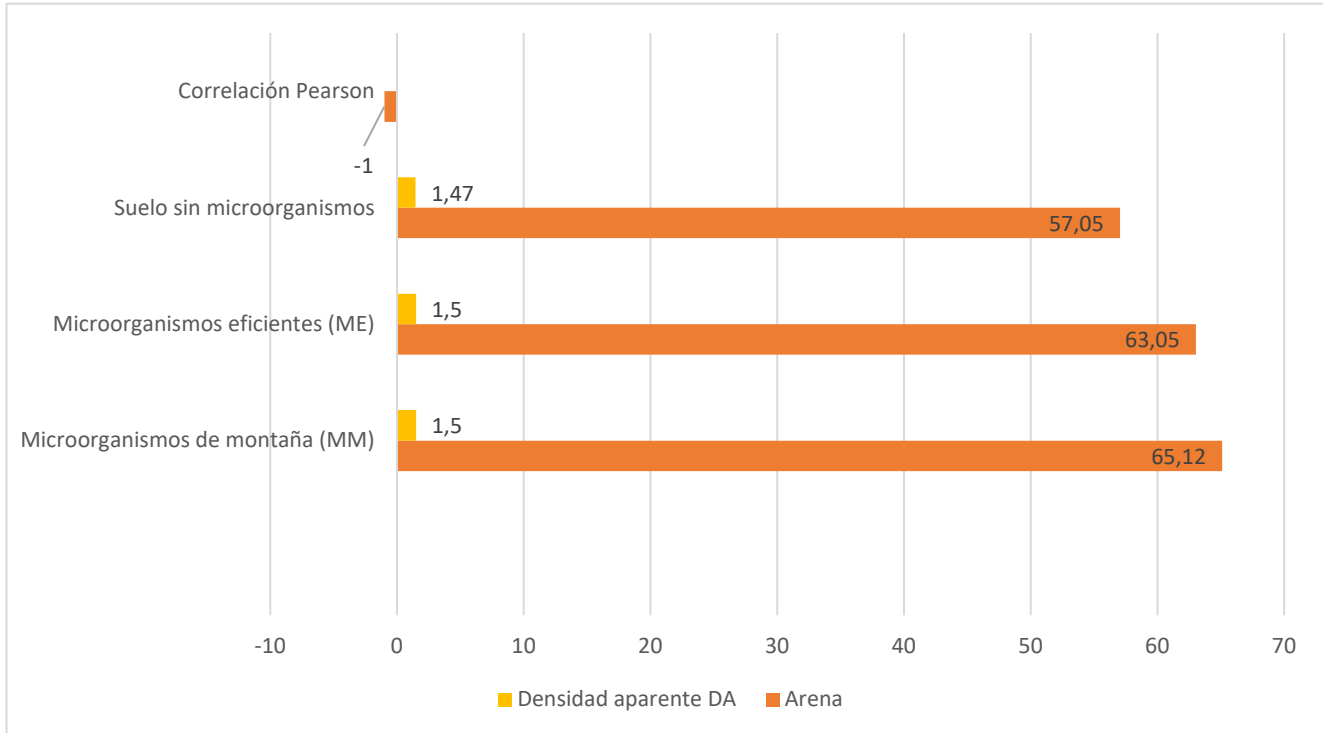
---

## RESULTADOS

### **Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en arena y densidad aparente DA del suelo.**

La arena del suelo ha experimentado incremento de 14 % en comparación al testigo suelo sin microorganismos con la incorporación de microorganismos de montaña (MM) y 11 % en comparación al testigo suelo sin microorganismos con la incorporación de microorganismos eficientes (ME), teniendo correlación de Pearson -1,

una relación negativa entre las variables. La arena del suelo está inversamente relacionada con 14 % con microorganismos de montaña y 11 % con microorganismos eficientes; es decir, al incrementar arena en el suelo, las características que son influenciadas por los microorganismos como por ejemplo la actividad biológica y el campo estructural del suelo, disminuyen de manera proporcional. En cambio, hay limitado 2 % de incremento del valor de la densidad aparente que, implica mayor compactación y reducción de porosidad del suelo. Este aumento, aunque leve, podría deducir deterioro de la estructura del suelo, más aún, si ocurre en poco tiempo (Figura 1).



**Figura 1. Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en arena y densidad aparente DA del suelo.**

La arcilla del suelo disminuyó un 13% en comparación con el testigo (suelo sin microorganismos) al incorporar microorganismos de montaña (MM), y un 12% al incorporar microorganismos eficientes (ME). La correlación de Pearson de 0 indica la ausencia de una relación lineal entre las variables, lo que sugiere que la disminución en la arcilla no está directamente relacionada con la incorporación de los microorganismos. Es probable que otros factores influyan en estas variaciones.

Por otro lado, la correlación de Pearson de -1 entre el contenido de limo y la cantidad de microorganismos (MM y ME) implica una relación inversamente proporcional. A medida que aumenta el contenido de limo, se reduce la cantidad de microorganismos. Esto se debe a que las características de los suelos limosos, como la poca estabilidad estructural, la alta compactación y la limitada aireación, dificultan el desarrollo microbiano. En consecuencia, los suelos con mayor contenido de limo presentan una actividad microbiana significativamente baja. Para mejorar la estructura de estos suelos y promover la actividad microbiana, se recomienda la incorporación de materia orgánica, la cual aumenta la porosidad y la aireación (Figura 2).

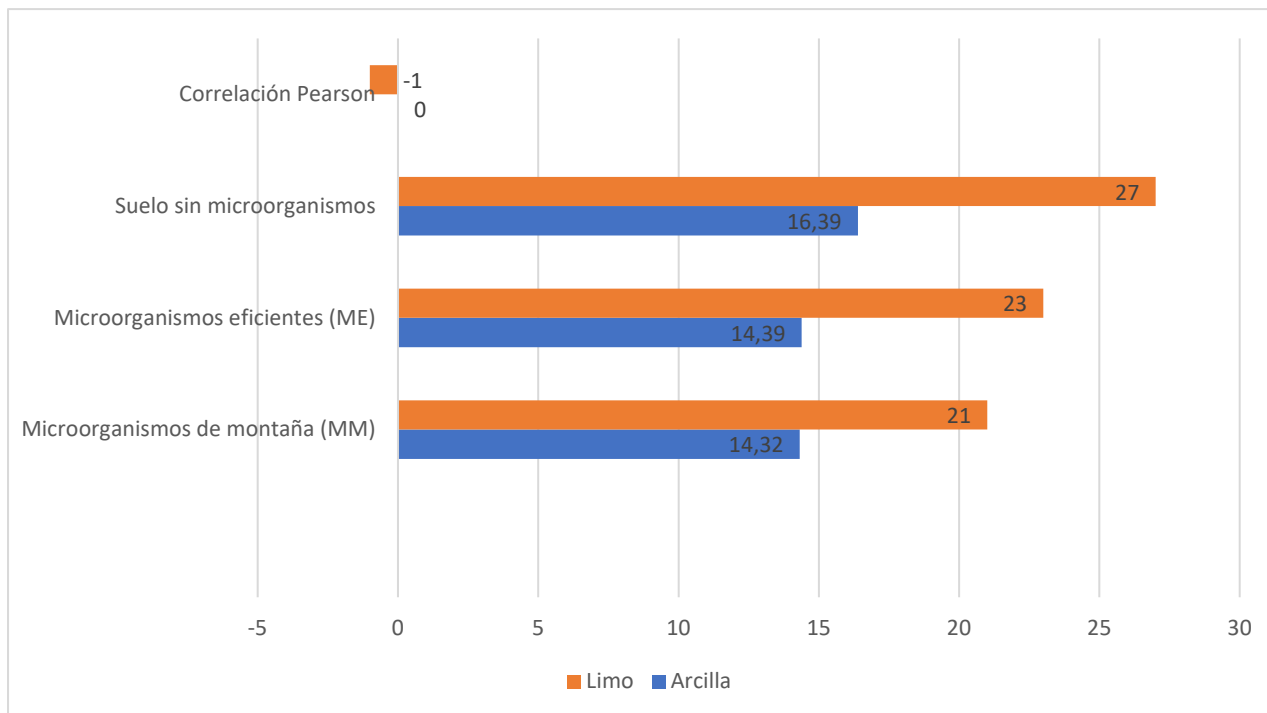
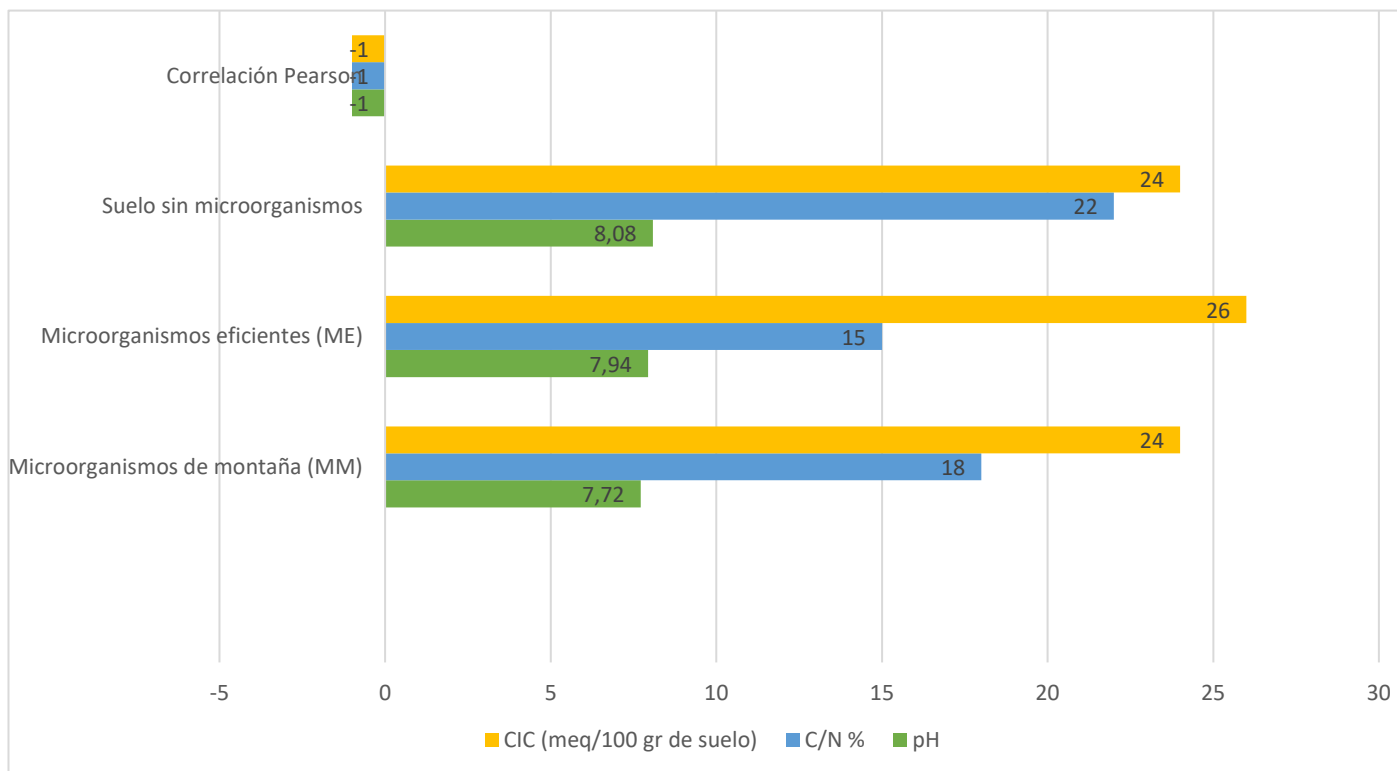


