

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS ASOCIADOS A  
LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN ZONAS DEGRADADAS POR ACTIVIDAD  
AGRÍCOLA EN LA SUB-CUENCA DEL CUMBAZA EN SAN MARTÍN**

**Tesis**

**Para optar el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS,  
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS VERDE GIRBAU**

**Asesor:**

**Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO**

**Tingo María – Perú**

**2023**



**“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Nro. 003-2023-UP-FA-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 9:00 a.m., del miércoles 18 de octubre de 2023, reunidos en la sala de audiovisuales de la Facultad de Agronomía, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS ASOCIADOS A  
LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN ZONAS DEGRADADAS POR ACTIVIDAD  
AGRÍCOLA EN LA SUB-CUENCA DEL CUMBAZA EN SAN MARTÍN”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agrícolas, mención: Agricultura Sostenible, Ing. **CARLOS VERDE GIRBAU**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **aprobado** con el calificativo de **Muy bueno**.

Acto seguido, a horas 11:10 a.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....  
M. Sc. JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA  
**Presidente del Jurado**

.....  
Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO  
**Miembro del Jurado**

.....  
M. Sc. JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATIAS  
**Miembro del Jurado**

.....  
Dr. JOSE WILEREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
**Asesor**





"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 055 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

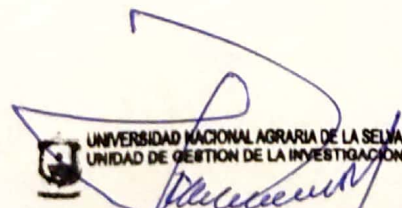
Maestría en Agricultura Sostenible

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS ASOCIADOS A LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN ZONAS DEGRADADAS POR ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LA SUBCUENCA DEL CUMBAZA EN SAN MARTÍN	CARLOS VERDE GIRBAU	<b>14 %</b> <b>Catorce</b>

Tingo María, 16 de febrero de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
-----  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO  
ACADÉMICO DE MAESTRO**

<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Facultad</b>	: Facultad de Agronomía
<b>Título de Tesis</b>	: Inoculación de microorganismos benéficos asociados a leguminosas de cobertura en zonas degradadas por actividad agrícola en la Sub-Cuenca del Cumbaza en San Martín.
<b>Autor</b>	: Carlos Verde Girbau
<b>Asesor</b>	: Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano Dr. Winston Franz Ríos Ruiz
<b>Maestría y Mención</b>	: Ciencias Agrícolas / Mención Agricultura Sostenible
<b>Área de Investigación</b>	: Suelos y fertilizantes
<b>Eje temático de investigación</b>	: Microorganismos y leguminosas para recuperación de suelos degradados.
<b>Lugar de Ejecución</b>	: Sub cuenca del Cumbaza (Aucaloma y Chirikyacu), provincia de Lamas, región de San Martín
<b>Duración</b>	: 16 meses
<b>Inicio</b>	: agosto de 2019
<b>Culminación</b>	: noviembre de 2021
<b>Financiamiento</b>	: S/ 5 800,00 soles
<b>Concytec</b>	: SI
<b>Propio</b>	: SI
<b>Otros</b>	: NO

**Tingo María – Perú - Febrero, 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRICOLAS  
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS ASOCIADOS A  
LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN ZONAS DEGRADADAS POR ACTIVIDAD  
AGRÍCOLA EN LA SUB-CUENCA DEL CUMBAZA EN SAN MARTÍN**

<b>Autor</b>	: Carlos Verde Girbau
<b>Asesor (es)</b>	: Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano : Dr. Winston Franz Ríos Ruiz
<b>Área de investigación</b>	: Suelos y fertilizantes
<b>Línea de investigación</b>	: Fertilización, clasificación y manejo de suelo
<b>Eje temático</b>	: Microorganismos y leguminosas para recuperación de suelos degradados.
<b>Lugar de Ejecución</b>	: Sub cuenca del Cumbaza (Aucaloma y Chirikyacu), provincia de Lamas, región de San Martín
<b>Duración</b>	: 16 meses
<b>Inicio</b>	: agosto de 2019
<b>Culminación</b>	: noviembre de 2021
<b>Financiamiento</b>	: Monto S/ 5 800,00
<b>Concytec</b>	: SI
<b>Propio</b>	: SI
<b>Otros</b>	: NO

**Tingo María – Perú. 2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, que diariamente me ilumina, me provee de sabiduría, fuerza y fortaleza para expandir mi inteligencia académica y tener acceso a las mejores oportunidades en el área.

A mi amada esposa Janeth, a mis hijos Thony Fred, Jurgent y Gerald por su compañía y apoyo moral; que Dios los guarde y los conserve siempre.