Figura 2. Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en arcilla y limo del suelo.

### Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en pH, C/N y CIC del suelo.

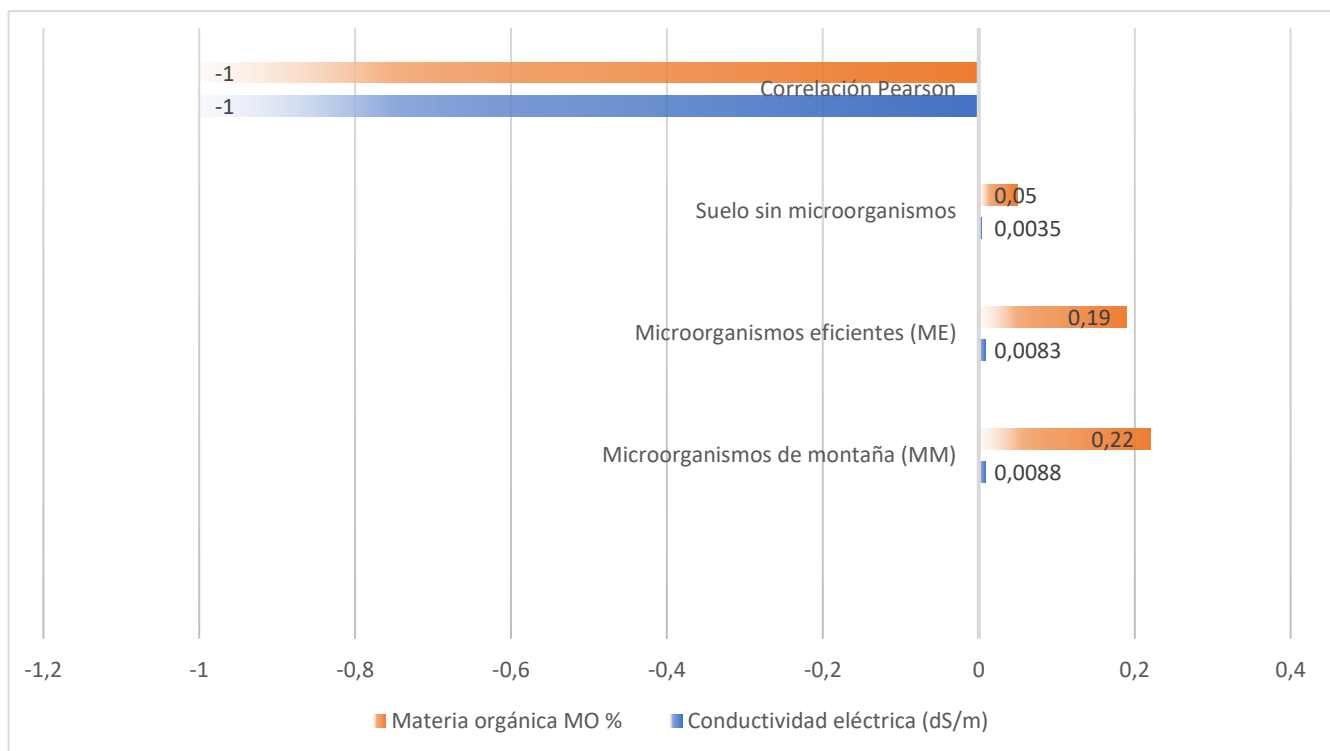
La correlación de Pearson -1 entre la variación del pH del suelo y el bajo porcentaje de microorganismos de montaña (-4 %) y de microorganismos eficientes (2 %), implica relación inversa proporcional perfecta. En otros términos, el incremento de pH del suelo está relacionado con el decreciente proporcional y sólido de la población de microorganismos. Cuando el pH del suelo se acrecienta, los microorganismos de montaña y los eficientes bajan constantemente. La diferencia negativa de más valor en microorganismos de montaña (-4 %) hace entender que estos microbios son más sensibles al incremento del pH en relación con los microorganismos eficientes (-2 %). Un suelo con pH alto implica menor disponibilidad de algunos elementos nutritivos como hierro, manganeso, y zinc, generalmente limitando el desarrollo de microorganismos, también pueden afectar actividades de enzimas y metabolismos de estos. Con respecto a la relación carbono nitrógeno (C/N %) del suelo, de correlación de Pearson -1, es una relación inversamente proporcional perfecta. Cualquier aumento de esta relación C/N va acompañada de reducción proporcional de las dos poblaciones de microorganismos, y funciona también al revés. La relación C/N elevada (22 % o más) hace entender suelo nutritivo en carbono; en cambio, bajo en nitrógeno, limitando el compostaje de materia orgánica y reducción de la labor de los microorganismos. Referente de la capacidad de intercambio catiónico (CIC meq/100 gr de suelo), de correlación de Pearson -1, es inversamente proporcional perfecta. Si una de las variables se incrementa, la otra baja, en valores de perfecto entendimiento. La baja de la CIC del suelo con MM indica que, los microorganismos podrían estar perjudicando de manera negativa la aprehensión de cationes intercambiable por los coloides. Por su parte, el incremento de la CIC con ME, hace entender capacidad para mejorar la retención de cationes nutrientes del suelo en los coloides o quizá también, la facilidad de liberar y aprehender cationes y compuestos. La CIC 24 (meq/100 gr de suelo) del testigo dice la capacidad moderada para fijar los cationes calcio, magnesio, potasio y sodio (Figura 3).



**Figura 3. Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en pH, C/N y CIC del suelo.**

### **Incidenca de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en Conductividad eléctrica (dS/m) y materia orgánica (MO %) del suelo.**

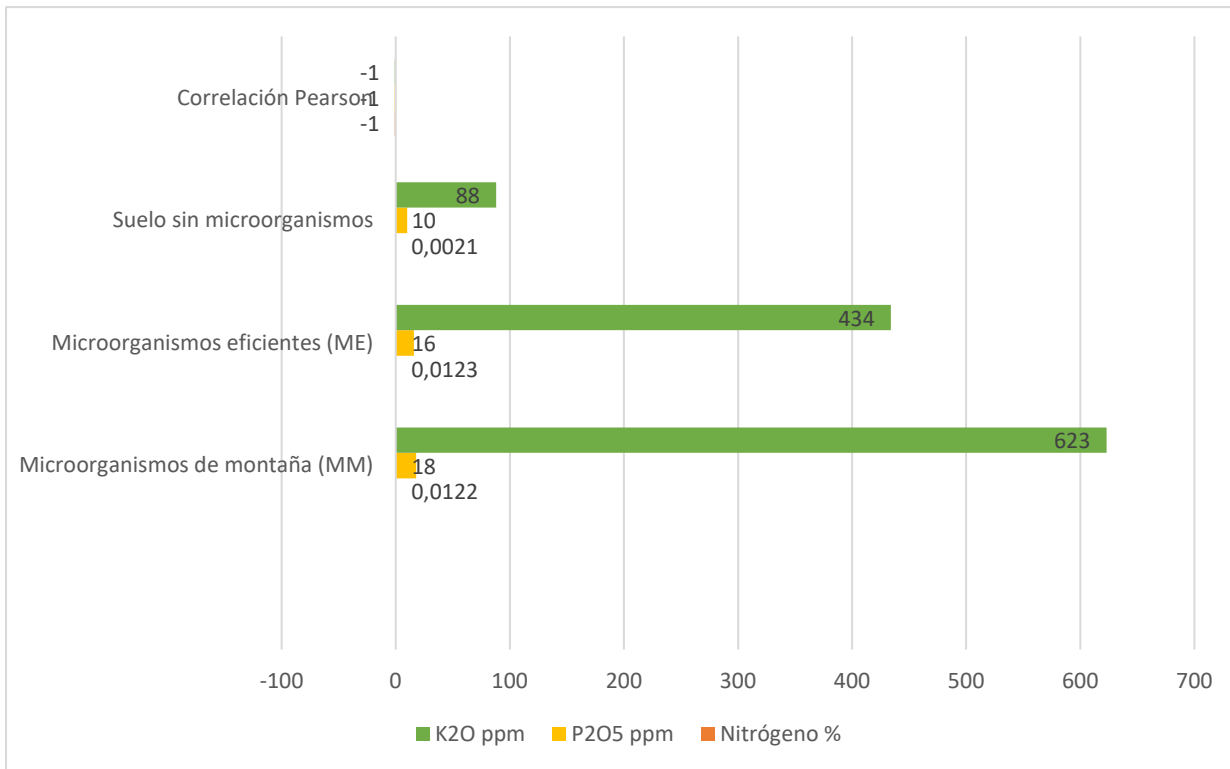
La correlación de Pearson de -1, de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y las inducciones generadas con microorganismos de montaña y microorganismos eficientes es una relación inversamente proporcional perfecta. Con los MM hay aumento significativo de la CE con relación al suelo sin tratamiento (0,0035 dS/m). La conductividad eléctrica inicial sin microorganismos sugiere el suelo con nivel mínimo de salinidad. Con respecto a la materia orgánica (MO %), la correlación de Pearson de -1, sugiere relación inversamente proporcional perfecta. Los microorganismos de montaña aumentan la materia orgánica en un 364 %; mientras que, los microorganismos eficientes aumentan la materia orgánica en un 296 %. La materia orgánica inicial de 0,05 %, dice un suelo con baja materia orgánica; es decir, se trata de suelo degradado o muy pobre en carbono orgánico (Figura 4).



**Figura 4. Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en Conductividad eléctrica (dS/m) y materia orgánica (MO %) del suelo.**

#### **Incidenca de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en nitrógeno N, fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y potasio K<sub>2</sub>O del suelo.**

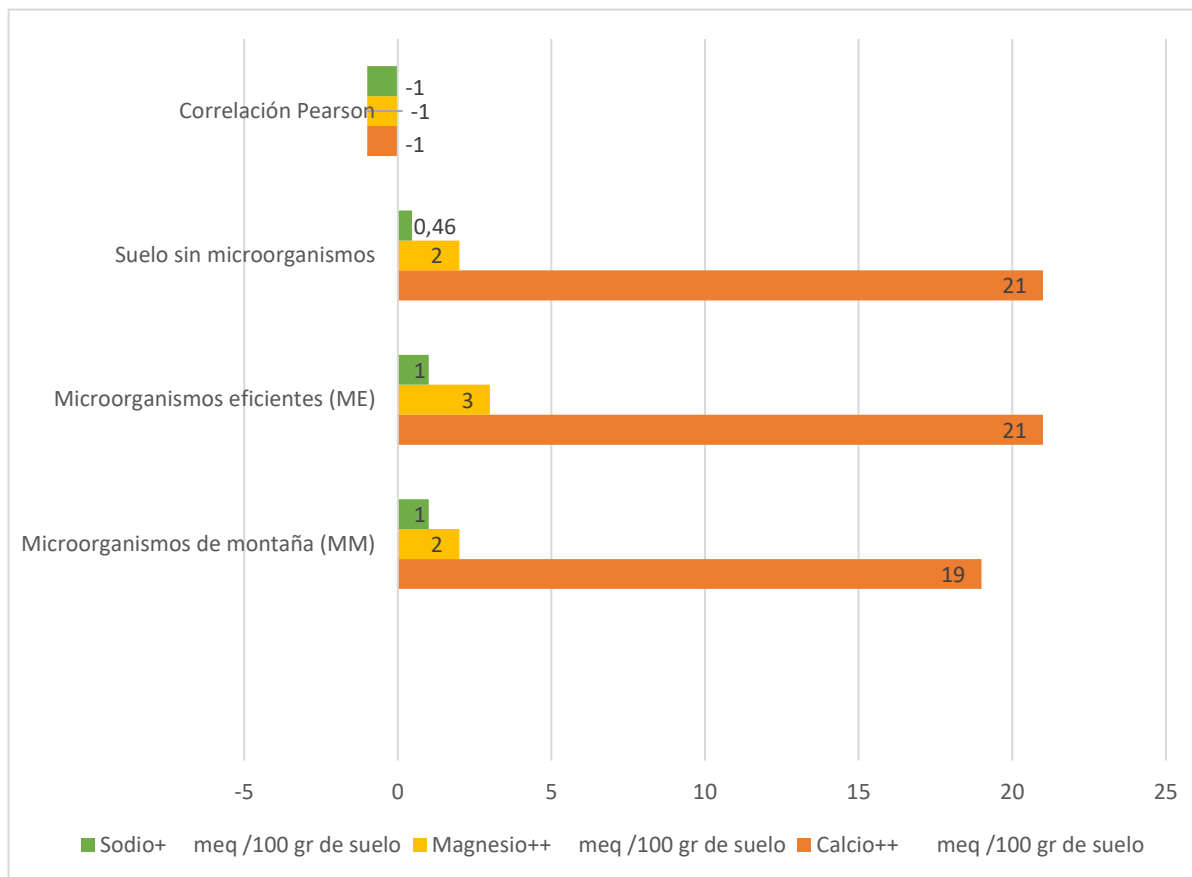
La correlación de Pearson -1, entre la variación de nitrógeno (N%) del suelo y la presencia de microorganismos de montaña y microorganismos eficientes es de relación inversa perfecta, quizá la acumulación de nitrógeno se debe al efecto de los microorganismos. Los microorganismos de montaña incrementan nitrógeno en 481 %; los microorganismos eficientes aumentan nitrógeno en 486 %. Al parecer, los microorganismos son potenciales herramientas para rehabilitar suelos degradados; aunque también, podría disminuir el uso de fertilizantes químicos, bajando costos e impacto ambiental. El nitrógeno inicial de 0,0021 %, es extremadamente bajo, típico de suelos degradados, con baja materia orgánica. La correlación de Pearson de -1, de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ppm) del suelo y microorganismos de montaña y microorganismos eficientes indica una relación inversa perfecta. Entonces, el cambio de fósforo se relaciona opuesta al contenido en suelos sin microorganismos. Los microorganismos de montaña aumentan fósforo en 83 %. Los microorganismos eficientes inducen al aumento de fósforo en 59 %. El fósforo inicial de 10 ppm es bajo, de suelos pobres. Los microorganismos podrían soltar fósforo de situaciones no disponibles, como fosfatos orgánicos o minerales insolubles, por medio de actividades bioquímicas, produciendo ácidos orgánicos, enzimas fosfatasas o actividad microbiana que solubiliza fósforo. La presencia disponible de fósforo inversamente relacionada hace entender la actividad favorable de los microorganismos como responsables del cambio en este elemento nutritivo, siendo la actividad microbiana buena para mejorar la fertilidad de suelos. La correlación de Pearson de -1, de potasio (K<sub>2</sub>O ppm) del suelo con microorganismos de montaña y microorganismos eficientes supone relación inversa perfecta. Los microorganismos de montaña aumentan potasio en 611 %. Los microorganismos eficientes aumentaron potasio en 395 %. El aumento de potasio disponible contraviene a niveles iniciales sin microorganismos, dando a entender que los microorganismos cumplen papel crucial en el aumento de potasio. El nivel inicial de potasio de 88 ppm es considerado bajo o moderado, por estándares de fertilidad del suelo para cultivos, estando vinculado a la textura y especificaciones del suelo. El potasio es un macroelemento fundamental en la planta, regula el agua, activa la enzima y ayuda en la fotosíntesis. Mejora la calidad de la planta, proporcionando tolerancia a efectos de enfermedades y estrés externo (Figura 5).