## AGRADECIMIENTO

- A La Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a los estimados docentes del Programa de Maestría en Ciencias Agrícolas - Mención en Agricultura Sostenible, cuyos invaluable aportes han potenciado mi crecimiento tanto intelectual como personal.
- Al CONCYTEC, por financiar el presente trabajo de investigación en el marco del proyecto de investigación denominado "Restauración de suelos degradados por agricultura migratoria utilizando microorganismos benéficos asociados a plantas de cobertura en la zona de protección de la subcuenca Cumbaza, en San Martín". Este financiamiento se realiza a través del Convenio 150-2015 FONDECYT. Los resultados de esta investigación jugarán un papel importante en el desarrollo agrícola de la región de San Martín.
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, deseo expresar mi gratitud por asesorarme durante el desarrollo del proyecto de investigación y en la redacción general y revisión del presente documento.
- Al Equipo de co-asesores del presente trabajo de investigación y a todos los miembros del equipo de investigación de los laboratorios de Microbiología Agrícola "Raúl Ríos Reátegui" y de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM-T, donde se desarrolló la parte de laboratorio del proyecto.
- A mi amada esposa Janeth y mis queridos hijos Thony Fred, Jurgent Friedrich y Gerald Gerd por su comprensión, amor y compañía constante. La interacción familiar que nos caracteriza ha sido fundamental para mantenerme motivado y enfocado en alcanzar este importante logro académico. ¡Muchas gracias por su apoyo incondicional!

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Subcuenca del Cumbaza .....	3
2.2 Degradación de suelos .....	5
2.3 Plantas de cobertura en recuperación de suelos degradados .....	8
2.3.1. <i>Cajanus cajan</i> .....	8
2.3.2. <i>Canavalia ensiformes</i> .....	10
2.3.3. <i>Crotalaria juncea</i> .....	12
2.3.4. <i>Vigna unguiculata</i> .....	14
2.4 Importancia de los microorganismos benéficos .....	17
2.5 Indicadores de calidad de suelos.....	20
2.5.1. Respiración basal de suelos .....	20
2.5.2. Biomasa microbiana .....	21
2.5.3. Actividad fosfatasa de un suelo .....	22
2.5.4. Actividad ureasa del suelo .....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
3.1 Ubicación del experimento .....	26
3.2 Materiales y equipos .....	27
3.3 Metodología.....	27
3.3.1 Antecedentes de parcelas .....	27
3.3.2 Instalación de parcelas .....	28
3.3.3 Tratamientos en estudio .....	28
3.3.4 Diseño experimental .....	34
3.3.5 Diseño de subparcelas.....	35
3.3.6 Selección de leguminosas y microorganismos .....	37
3.3.7 Muestreo de suelos.....	38
3.3.8 Primera evaluación .....	39
3.3.9 Segunda evaluación .....	40
3.3.10 Tercera evaluación.....	40



3.3.11 Manejo de muestras colectadas.....	41
3.3.12 Propiedades físicas del suelo .....	41
3.3.13 Análisis fisicoquímicos de suelos .....	42
3.3.14 Análisis microbiológicos .....	43
3.3.15 Determinación de actividades enzimáticas .....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Influencia de las leguminosas sobre las propiedades químicas del suelo...	47
4.1.1. Materia orgánica (%) .....	47
4.1.2. Nitrógeno (N).....	52
4.1.3. Fósforo (P) .....	58
4.1.4. Potasio (K) .....	63
4.2. Influencia de las leguminosas sobre los parámetros microbiológicos del suelo	69
4.2.1. Biomasa microbiana .....	69
4.2.2. Respiración basal .....	75
4.2.3. Actividad de ureasa.....	82
4.2.4. Actividad de fosfatasa.....	90
V. CONCLUSIONES .....	99
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	101
VII. REFERENCIAS .....	102
ANEXOS .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Relación de materiales y equipos utilizados en el proyecto.....	27
2. Tratamientos en estudio del trabajo de investigación .....	31
3. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a materia orgánica. .	47
4. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de materia orgánica por tratamiento.....	49
5. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a nitrógeno.....	53
6. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de nitrógeno.....	56
7. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a fósforo.....	58
8. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de fósforo. ....	61
9. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a potasio.....	63
10. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de potasio. ....	66
11. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a biomasa microbiana.....	69
12. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de biomasa microbiana.....	72
13. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a respiración basal. .	76
14. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de respiración basal.....	78
15. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a ureasa.....	83
16. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de ureasa.....	86
17. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a fosfatasa.....	90
18. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de fosfatasa.....	94
19. Análisis físicoquímico de suelos de Aucasoma, 1ra Evaluación.....	128
20. Análisis físicoquímico de suelos de Aucasoma, 2da Evaluación,.....	129
21. Análisis físicoquímico de suelos de Aucasoma, 3ra Evaluación,.....	130
22. Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 1ra Evaluación, .....	131
23. Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 2da Evaluación,.....	132
24. Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 3ra Evaluación, .....	133
25. Análisis de respiración basal de suelos de Chirikyacu y Aucasoma, .....	136
26. Análisis de biomasa microbiana de Chirikyacu y Aucasoma,.....	137
27. Análisis de fosfatasa de suelos de Chirikyacu y Aucasoma,.....	138
28. Análisis de ureasa de suelos de Chirikyacu y Aucasoma, .....	139
29. Análisis de varianza para % materia orgánica zona Chirikyacu .....	141