**Figura 5 .Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en nitrógeno N, fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y potasio K<sub>2</sub>O del suelo.**

### **Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) del suelo.**

La correlación de Pearson de -1 de calcio (Ca) en el suelo y la incorporación de microorganismos de montaña o microorganismos eficientes es relación inversa perfecta. La variación del calcio tiene dependencia de la interacción entre los microorganismos incorporados y el suelo inicial encontrado. Los microorganismos de montaña disminuyeron calcio en 8 %. Los microorganismos eficientes aumentaron calcio en 2 %. Los 21 meq/100 g de calcio es adecuado para suelos agrícolas. El calcio da fuerza las paredes de las células e interviene en la estructura del suelo. Las variaciones del calcio vislumbran influencias de los microorganismos en el movimiento de nutrientes del suelo. La correlación de Pearson de -1 de magnesio (Mg) y el empleo de microorganismos supone relación inversa perfecta que, observa participación directa y sólida de los microorganismos en los estándares de magnesio; pues, varían la dinámica de este nutriente. Los microorganismos de montaña bajan el magnesio en 4 %. Los microorganismos eficientes aumentan magnesio en 24 %. Los 2 meq/100 g de magnesio son de nivel moderado y propio para suelos agrícolas, pues, el magnesio es compuesto primordial de la clorofila e interviene en la fotosíntesis y otras actividades metabólicas de las plantas. La correlación de Pearson de -1 de sodio (Na) y microorganismos, dice relación inversa perfecta, dando a entender que, alguna modificación en la actividad de microorganismos conlleva al impacto inverso y proporcional contra otros parámetros del suelo influyentes en la existencia disponible de sodio. Los microorganismos de montaña aumentan sodio en 13 %. Los microorganismos eficientes aumentan sodio en 17 %. La cantidad de sodio 0,46 meq/100 g, es bajo, característico de suelos con bajo componente salino. Pero, el incremento de sodio con microorganismos podría iluminar alteraciones químicas durante el proceso de mineralización. El aumento de sodio en el suelo podría implicar que, los microorganismos de montaña y eficientes, estarían participando en la liberación de sodio, a partir de materia inorgánica o de materia orgánica (Figura 6).



**Figura 6. Incidencia de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) del suelo.**

### Valor actualizado neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), de producción de frijol con compost.

Con el uso de 3000 kg ha<sup>-1</sup> de compost se obtiene 2200 kg de frijol por hectárea frente a 900 kg de frijol por hectárea sin el uso de ningún tipo de abonamiento (Figura 7), generando un valor actualizado neto (VAN) positivo, implicando que, el proyecto es rentable; pues, genera un valor neto adicional de S/ 807, tomando en cuenta flujos de caja descontados al actual análisis. Esto dice que, el cultivo del frijol saldrá los costos de inversión inicial y además dará utilidad de S/ 807. Por su parte, la tasa interna de retorno del 24 % del proyecto, indica su rentabilidad; es decir, está en la capacidad de crear la tasa de retorno sobre la inversión y es económicamente viable (Figura 7).

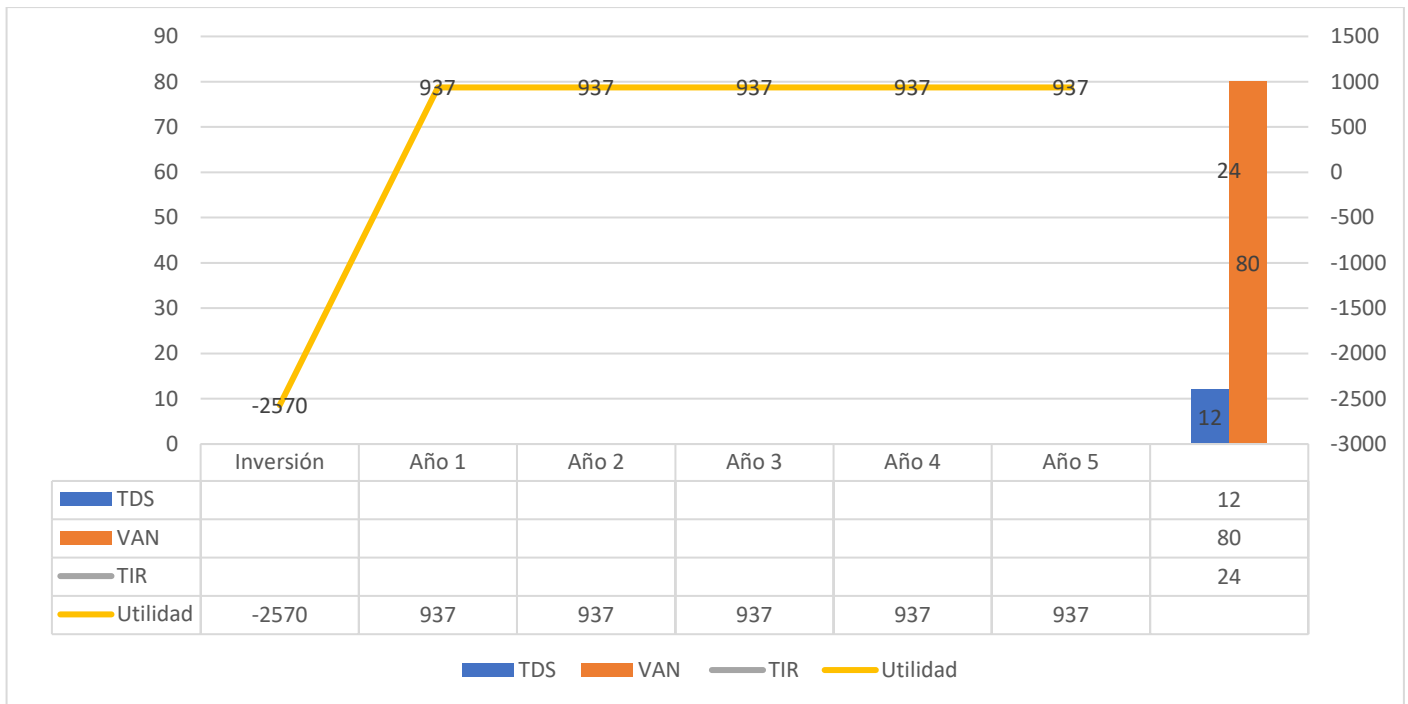


Figura 7. Valor actualizado neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), Producción de frijol con compost.