30. Análisis de varianza para % materia orgánica zona Aucaloma .....	141
31. Análisis de varianza para % de nitrógeno zona Chirikyacu.....	141
32. Análisis de varianza para % de nitrógeno zona Aucaloma .....	142
33. Análisis de varianza para ppm de fósforo zona Chirikyacu.....	142
34. Análisis de varianza para ppm de fósforo zona Aucaloma .....	142
35. Análisis de varianza para ppm de potasio zona Chirikyacu.....	143
36. Análisis de varianza para ppm de potasio zona Aucaloma .....	143
37. Análisis de varianza para biomasa microbiana zona Chirikyacu.....	143
38. Análisis de varianza para biomasa microbiana zona Aucaloma .....	144
39. Análisis de varianza para respiración basal zona Chirikyacu .....	144
40. Análisis de varianza para respiración basal zona Aucaloma .....	144
41. Análisis de varianza para actividad enzimática ureasa zona Chirikyacu .....	145
42. Análisis de varianza para actividad enzimática ureasa zona Aucaloma .....	145
43. Análisis de varianza para actividad enzimática fosfatasa zona Chirikyacu ....	145
44. Análisis de varianza para actividad enzimática fosfatasa zona Aucaloma .....	146

## INDICE DE FIGURA

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Ubicación del campo experimental.....	26
2. Resumen de cantidad de fertilizante, abono y enmienda utilizado. ....	31
3. Diseño de parcela sub – dividida con 3 repeticiones. ....	33
4. Diseño de subparcela A.....	35
5. Diseño de subparcela B.....	35
6. Diseño de subparcela AB. ....	36
7. Cantidad de semillas por las 2 zonas de estudio. ....	36
8. Cantidad de semilla sin inóculo. ....	37
9. Materia orgánica en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma. ....	48
10. Materia orgánica del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasom.....	50
11. Nitrógeno en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma. ....	54
12. Nitrógeno del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma. ....	56
13. Fósforo en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.....	59
14. Fósforo del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.....	61
15. Potasio en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.....	64
16. Potasio del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.....	67
17. Biomasa microbiana en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma. ....	70
18. Biomasa microbiana del suelo en los diferentes tratamientos Chirikyacu y Aucasoma.....	72
19. Respiración basal en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma. ....	76
20. Respiración basal del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasom.....	79
21. Actividad de ureasa en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma. ....	83

22.	Actividad de ureasa del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucaloma. ....	87
23.	Actividad de fosfatasa en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucaloma. ....	91
24.	Actividad de fosfatasa del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucaloma. ....	95
25.	Semillas instaladas: A: Canavalia ensiformes; B: Vigna unguiculata C: Crotalaria juncea D: Cajanus cajan .....	120
26.	A: Hongos micorrízicos arbusculares; B: Semillas; C: Incorporación de HMA; D: Siembra Leguminosa.....	120
27.	Incorporación de A: Vigna unguiculata; B: Canavalia ensiformes; C: Cajanus cajan; D: Crotalaria juncea .....	121
28.	Imágenes de visita del Dr. Huamaní verificación de ejecución del proyecto .....	121
29.	Imágenes de visita del Dr. Huamaní verificación de ejecución del proyecto .....	122
30.	Determinación de respiración basal A, B y C: Titulación; D: Captura de CO <sub>2</sub> ....	122
31.	Determinación de Biomasa Microbiana A: Frascos para secado e incubado C: Estufa de secado B y D: Titulación .....	123
32.	Determinación de Ureasa A: Tubos con sedimento B y C: Centrifugación D: Lectura espectrofotómetro.....	123
33.	Determinación de fosfatasa A: Tubos con sedimento B y C: Centrifugación D: Lectura espectrofotómetro. ....	124
34.	Muestras de suelos A: Muestras para determinaciones Microbiológicas; B: Muestras para Análisis de suelos fisicoquímicos. ....	124
35.	A: Determinación de pH y Conductividad Eléctrica; B y D: Digestores de muestras.....	125
36.	A: Espectrofotómetro Uv visible para fósforo: B: Determinación de textura C: Espectrofotómetro de absorción atómica determinación de (K, Ca, Mg y Na); D: Agitador por inducción de muestras. ....	125
37.	A, B y C: Término de digestión ácida en digestor Microkjendhal; D: Destilador de nitrógeno .....	126
38.	B: Espectrofotómetro de absorción atómica para determinación de metales (K, Ca, Mg y Na); A: Software del equipo de absorción atómica.....	126
39.	A: Determinación de textura por Bouyoucos; B y C: Agitadores por inducción magnética. ....	127

40.	Análisis inicial de caracterización de suelos Chirikyaku.....	134
41.	Análisis inicial de caracterización de suelos Aocaloma. ....	135
42.	Análisis inicial indicadores de calidad de suelos. ....	140

## RESUMEN

Una alternativa para el manejo agroecológico y sostenible del suelo lo constituye la utilización de microorganismos benéficos, esta técnica aunada a la incorporación de leguminosas contribuye a mejorar la calidad de los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación de microorganismos benéficos asociados a leguminosas de cobertura, en suelos degradados por la actividad agrícola en la sub cuenca del Cumbaza en San Martín. Se utilizó un diseño experimental de tipo parcelas subdivididas, con tres bloques. La parcela principal correspondió al factor inóculo/enmienda y las subparcelas al factor leguminosa, constituido por *Canavalia ensiformes*, *Crotalaria juncea*, *Vigna unguiculata* y *Cajanus cajan*, con 5 tratamientos: Inoculación con microorganismos (IM); Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (IM+P); Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H); Fertilización inorgánica (NPK) y sin inoculación (SI). El experimento fue instalado en dos lugares, uno en Chirikyacu y otro en Aocaloma y se realizaron 3 evaluaciones, determinándose las características fisicoquímicas del suelo, biomasa microbiana, respiración basal y las actividades de ureasa y fosfatasa. De manera general los tratamientos IM, IM+P e IM+H, conteniendo microorganismos, presentaron los mejores resultados para los parámetros evaluados.

**Palabras clave:** Indicadores microbiológicos de suelos, leguminosas, microorganismos benéficos y suelos degradados.

## ABSTRACT

An alternative for the agricultural management and sustainability of the soil is made up of the use of beneficial microorganisms; this technique, joined with the incorporation of legumes, contributes to an improved soil quality. The objective of this work was to evaluate the effect of the inoculation of beneficial microorganisms associated to ground cover legumes in soil degraded by agricultural activity in the Cumbaza sub-watershed in San Martin, [Peru]. An experimental design of a subdivided plot type was used with three blocks. The principal plot corresponded to the inoculated/amended factor, and the subplots to the legume factor, made up by *Canavalia ensiformes*, *Crotalaria juncea*, *Vigna unguiculata*, and *Cajanus cajan*, with five treatments: inoculation with microorganisms (IM); inoculation with microorganisms plus phosphate fertilization (IM+P); inoculation with microorganisms plus worm humus (IM+H); inorganic fertilization (NPK – acronym in Spanish), and no inoculation (SI – acronym in Spanish). The experiment was installed in two locations, one in Chirikyacu, and the other in Aucaloma, and three evaluations were done, [where] the physicochemical characteristics of the soil, microbial biomass, base respiration, and urease and phosphate activities were determined. In a general fashion, treatments IM, IM+P, and IM+H, containing microorganisms, presented the best results for the parameters evaluated.

**Keywords:** microbiological indicators for the soil, legumes, beneficial microorganisms, degraded soil

## I. INTRODUCCIÓN

La subcuenca Cumbaza, ubicada en la región San Martín, abarca una superficie de 57 120 hectáreas. Según la Dirección Regional de Agricultura San Martín (DRASAM, 2018), aproximadamente el 80 % de los suelos de esta subcuenca han sido degradados. Esta degradación puede atribuirse a diversos factores, entre ellos, prácticas inadecuadas de manejo de cultivos, deforestación de bosques primarios, utilización de tierras con pendientes pronunciadas, aplicación irracional de plaguicidas químicos (como fungicidas, insecticidas y herbicidas), uso excesivo de fertilizantes químicos nitrogenados y fosfatados, y la práctica de agricultura migratoria (Muñoz-Gómez et al. 2018).

Un enfoque potencial para abordar la degradación del suelo implica la utilización de microorganismos benéficos en tales áreas. Para implementar esta estrategia, es crucial elegir cuidadosamente los microorganismos en función de su capacidad para restaurar y sostener los ciclos biogeoquímicos, incluyendo la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfato, dentro del suelo. Además, estos microorganismos deben poseer la capacidad de potenciar el crecimiento de las plantas. Una vez seleccionados, estos microorganismos pueden multiplicarse y reintroducirse en zonas degradadas (Valdez-Nuñez et al. 2019).

La seguridad alimentaria es uno de los retos más difíciles que tiene el ser humano en los próximos 50 años, esto debido a la expansión de la población humana. Para contrarrestar este desafío, se necesita el estudio de los sistemas biológicos del suelo que permita una mejor comprensión de los diferentes procesos e interacciones que conducen a la estabilidad en los agroecosistemas.