## DISCUSIÓN

La capacidad de respuesta microbiana a la fertilización a largo plazo disminuyó con tamaños de partículas más pequeños y que, especialmente, las fracciones de arcilla exhiben una alta capacidad de amortiguación que protege a las células microbianas contra cambios incluso después de 100 años bajo diferentes manejos agrícolas<sup>40</sup>. Se observó que la textura del compost con microorganismos de montaña y eficientes disminuyó en promedio del 10 %, además, se han observado cambios fisiológicos diferenciales en plantas inoculadas con aislados bacterianos a base de limo y arena. Estos datos podrían indicar que las partículas de menor tamaño podrían contener más bacterias con una mayor biodiversidad debido a que proporcionan más superficies para que crezcan las bacterias<sup>41</sup>. La clase textural se mantiene en franca arenosa en todos los casos con incorporación de MM y ME (Figura 1). Los requisitos de los microorganismos ambientales, especialmente las bacterias albergadas en el suelo son necesarias para su replicación y cultivo. Estos requisitos incluyen estímulos de reanimación, factores físicos (la textura) y químicos que ayudan al cultivo, factores de crecimiento<sup>42</sup>. El impacto significativo de la heterogeneidad textural en la riqueza de UTO bacterianas y fúngicas después de controlar el uso de la tierra, el carbono del suelo y el pH (n = 310)<sup>43</sup>. El aumento de la exudación de las raíces bajo niveles elevados de CO<sub>2</sub> atmosférico y los entornos contrastantes en los macro agregados y micro agregados del suelo podrían afectar las estrategias de crecimiento microbiano<sup>44</sup>. Las alteraciones en la estructura del suelo al cambiar la densidad aparente afectan la distribución del microorganismo dentro del suelo; la densidad aparente del compost incrementa en 2.09 % con microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME). El volumen de suelo explorado por el hongo aumentó con el aumento de la densidad aparente. Esto se asoció con un cambio de unos pocos espacios porosos grandes a poros de pequeña escala distribuidos más uniformemente. Las hifas fúngicas estaban presentes en todas las clases de porosidad dentro de cada densidad aparente, incluidas las áreas que contienen menos del 5 % de espacio poroso visible<sup>45</sup>. Hay una influencia abrumadora del pH del suelo en el ensamblaje de la comunidad filogenética de bacterias del suelo, incluso cuando está presente una gama de otros gradientes ambientales (Cho et al., 2019), muy por el contrario, para este estudio hay una disminución en promedio del 3 % para MM y ME. La aplicación de microorganismos efectivos (EMs) y/o nitrógeno (N) tienen un efecto estimulante en las plantas frente a condiciones de estrés abiótico<sup>46</sup>.

La conductividad eléctrica, el pH y el contenido de arcilla tienen la correlación más fuerte con la diversidad beta, y muchos de los taxones diferencialmente abundantes pertenecen a los filos Actino-bacteria y Proteo-bacteria<sup>47</sup>, con un incremento del 147 % para MM y 153% para ME en la conductividad eléctrica del compost. La proporción de carbono y nitrógeno (C/N) era el factor principal que afectaba la composición de la comunidad microbiana de la rizósfera mientras impulsaba la comunidad bacteriana distinta de la rizósfera y sus redes de co-ocurrencia<sup>20</sup>. El calentamiento como la deposición de N mostraron una disminución significativa en la fracción de C derivada de microbios en los suelos<sup>48</sup>, con 18 % de disminución con MM y 30 % con ME, posiblemente al incremento de temperatura que experimentó el proceso, mismo que se podía percibir por la intensidad de olores que emanaba el proceso de descomposición.

Las características de la MOS fueron el principal impulsor de la estructuración de las comunidades microbianas del suelo en todos los usos de la tierra, mientras que las comunidades bacterianas del suelo fueron más sensibles a las variaciones en las características geoquímicas y de la MOS en comparación con los hongos<sup>49</sup>, en el presente estudio la Mo se incrementa en más de 300 % con la incorporación de microorganismos montaña (MM) y más de 290 % con microorganismos eficientes (ME). La biomasa microbiana y la actividad enzimática son factores cruciales que afectan la actividad microbiana del suelo<sup>50</sup>, ya que, en la ausencia de estos microorganismos, el suelo sin proceso de compost experimenta solo un 0.0476 % de materia orgánica. Los microorganismos son capaces de movilizar bloques de construcción de biomasa (mono y oligómeros de ácidos grasos, aminoácidos, amino azúcares, nucleótidos) con la estequiometría adecuada de la necromasa microbiana en la MOS<sup>51</sup>.

La fijación biológica de nitrógeno puede aumentar el contenido de nitrógeno en el suelo entre 30 y 50 kg/ha/año<sup>52</sup>. Los resultados revelaron la mayor absorción de nitrógeno total en grano, nitrógeno total en paja y nitrógeno total en el cultivo de trigo para los tratamientos que recibieron 120 kg N ha<sup>-1</sup> de urea, seguido de los tratamientos que recibieron 50% N de urea + 50% N de PM + BM y 50% N de urea + 50% N de (FYM + PM) + BM (Muhammad et al., 2023); el estudio confirma que el nitrógeno del compost incrementó con más de 400 % con la incorporación de MM y ME. Las plantas y los microorganismos compiten intensamente por el nitrógeno (N) en muchas etapas del ciclo del N terrestre<sup>53</sup>. La aplicación de microorganismos efectivos (EMs) y/o nitrógeno (N) tienen un efecto estimulante en las plantas frente a condiciones de estrés abiótico<sup>46</sup> (Abdelkhalik et al., 2023). El nitrógeno microbiano del suelo se correlacionó negativamente con la densidad de arbustos de hoja perenne, lo que indica que la "arbustificación" puede haber intensificado la competencia de nutrientes entre las plantas y los microorganismos del suelo<sup>54</sup>.

El uso de microorganismos como inoculantes es un recurso viable para el futuro de la agricultura sostenible, principalmente porque su aplicación puede reducir significativamente la aplicación de P y, en consecuencia, reducir la explotación de fósforo y sus reservas<sup>55</sup>. Los microorganismos solubilizadores de fosfato tienen una enorme potencia como biofertilizantes, ya que aumentan la biodisponibilidad de fósforo para la planta, promueven la agricultura sostenible, mejoran la fertilidad del suelo y aumentan el rendimiento de los cultivos, en esta investigación, el fósforo (P<sub>205</sub>) se incrementa en 83 ppm con la incorporación de microorganismos montaña (MM) y aumenta 60 ppm con microorganismos eficientes (ME). El uso de microbios solubilizadores de fosfato se considera una nueva frontera para aumentar la productividad de las plantas<sup>56</sup>. La inoculación de B0<sub>2</sub> aumentó el rendimiento de grano en 696 kg ha<sup>-1</sup> usando el 50% de la dosis recomendada de fertilizante fosforado, fenocopiando el tratamiento completo de fertilización fosfatada sin inoculación<sup>57</sup>. La aplicación de bacterias solubilizadoras de K (KSB) y minerales portadores de K aumenta la cantidad de K disponible en el suelo y promueve la absorción de K por parte de las plantas<sup>58</sup>. El empleo de solubilizadores de potasio microbianos es un método eficiente para mejorar la disponibilidad de potasio en el suelo, lo que a su vez mejora la productividad<sup>59</sup>, en esta oportunidad, el potasio (K<sub>20</sub>) del compost incrementa 600 ppm con la afiliación de microorganismos montaña (MM) (623,09 ppm) y aumenta casi 400 ppm con microorganismos eficientes (ME). El cloruro de potasio es la fuente de potasio más utilizada a nivel mundial, y debido a su uso continuo, cada vez es más común la acumulación de sus sales en el suelo y en las plantas. El exceso de iones disponibles puede provocar una serie de alteraciones fisiológicas en los organismos y convertirse en biocida en el suelo<sup>60</sup>. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es un indicador básico de la productividad del suelo, ya que demuestra la idoneidad del suelo para proveer tres significativos nutrientes a los vegetales: calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), en este caso no existió una considerable diferenciación, la capacidad de intercambio

catiónico (CIC) del compost disminuye un 1 % con la incorporación de microorganismos montaña (MM) y aumenta más del 8 % con microorganismos eficientes (ME). La CIC de la materia orgánica varía de 35 a 165cmol(c) kg<sup>-1</sup> y por lo tanto representó del 10 al 85% de la CIC total del suelo en los horizontes superiores del suelo. En estos suelos arenosos desarrollados sobre granito o gneis que fueron frecuentemente afectados por alteración hidrotermal, la CIC de las fracciones limo y arena fue grande<sup>61</sup>. La mejor alternativa que pretende mejorar la calidad ambiental de los suelos erosionados como los del desierto de Zabrinsky: fue EM en dosis de 5% del agua del riego, mejorando el incremento de la CIC en el suelo, con la mezcla de los abonos orgánicos (compost, mulch y gallinaza) en dosis de una libra cada uno, y con la fertilización química, compuesta por manganeso electrolítico (0.0002g), cobre (0.0002g), zinc (0.0001g), URFOS 44 (166.66g) y klip-boro(5g)”<sup>62</sup>.