La agricultura convencional en la subcuenca del Cumbaza se basa en el uso de fertilizantes químicos, entre ellos los fosfatados (Superfosfatos) y los nitrogenados, los cuales mejoran las deficiencias de estos nutrientes (P y N). Sin embargo, el uso excesivo de estos fertilizantes químicos podría desencadenar problemas serios hacia el medio ambiente como la contaminación del agua y la degradación del suelo, afectando así la productividad de los cultivos.

Los microorganismos son componentes vitales del suelo, importantes para mantener su fertilidad y el crecimiento de las plantas, así como para el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, una alternativa en la recuperación de suelos degradados es el uso de inoculantes microbianos (biofertilizantes) incluyendo bacterias solubilizadoras de fosfato (PSB), rizobios y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), esto representa un enfoque eficiente para optimizar



la absorción de P y N en leguminosas de cobertura. Por estos considerandos los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

### **1.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la inoculación de microorganismos benéficos asociados a leguminosas de cobertura, en zonas degradadas por la actividad agrícola en la sub cuenca del Cumbaza en San Martín.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo.
- Determinar la biomasa microbiana del suelo.
- Determinar la respiración basal del suelo.
- Determinar la actividad de la fosfatasa del suelo.
- Determinar la actividad de la ureasa del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Subcuenca del Cumbaza

La subcuenca Cumbaza se ubica en la provincia de Lamas, en el departamento de San Martín. La elevación varía de 410 a 1160 metros sobre el nivel del mar. Los suelos son poco profundos, ácidos y no muy fértiles. Los suelos en cuestión presentan degradación, caracterizada por la prevalencia de las especies vegetales *Pteridium aquilinum* (Shapumba) y *Imperata brasiliensis* (Cashaucsha) (Barrios, 2017).

La subcuenca del Cumbaza tiene un importante valor ecológico y ha sufrido una importante degradación del suelo como consecuencia de las actividades humanas. Según Setegn et al. (2009), las principales causas responsables de la erosión del suelo en esta subcuenca son la deforestación y la agricultura intensiva. No obstante, en la degradación del suelo de esta región también influyen factores como el sobrepastoreo y la ausencia de prácticas de conservación del suelo (Rodríguez et al. 2022). Para hacer frente eficazmente a estas dificultades y garantizar la protección de los recursos naturales, es imperativo adoptar métodos de agricultura sostenible y aplicar normas de conservación del suelo (Dev et al. 2023).

La degradación del suelo en la subcuenca del Cumbaza puede tener ramificaciones significativas tanto para la ecología como para el bienestar general de las poblaciones humanas. La erosión del suelo puede provocar el agotamiento de los nutrientes y la disminución de la fertilidad del suelo, con el consiguiente impacto negativo en la productividad agrícola (Panditharathne et al. 2019). Además, cabe señalar que la erosión del suelo puede dar lugar a la deposición de sedimentos en las masas de agua, lo que repercute en la calidad general del agua y en el delicado equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Tahiri et al. 2016).

Para mitigar estos problemas, es imperativo adoptar métodos agrícolas sostenibles que reduzcan eficazmente la erosión del suelo y fomenten su conservación. Según Rodríguez et al. (2022), la aplicación de técnicas de agricultura de conservación, como la siembra directa, la rotación de cultivos y la utilización de cubiertas vegetales, ha demostrado su eficacia para mitigar la erosión del suelo y mejorar su salud. El uso de estos métodos sirve para mantener la cubierta vegetal en el suelo, mitigando así la erosión del suelo resultante de los efectos de las precipitaciones y el viento (Nyamadzawo et al. 2012). Además, se ha observado que el uso de prácticas de agricultura de conservación tiene el potencial de mejorar el proceso de infiltración del agua en el suelo, mitigar la escorrentía y facilitar la retención de nutrientes esenciales (Rodríguez et al. 2022).

Junto con la adopción de técnicas de agricultura sostenible, la aplicación de normas de conservación del suelo asume un papel crucial. Las leyes pueden abarcar el uso de

medidas de gestión del suelo, como el aterrazamiento y la plantación en contorno, que contribuyen a mitigar la erosión del suelo (Setegn et al. 2009). Según Dev et al. (2023), existe una necesidad crucial de dar prioridad al avance de los programas de educación y formación para agricultores, centrándose específicamente en la difusión de métodos óptimos de conservación del suelo. Además, la provisión de incentivos económicos puede desempeñar un papel importante a la hora de motivar a los agricultores para que adopten estas prácticas.

En resumen, la subcuenca del Cumbaza ha sufrido una importante degradación del suelo como consecuencia de la deforestación, las prácticas agrícolas intensivas por migrantes, el pastoreo excesivo y la aplicación inadecuada de métodos de conservación del suelo. Para hacer frente eficazmente a estas dificultades y garantizar la protección de los recursos naturales, la aplicación de métodos de agricultura sostenible y el cumplimiento de la legislación sobre conservación del suelo son de suma importancia. El uso de estos métodos tiene el potencial de mitigar la erosión del suelo, mejorar su calidad y salud del suelo además fomentar la sostenibilidad agrícola dentro de la subcuenca del Cumbaza.

La subcuenca Cumbaza se encuentra dentro de un entorno montañoso tropical, caracterizado por presentar temperaturas medias anuales que oscilan entre los 19 y 34°C, se registran temperaturas medias más bajas a lo largo de los meses de agosto a octubre, mientras que la temperatura media máxima se observó durante los meses de julio y agosto. Los datos mencionados desempeñan un papel fundamental en la comprensión de las complejidades de la dinámica climática regional y su impacto en los sistemas naturales y sociales (Barrios, 2017).

La precipitación es otro factor climatológico crucial en la subcuenca del Cumbaza. Estudios indican que la región recibe entre 1800 a 1900 mm de precipitación en promedio cada año, con una estación seca que dura de mayo a septiembre. Las precipitaciones son irregulares a lo largo del año y alcanzan su máximo entre diciembre y marzo. Comprender la dinámica hidrológica local y cómo afecta a los sistemas fluviales y acuíferos depende de estos datos (Barrios, 2017).

La subcuenca Cumbaza está influenciada significativamente por la humedad relativa, la cual es una variable climatológica importante. Se ha determinado que la región presenta una humedad relativa promedio de 83 % y experimenta una estación seca que abarca de mayo a septiembre. Los meses de enero y febrero presentan los valores más altos y más bajos de humedad relativa, respectivamente. Del mismo modo, los meses de julio y agosto están asociados a los valores más altos y más bajos de humedad relativa, respectivamente (Barrios, 2017).

La radiación solar es un elemento climatológico adicional de importancia dentro de la subcuenca Cumbaza. La radiación solar estimada en la región es de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/día, y la estación seca se extiende de mayo a septiembre. El pico de radiación solar se produce a lo largo de los meses de agosto a octubre, mientras que los niveles más bajos se observan de diciembre a febrero. El dato anterior nos hace comprender la capacidad de energía solar en la región y sus implicaciones en los sistemas energéticos (Barrios, 2017).

La subcuenca Cumbaza presenta una importante biodiversidad, caracterizada por la diversidad de especies vegetales como el cedro, la caoba y el tornillo; han identificado una variedad de especies animales, que abarcan taxones de aves, insectos, anfibios, reptiles, primates (específicamente monos aulladores), osos hormigueros y perezosos amazónicos. Estos datos son de gran importancia para la conservación de la biodiversidad y la gestión de los recursos naturales de la región.

Los tipos de suelo predominantes encontrados en la subcuenca Cumbaza son arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arenoso y francos. Los tipos de suelo presentes en el área de estudio se clasifican como Inceptisoles, presentan pendientes variables, que oscilan entre el 14 % y el 19 %. Los datos anteriores son importantes en el contexto de la agricultura y la planificación del uso de la tierra en la región (Barrios, 2017).

## **2.2 Degradación de suelos**

El deterioro de los suelos tropicales constituye un importante problema medioambiental que afecta a diversos lugares del planeta. Los suelos tropicales presentan una mayor susceptibilidad a la degradación debido a su delicada naturaleza y a las importantes actividades antropogénicas que tienen lugar en estas regiones. El deterioro de los suelos tropicales puede atribuirse a diversos factores, como la deforestación, las prácticas agrícolas intensivas, las actividades mineras, la urbanización y los efectos del cambio climático. Estas actividades pueden provocar el agotamiento de la capa fértil del suelo, erosión, compactación, salinización y acidificación, además de otras formas de degradación (Alvaro et al. 2017; Sáenz-Ceja et al. 2022; Martínez y González, 2017; Chirinos y Almeida, 2020; Pedroza-Parga et al. 2022; Fuentealba et al. 2021; Peña y Peña, 2021; Madrid y Marrugo-Negrete, 2021).

La deforestación se considera un factor determinante en la degradación de los suelos tropicales. El proceso de eliminación de la cubierta vegetal natural para dar cabida al crecimiento de las actividades agrícolas, la cría de ganado y el desarrollo urbano provoca la exposición del suelo a la erosión y el consiguiente agotamiento de nutrientes. Además, el proceso de deforestación tiene el efecto perjudicial de disminuir la capacidad del suelo para absorber la humedad, lo que provoca la desertificación y el consiguiente declive de la

biodiversidad (Sáenz-Ceja et al. 2022; Pedroza-Parga et al. 2022; Madrid y Marrugo-Negrete, 2021).