Las bacterias con actividad ureásica son microorganismos que se encuentran en el suelo y que, en presencia de urea y calcio, pueden producir carbonato de calcio, proceso conocido como precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente (MICP)<sup>63</sup>. En este caso el elemento cambiante calcio (Ca) del compost disminuye en promedio 7 % con la incorporación de MM aumenta casi 2 % con microorganismos eficientes. La precipitación de calcita inducida por microbios (MICP) es un proceso de cementación mediado por biotecnología que puede mejorar las propiedades de ingeniería de los suelos granulares a través de la precipitación de calcita<sup>64</sup>. La salinidad es un mecanismo complejo y en el ecosistema del suelo afecta tanto a los microorganismos como a las plantas, algunas de las cuales han desarrollado estrategias eficientes para paliar las condiciones de estrés salino<sup>65</sup>, el estudio demuestra que se incrementa con los MM y ME. Las bacterias solubilizadoras de potasio (KSB) podrían servir como inoculantes. Convierten el potasio insoluble en el suelo en una forma a la que las plantas pueden acceder. Esta es una estrategia prometedora para mejorar la absorción de potasio por parte de las plantas y, por lo tanto, reducir el uso de fertilizantes químicos<sup>58</sup>. Se libera más K en los tratamientos con bacterias liberadoras de K (KRB) que en los medios no inoculados (control), como es el caso, más del 600 % con ambos microorganismos.

La emisión de olores como amoníaco (NH<sub>3</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) durante el proceso de compostaje es un grave problema que afecta negativamente al medio ambiente ya la salud humana<sup>66</sup>. El proceso de compostaje convierte efectivamente los desechos de alimentos en compost dentro de los 21 días, con buenos niveles de aireación y humedad del sustrato y un proceso aeróbico”<sup>67</sup>. En cada etapa del proceso de descomposición, hay una variedad de diferentes compuestos orgánicos, cada uno con su propia característica de olor, a medida que un material orgánico se descompone produce grandes olores<sup>23</sup>. La integración del ciclo del carbono microbiano del suelo y sus factores impulsores son vitales para predecir y modelar con precisión los ciclos biogeoquímicos y abordar de manera eficaz los desafíos que plantea el cambio climático global (<sup>68</sup>). Los microorganismos son los principales descomponedores que impulsan la biotransformación de los residuos sólidos orgánicos y desempeñan un papel importante en el compostaje<sup>69</sup>. Estos biofertilizantes, con cepas microbianas seleccionadas capaces de prosperar en el compost, ofrecen una alternativa ecológica, rentable y sostenible para las prácticas agrícolas<sup>70</sup>. Los EM están compuestos por bacterias de ácido láctico, bacterias fotosintéticas, levaduras, hongos fermentadores y actinomicetos<sup>71</sup>. La relación C/N de cada sustrato se redujo gradualmente a 25-30:1 en 120 días y se mantuvo constante a partir de entonces<sup>72</sup>. La agricultura sostenible adopta un enfoque holístico de la agricultura al integrar tres objetivos clave: equidad social, rentabilidad económica y salud ambiental<sup>73</sup>. “Los microbios contribuyen significativamente a abordar estos desafíos a través del ciclo de nutrientes, la biorremediación, la gestión de residuos, la producción de energía renovable, la mitigación del cambio climático, el mantenimiento de la salud de los ecosistemas y la mejora de la agricultura y la seguridad alimentaria”<sup>74</sup>

---

## CONCLUSIONES

Esta investigación ha demostrado la efectividad del uso de microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (ME) en la descomposición de residuos orgánicos provenientes de juguerías, logrando un 98% de descomposición con MM y un 100% con ME en tan solo siete semanas. Este corto tiempo de

compostaje representa un avance significativo en el manejo eficiente de residuos orgánicos, ofreciendo una alternativa rápida y sostenible para su transformación en un recurso valioso como el compost.

Un hallazgo relevante es que el compost producto de los MM presenta mejores características nutricionales que el compost producto de los ME, especialmente en términos de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Este descubrimiento sugiere que los MM poseen una mayor capacidad para liberar y transformar nutrientes, lo que podría deberse a su adaptación a ambientes con condiciones extremas y a su potencial para la fijación biológica de nitrógeno.

Otro aspecto novedoso es la influencia diferencial de los MM y ME en las propiedades fisicoquímicas del compost, como la textura, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y salinidad. Estos resultados evidencian la importancia de la selección adecuada de microorganismos para optimizar el proceso de compostaje y obtener un producto con características específicas para su aplicación en la agricultura.

Además, se observó que la intensidad del olor durante el proceso de descomposición alcanza su punto máximo entre la tercera y quinta semana, tanto con MM como con ME. Esta información es crucial para el diseño y la gestión de sistemas de compostaje, permitiendo la implementación de estrategias para el control de olores y la minimización del impacto ambiental.

En resumen, este estudio aporta nuevos conocimientos sobre el potencial de los MM en el compostaje, demostrando su eficacia en la aceleración del proceso de descomposición y en la obtención de un compost de alta calidad nutricional. Asimismo, se identificaron diferencias significativas en la influencia de los MM y ME en las propiedades del compost, lo que abre nuevas líneas de investigación para la optimización del proceso y la selección de microorganismos con características específicas para diferentes aplicaciones.

**Contribuciones de los autores:** "Conceptualización, Karina Milagros Ordóñez Ruiz; metodología, Karina Milagros Ordóñez Ruiz; software; validación, Victor Hugo Oblitas Quiroz y Karina Milagros Ordóñez Ruiz; análisis formal, Luis Alberto Ordóñez Sánchez; investigación, Luis Alberto Ordóñez Sánchez; recursos, Luis Alberto Ordóñez Sánchez; curación de datos, Karina Milagros Ordóñez Ruiz; redacción: preparación del borrador original, Luis Alberto Ordóñez Sánchez; redacción: revisión y edición, Karina Milagros Ordóñez Ruiz; visualización, Victor Hugo Oblitas Quiroz; supervisión, Dina Marleny Huanaco Quispe; administración de proyectos, Dina Marleny Huanaco Quispe; adquisición de fondos, Luis Alberto Ordóñez Sánchez. Validación, Víctor Hugo Ordóñez Sánchez: Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito".

**Financiamiento:** "Esta investigación no recibió financiamiento externo".

**Declaración de la Junta de Revisión Institucional:** "No aplicable".

**Declaración de consentimiento informado:** "No aplicable".

**Declaración de disponibilidad de datos:** El estudio no informó ningún dato.

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

---

## REFERENCIAS

1. SINIA. Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarias de la ciudad de Moyobamba - Julio 2012 | SINIA. 2012. Accessed August 7, 2024. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estudio-caracterizacion-residuos-solidos-domiciliarias-ciudad>
2. Ma J, Zhang L, Mu L, Zhu K, Li A. Multivariate insights of bulking agents influence on co-biodrying of sewage sludge and food waste: Process performance, organics degradation and microbial community. *Sci Total Environ.* 2019;681:18-27. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.101

3. Zhang Y, Liang Z, Tang C, et al. Malodorous gases production from food wastes decomposition by indigenous microorganisms. *Sci Total Environ.* 2020;717:137175. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137175
4. Aldonate ML, Jiménez P, Ulla EL. Caracterización de rizobacterias nativas y su efecto en la promoción de crecimiento de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en condiciones controladas. *Rev Agronómica Noroeste Argent.* 2019;39(2):89-98.
5. Saha S, Jeon BH, Kurade MB, et al. Interspecies microbial nexus facilitated methanation of polysaccharidic wastes. *Bioresour Technol.* 2019;289:121638. doi:10.1016/j.biortech.2019.121638
6. Liang C, Das KC, McClendon RW. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresour Technol.* 2003;86(2):131-137. doi:10.1016/s0960-8524(02)00153-0
7. Tanya Morocho M, Leiva-Mora M, Tanya Morocho M, Leiva-Mora M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Cent Agríc.* 2019;46(2):93-103.
8. Joshi H, Somdutt, Choudhary P, Mundra SL. Role of Effective Microorganisms (EM) in Sustainable Agriculture. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 2019;8(3):172-181. doi:10.20546/ijcmas.2019.803.024
9. Zhu L, Zhao Y, Zhang W, et al. Roles of bacterial community in the transformation of organic nitrogen toward enhanced bioavailability during composting with different wastes. *Bioresour Technol.* 2019;285:121326. doi:10.1016/j.biortech.2019.121326
10. Qin R, Su C, Mo T, et al. Effect of excess sludge and food waste feeding ratio on the nutrient fractions, and bacterial and fungal community during aerobic co-composting. *Bioresour Technol.* 2021;320:124339. doi:10.1016/j.biortech.2020.124339
11. Avila GM de A, Gabardo G, Clock DC, Junior OS de L. Use of efficient microorganisms in agriculture. *Res Soc Dev.* 2021;10(8):e40610817515-e40610817515. doi:10.33448/rsd-v10i8.17515
12. Mahmood A, Iguchi R, Kataoka R. Fertilizante multifuncional para residuos alimentarios con capacidad de inhibición del crecimiento de *Fusarium* y solubilidad en fosfato: un nuevo horizonte para el reciclaje de residuos alimentarios utilizando microorganismos. *Waste Manag.* 2019;94:77-84. doi:10.1016/j.wasman.2019.05.046
13. Kulwa F, Li C, Zhao X, et al. A State-of-the-Art Survey for Microorganism Image Segmentation Methods and Future Potential. *IEEE Access.* 2019;7:100243-100269. doi:10.1109/ACCESS.2019.2930111
14. Sekhohola-Dlamini L, Tekere M. Microbiology of municipal solid waste landfills: a review of microbial dynamics and ecological influences in waste bioprocessing. *Biodegradation.* 2020;31(1-2):1-21. doi:10.1007/s10532-019-09890-x
15. Ferdeş M, Dincă MN, Moiceanu G, Zăbavă B Ștefania, Paraschiv G. Microorganisms and Enzymes Used in the Biological Pretreatment of the Substrate to Enhance Biogas Production: A Review. *Sustainability.* 2020;12(17):7205. doi:10.3390/su12177205

16. Palaniveloo K, Amran MA, Norhashim NA, et al. Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling. *Processes*. 2020;8(6):723. doi:10.3390/pr8060723
17. Pachiega R, Rodrigues MF, Rodrigues CV, et al. Hydrogen bioproduction with anaerobic bacteria consortium from brewery wastewater. *Int J Hydrog Energy*. 2019;44(1):155-163. doi:10.1016/j.ijhydene.2018.02.107
18. Mengqi Z, Shi A, Ajmal M, Ye L, Awais M. Comprehensive review on agricultural waste utilization and high-temperature fermentation and composting. *Biomass Convers Biorefinery*. 2023;13(7):5445-5468. doi:10.1007/s13399-021-01438-5
19. Sun C, Wei Y, Kou J, et al. Improve spent mushroom substrate decomposition, bacterial community and mature compost quality by adding cellulase during composting. *J Clean Prod*. 2021;299:126928. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126928
20. Zhu R, Liu C, Xu YD, et al. Ratio of carbon and nitrogen in fertilizer treatment drives distinct rhizosphere microbial community composition and co-occurrence networks. *Front Microbiol*. 2022;13. doi:10.3389/fmicb.2022.968551
21. Ghinea C, Leahu A. Monitoring of Fruit and Vegetable Waste Composting Process: Relationship between Microorganisms and Physico-Chemical Parameters. *Processes*. 2020;8(3):302. doi:10.3390/pr8030302
22. Wan L, Wang X, Cong C, et al. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. *Bioresour Technol*. 2020;301:122730. doi:10.1016/j.biortech.2019.122730
23. Ayilara MS, Olanrewaju OS, Babalola OO, Odeyemi O. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*. 2020;12(11):4456. doi:10.3390/su12114456
24. Liu H, Tan X, Guo J, Liang X, Xie Q, Chen S. Bioremediation of oil-contaminated soil by combination of soil conditioner and microorganism. *J Soils Sediments*. 2020;20(4):2121-2129. doi:10.1007/s11368-020-02591-6
25. Hamid HA, Qi LP, Harun H, et al. Development of Organic Fertilizer from Food Waste by Composting in UTHM Campus Pagoh. *J Appl Chem Nat Resour*. 2019;1(1). Accessed August 7, 2024. <https://fazpublishing.com/jacnar/index.php/jacnar/article/view/4>
26. Chew KW, Chia SR, Yen HW, Nomanbhay S, Ho YC, Show PL. Transformation of Biomass Waste into Sustainable Organic Fertilizers. *Sustainability*. 2019;11(8):2266. doi:10.3390/su11082266
27. Carlessi S, Meza R. Metodología y Diseños en la Investigación Científica. 5ta ed. [Internet]. [lugar desconocido]: [editor desconocido]; 2015 [citado 31 de julio de 2024]. Disponible en: [https://www.academia.edu/78002369/METODOLOG%C3%8DA\\_Y\\_DISE%C3%91OS\\_EN\\_LA\\_INVESTIGACI%C3%93N\\_CIENT%C3%8DFICA](https://www.academia.edu/78002369/METODOLOG%C3%8DA_Y_DISE%C3%91OS_EN_LA_INVESTIGACI%C3%93N_CIENT%C3%8DFICA)
28. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España; 2014. Accessed August 1, 2024. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

29. Fomina M, Skorochood I. Microbial Interaction with Clay Minerals and Its Environmental and Biotechnological Implications. *Minerals*. 2020;10(10):861. doi:10.3390/min10100861
30. Dlamini P, Sekhohola-Dlamini LM, Cowan AK. Editorial: Soil-microbial interactions. *Front Microbiol*. 2023;14. doi:10.3389/fmicb.2023.1213834
31. Ontman R, Groffman PM, Driscoll CT, Cheng Z. Surprising relationships between soil pH and microbial biomass and activity in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry*. 2023;163(3):265-277. doi:10.1007/s10533-023-01031-0
32. Lee YH, Ahn BK, Sonn YK. Effects of Electrical Conductivity on the Soil Microbial Community in a Controlled Horticultural Land for Strawberry Cultivation. *Korean J Soil Sci Fertil*. 2011;44(5):830-835. doi:10.7745/KJSSF.2011.44.5.830
33. Karhu K, Alaei S, Li J, Merilä P, Ostonen I, Bengtson P. Microbial carbon use efficiency and priming of soil organic matter mineralization by glucose additions in boreal forest soils with different C:N ratios. *Soil Biol Biochem*. 2022;167:108615. doi:10.1016/j.soilbio.2022.108615
34. Manral V, Bargali K, Bargali SS, Karki H, Chaturvedi RK. Seasonal Dynamics of Soil Microbial Biomass C, N and P along an Altitudinal Gradient in Central Himalaya, India. *Sustainability*. 2023;15(2):1651. doi:10.3390/su15021651
35. Mo L, Zanella A, Bolzonella C, et al. Land Use, Microorganisms, and Soil Organic Carbon: Putting the Pieces Together. *Diversity*. 2022;14(8):638. doi:10.3390/d14080638
36. Ouyang N, Zhang P, Zhang Y, et al. Cation Exchange Properties of Subsurface Soil in Mid-Subtropical China: Variations, Correlation with Soil-Forming Factors, and Prediction. *Agronomy*. 2023;13(3):741. doi:10.3390/agronomy13030741
37. Chávez Barrientos N. Efecto de microorganismos eficientes en la disponibilidad de fósforo y rendimiento del cacao a 560 msnm - Kimbiri - Cusco. Published online 2018. Accessed August 7, 2024. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3267>
38. Mazahar S, Umar S. Soil Potassium Availability and Role of Microorganisms in Influencing Potassium Availability to Plants. In: Iqbal N, Umar S, eds. *Role of Potassium in Abiotic Stress*. Springer Nature; 2022:77-87. doi:10.1007/978-981-16-4461-0\_4
39. Sarikhani MR, Oustan S, Ebrahimi M, Aliasgharzad N. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *Eur J Soil Sci*. 2018;69(6):1078-1086. doi:10.1111/ejss.12708
40. Neumann D, Heuer A, Hemkemeyer M, Martens R, Tebbe CC. Response of microbial communities to long-term fertilization depends on their microhabitat. *FEMS Microbiol Ecol*. 2013;86(1):71-84. doi:10.1111/1574-6941.12092
41. Zakavi M, Askari H, Shahrooei M. Characterization of bacterial diversity between two coastal regions with heterogeneous soil texture. *Sci Rep*. 2022;12(1):18901. doi:10.1038/s41598-022-23487-0