Las prácticas agrícolas intensivas contribuyen significativamente a la degradación de los suelos tropicales. El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas puede contaminar el suelo y el agua, lo que repercute en la calidad del suelo y en la salud general de los ecosistemas. Además, la implementación de prácticas agrícolas intensivas tiene el potencial de resultar en el agotamiento de nutrientes esenciales del suelo, así como en la ocurrencia de compactación y erosión del suelo (Mosquera et al. 2017; Canales-Almendares et al. 2021; Fuentealba et al. 2021).

La minería es otra actividad que contribuye al deterioro de los suelos tropicales. El proceso de extracción de minerales puede contaminar el suelo mediante la introducción de metales pesados y compuestos tóxicos, lo que afecta tanto a la calidad del suelo como a la salud general de los ecosistemas. Además, el proceso de extracción puede provocar la erosión del suelo y el agotamiento de la cubierta vegetal, aumentando así la susceptibilidad del suelo al deterioro (Martínez y González, 2017; Chirinos y Almeida, 2020; Madrid y Marrugo-Negrete, 2021).

La degradación de los suelos tropicales se ve influida significativamente por el proceso de urbanización. El fenómeno de la urbanización, caracterizado por la proliferación de ciudades y el desarrollo de infraestructuras urbanas, ha provocado el agotamiento del suelo fértil y la impermeabilización de las superficies del suelo. En consecuencia, estos procesos han disminuido la capacidad del suelo para retener el agua y han aumentado la susceptibilidad a las inundaciones. Además, el proceso de urbanización tiene el potencial de resultar en la contaminación del suelo debido a la presencia de productos químicos y residuos sólidos, ejerciendo así efectos adversos tanto en la calidad del suelo como en la salud general de los ecosistemas (Illan-Fernandez y Romero-Díaz, 2022; Peña y Velásquez, 2022).

La degradación de los suelos tropicales se está viendo intensificada por los efectos del cambio climático. El impacto del aumento de las temperaturas, las fluctuaciones en los regímenes de precipitaciones y la aparición de fenómenos meteorológicos extremos, como sequías e inundaciones, tienen importantes repercusiones en la salud del suelo y la producción agrícola. El fenómeno del cambio climático tiene el potencial de contribuir a la escalada de la erosión del suelo y al agotamiento de la cubierta vegetal, intensificando así el proceso de degradación del suelo (Zimmer et al. 2018; Fuentealba et al. 2021; Peña y Peña, 2021).

Para mitigar el deterioro de los suelos tropicales, es imperativo desarrollar estrategias centradas en la conservación y restauración del suelo. Estas medidas pueden abarcar

la aplicación de métodos de agricultura sostenible, como el uso de técnicas de rotación de cultivos, la utilización de fertilizantes orgánicos y la preservación de la cubierta vegetal. La promoción de la reforestación y la restauración de ecosistemas dañados, junto con el fomento de la gestión sostenible de los recursos naturales, reviste una importancia significativa (Cortina et al. 2011; Zeberio y Pérez, 2021; Pedroza-Parga et al. 2022).

Según Ianovali et al. (2018), la agricultura permanente se ha identificado como un enfoque más eficiente tanto en términos de rendimiento como de uso de mano de obra en comparación con la agricultura itinerante en el contexto de las prácticas agrícolas. No obstante, cabe señalar que la agricultura itinerante tiene una importancia significativa en términos de producción de alimentos y de la intrincada interacción entre la sociedad y el medio ambiente (Ianovali et al. 2018). Si bien puede dar lugar a una menor rentabilidad económica, la adopción de la agricultura itinerante puede servir como un método significativo para garantizar la seguridad alimentaria en zonas geográficas específicas.

La práctica de la agricultura itinerante también tiene importantes consecuencias para la conservación de la biodiversidad. La práctica de la agricultura itinerante en la región amazónica ha provocado la fragmentación de los bosques tropicales y el consiguiente declive de la biodiversidad (Villa et al. 2020). Se ha descubierto que la práctica de intensificar la agricultura itinerante disminuye la resiliencia de los bosques y potencialmente impide su recuperación, como destacan Villa et al. (2018). La consideración de medidas de conservación que faciliten la coexistencia de la agricultura y la biodiversidad en estos lugares reviste una importancia significativa.

La agricultura de conservación es un enfoque alternativo viable destinado a mejorar tanto la calidad del suelo como la producción de los cultivos. Una investigación realizada en México evaluó la influencia colectiva de la agricultura de conservación en las características físicas del suelo y la productividad del maíz (Gamiño et al. 2019). Según Gamiño et al. (2019) la investigación indica que la preparación del suelo mediante barbecho combinado con rastra tiene un efecto perjudicial sobre la estructura del suelo y conduce a la degradación de las cualidades físicas del suelo. Por el contrario, se ha demostrado que el uso de prácticas de agricultura de conservación mejora la calidad del suelo y aumenta la producción de cultivos.