42. Kapinusova G, Lopez Marin MA, Uhlik O. Reaching unreachables: Obstacles and successes of microbial cultivation and their reasons. *Front Microbiol.* 2023;14. doi:10.3389/fmicb.2023.1089630
43. Seaton FM, George PBL, Lebron I, Jones DL, Creer S, Robinson DA. Soil textural heterogeneity impacts bacterial but not fungal diversity. *Soil Biol Biochem.* 2020;144:107766. doi:10.1016/j.soilbio.2020.107766
44. Dorodnikov M, Blagodatskaya E, Blagodatsky S, Fangmeier A, Kuzyakov Y. Stimulation of r - vs. K - selected microorganisms by elevated atmospheric CO<sub>2</sub> depends on soil aggregate size. *FEMS Microbiol Ecol.* 2009;69(1):43-52. doi:10.1111/j.1574-6941.2009.00697.x
45. Harris K, Young IM, Gilligan CA, Otten W, Ritz K. Effect of bulk density on the spatial organisation of the fungus *Rhizoctonia solani* in soil. *FEMS Microbiol Ecol.* 2003;44(1):45-56. doi:10.1111/j.1574-6941.2003.tb01089.x
46. Abdelkhalik A, Abd El-Mageed TA, Mohamed IAA, et al. Soil application of effective microorganisms and nitrogen alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annum* L.) plants. *Front Plant Sci.* 2023;13. doi:10.3389/fpls.2022.1079260
47. O'Brien FJM, Almaraz M, Foster MA, et al. Soil Salinity and pH Drive Soil Bacterial Community Composition and Diversity Along a Lateritic Slope in the Avon River Critical Zone Observatory, Western Australia. *Front Microbiol.* 2019;10. doi:10.3389/fmicb.2019.01486
48. Liang C, Balsler TC. Warming and nitrogen deposition lessen microbial residue contribution to soil carbon pool. *Nat Commun.* 2012;3(1):1222. doi:10.1038/ncomms2224
49. Bahadori M, Wang JT, Shen J pei, Lewis S, Rezaei Rashti M, Chen C. Soil organic matter and geochemical characteristics shape microbial community composition and structure across different land uses in an Australian wet tropical catchment. *Land Degrad Dev.* 2022;33(6):817-831. doi:10.1002/ldr.4174
50. Qu R, Liu G, Yue M, et al. Soil temperature, microbial biomass and enzyme activity are the critical factors affecting soil respiration in different soil layers in Ziwuling Mountains, China. *Front Microbiol.* 2023;14. doi:10.3389/fmicb.2023.1105723
51. Kästner M, Miltner A, Thiele-Bruhn S, Liang C. Microbial Necromass in Soils—Linking Microbes to Soil Processes and Carbon Turnover. *Front Environ Sci.* 2021;9. doi:10.3389/fenvs.2021.756378
52. Grzyb A, Wolna-Maruwka A, Niewiadomska A. The Significance of Microbial Transformation of Nitrogen Compounds in the Light of Integrated Crop Management. *Agronomy.* 2021;11(7):1415. doi:10.3390/agronomy11071415
53. Farrell M, Prendergast-Miller M, Jones DL, Hill PW, Condon LM. Soil microbial organic nitrogen uptake is regulated by carbon availability. *Soil Biol Biochem.* 2014;77:261-267. doi:10.1016/j.soilbio.2014.07.003

54. Stark S, Kumar M, Myrsky E, et al. Decreased Soil Microbial Nitrogen Under Vegetation 'Shrubification' in the Subarctic Forest–Tundra Ecotone: The Potential Role of Increasing Nutrient Competition Between Plants and Soil Microorganisms. *Ecosystems*. 2023;26(7):1504-1523. doi:10.1007/s10021-023-00847-z
55. Silva LI da, Pereira MC, Carvalho AMX de, Buttrós VH, Pasqual M, Dória J. Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. *Agriculture*. 2023;13(2):462. doi:10.3390/agriculture13020462
56. Timofeeva A, Galyamova M, Sedykh S. Prospects for Using Phosphate-Solubilizing Microorganisms as Natural Fertilizers in Agriculture. *Plants*. 2022;11(16):2119. doi:10.3390/plants11162119
57. Beltran-Medina I, Romero-Perdomo F, Molano-Chavez, Lady, Gutiérrez AY, Silva AMM, Estrada-Bonilla G. Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria improves soil phosphorus mobilization and maize productivity. *Nutr Cycl Agroecosystems*. 2023;126(1):21-34. doi:10.1007/s10705-023-10268-y
58. Zhang C, Kong F. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Appl Soil Ecol*. 2014;82:18-25. doi:10.1016/j.apsoil.2014.05.002
59. Olaniyan FT, Alori ET, Adekiya AO, et al. The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. *Ann Microbiol*. 2022;72(1):45. doi:10.1186/s13213-022-01701-8
60. Pereira DGC, Santana IA, Megda MM, Megda MXV. Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. *Ciênc Rural*. 2019;49:e20180556. doi:10.1590/0103-8478cr20180556
61. Turpault MP, Bonnaud P, Fighter J, Ranger J, Dambrine E. Distribution of cation exchange capacity between organic matter and mineral fractions in acid forest soils (Vosges mountains, France). *Eur J Soil Sci*. 1996;47(4):545-556. doi:10.1111/j.1365-2389.1996.tb01854.x
62. Barragán OAD, Robayo DMM, Caballero JAL. Revista Colombia Forestal. *Colomb For*. 2009;12(1):141-160. doi:10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2009.1.a10
63. Chaparro-Acuña SP, Becerra-Jiménez ML, Martínez-Zambrano JJ, Rojas-Sarmiento HA. Soil bacteria that precipitate calcium carbonate: mechanism and applications of the process. *Acta Agronómica*. 2018;67(2):277-288. doi:10.15446/acag.v67n2.66109
64. Gomez MG, Graddy CMR, DeJong JT, Nelson DC. Biogeochemical Changes During Bio-cementation Mediated by Stimulated and Augmented Ureolytic Microorganisms. *Sci Rep*. 2019;9(1):11517. doi:10.1038/s41598-019-47973-0
65. Mokrani S, Nabti E hafid, Cruz C. Recent Trends in Microbial Approaches for Soil Desalination. *Appl Sci*. 2022;12(7):3586. doi:10.3390/app12073586

66. Nguyen MK, Lin C, Hoang HG, et al. Investigation of biochar amendments on odor reduction and their characteristics during food waste co-composting. *Sci Total Environ.* 2023;865:161128. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.161128
67. Margaritis M, Dimos V, Malamis D, Loizidou M. An experimental investigation of the composting process in an innovative home composting System: The influence of additives. *Clean Mater.* 2023;8:100185. doi:10.1016/j.clema.2023.100185
68. Wu H, Cui H, Fu C, et al. Unveiling the crucial role of soil microorganisms in carbon cycling: A review. *Sci Total Environ.* 2024;909:168627. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168627
69. Pei Yuan R, Yanbing L, Siqi H. Role of microbes and microbial dynamics during composting. In: *ResearchGate.* ; 2023. doi:10.1016/B978-0-323-91874-9.00011-5
70. Ahmed T, Noman M, Qi Y, et al. Fertilization of Microbial Composts: A Technology for Improving Stress Resilience in Plants. *Plants.* 2023;12(20):3550. doi:10.3390/plants12203550
71. (PDF) EFFECTIVE MICROORGANISMS: A REVIEW OF THEIR PRODUCTS AND USES. *ResearchGate.* Published online October 22, 2024. doi:10.5455/NJEAS.147954
72. Pan I, Dam B, Sen SK. Composting of common organic wastes using microbial inoculants. *3 Biotech.* 2012;2(2):127-134. doi:10.1007/s13205-011-0033-5
73. Kodaparthy A de, Venkateswar Reddy K, Kehkashan L, Venkatesh Belli M. Conservación ambiental para una agricultura sostenible | Solicitar PDF. January 2024. Accessed December 1, 2024. [https://www.researchgate.net/publication/378487181\\_Environmental\\_Conservation\\_for\\_Sustainable\\_Agriculture](https://www.researchgate.net/publication/378487181_Environmental_Conservation_for_Sustainable_Agriculture)
74. Muhammad Muhammad S. (PDF) Unveiling the Roles of Microorganisms in Promoting Environmental Sustainability. *ResearchGate.* 2024;63-74. doi:10.58578/AJSTEA.v1i1.1783

**Received:** November 27, 2024 / **Accepted:** December 7 2025 / **Published:** March 15 2025

**Citation:** Ordóñez-Ruiz KM, Ordóñez-Sánchez LA, Oblitas-Quiroz VH, Chuquimbalqui-Marina D, Huancaco-Quispe DM, Navarro-Reategui JM, Ordóñez-Sánchez VH. Comparación de la eficiencia de microorganismos eficientes y de montaña en el compostaje de residuos orgánicos. *Bionatura Journal.* 2025;2 (1):7. doi: 10.70099/BJ/2025.02.01.7

**Información adicional** La correspondencia debe dirigirse a [kordonez@unah.edu.pe](mailto:kordonez@unah.edu.pe)

**Información de revisión por pares.** Bionatura agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

**ISSN.3020-7886**

Todos los artículos publicados por Bionatura Journal son de libre y permanente acceso en línea inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

**Nota del editor:** La revista Bionatura se mantiene neutral en lo que respecta a las reclamaciones jurisdiccionales en los mapas publicados y las afiliaciones institucionales.

**Derechos de autor:** © 2024 por los autores. Se presentaron para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).