La evaluación del carbono orgánico del suelo es un indicador crucial para valorar la sostenibilidad y la integridad ecológica de los sistemas agrícolas a largo plazo. La degradación del suelo es un fenómeno que puede dar lugar a la reducción del contenido de carbono orgánico, afectando así a la calidad y fertilidad general del suelo. Un estudio realizado por Zamora-Morales et al. (2019) ha investigado el fenómeno del secuestro de carbono orgánico

en suelos agrícolas y pastizales en el contexto de México. Zamora-Morales et al. (2019) han informado que las investigaciones existentes sugieren que el fenómeno del secuestro de carbono orgánico en el suelo es prometedor para mejorar la naturaleza sostenible de los sistemas agrícolas durante períodos prolongados. Además, se argumenta que este proceso puede ser utilizado como una estrategia para enfrentar de manera efectiva los diversos obstáculos que presenta el cambio climático.

En la Amazonia peruana, gramíneas como *Imperata* sp. (Cashaucsha), *Paspalum homolepis* (Torourco), *Andropogon* sp. (Rabo de zorro) o Pteridium (helechos), conocidos localmente como "shapumba", "macorilla" o "gara gara", son los mejores indicadores de zonas degradadas (Meza et al. 2006).

## **2.3 Plantas de cobertura en recuperación de suelos degradados**

### **2.3.1. *Cajanus cajan***

Este arbusto perenne, perteneciente a la familia de las fabáceas, puede alcanzar una dimensión vertical de 3 a 4,5 metros. Se adapta a suelos con un pH de entre 5 y 6, altitudes que no superan los 1 800 metros sobre el nivel del mar, temperaturas de entre 20 y 30 grados centígrados y precipitaciones anuales de entre 500 y 1500 mm. La planta crece rápidamente y se adapta a las regiones tropicales, mostrando una notable resistencia a la sequía y la capacidad de prosperar en suelos pobres en nutrientes. Además, se subraya la importancia de su utilización como abono verde y el notable valor nutritivo de sus granos para la alimentación humana. *C. cajan* se conoce con numerosos nombres de uso común. En varias naciones latinoamericanas, como México, Costa Rica y Colombia, la leguminosa en cuestión se denomina "gandul" o "guandul" "guandú". En cambio, en Perú y Ecuador se conoce comúnmente como "frijol de palo" "puspino". La nomenclatura varía según la localidad geográfica y las prácticas culturales indígenas.

Según las conclusiones de Teodoro et al. (2011), se ha demostrado que la fase de floración del gandul se produce en un plazo aproximado de 50 a 70 días desde la primera plantación. Durante este periodo concreto, las flores de la planta de guandú tienen una tonalidad amarilla, lo que le confiere una característica visual única dentro del paisaje agrícola. Además, el gandul presenta un tamaño de planta notable, lo que le permite cubrir eficazmente el suelo y superar a las especies de malas hierbas.

El guandú, conocido científicamente como *C. cajan*, es una leguminosa muy utilizada como cultivo de cobertura en las prácticas agrícolas. La investigación llevada a cabo por Cavalcante et al. (2012) ha demostrado que el guandú tiene la capacidad de acumular

una biomasa sustancial y absorber eficazmente los nutrientes del suelo. Esta característica lo convierte en una alternativa convincente para mejorar la fertilidad del suelo y mitigar la dependencia de los fertilizantes sintéticos. Además, cabe señalar que el gandul tiene una baja relación carbono-nitrógeno (C/N), lo que favorece sus procesos de descomposición y mineralización. Esta característica desempeña un papel importante en la mejora del ciclo de los nutrientes en el suelo, como destacan Cunha et al, (2011).

Además, la investigación ha demostrado que el guandú presenta propiedades ventajosas en términos de supresión de malas hierbas. Investigaciones anteriores llevadas a cabo por Queiroz et al. (2010) han demostrado que la aplicación del sombreado del suelo mediante el uso de cubiertas vegetales, como el gandul, tiene el potencial de mitigar eficazmente la germinación de las semillas de malas hierbas y, posteriormente, reducir las poblaciones de malas hierbas. Este fenómeno facilita el crecimiento de las plantas de guandú y de otros cultivos de interés al reducir el nivel de competencia inicial. Además, la utilización del guandú puede observarse en sistemas de cultivo orgánicos, en los que la gestión de las malas hierbas reviste especial importancia (Dantas et al. 2015).

Además de sus ventajas agronómicas, el gandul también posee características terapéuticas. Los efectos hepatoprotectores del guandú y su potencial para reducir el daño hepático inducido por el alcohol han sido documentados por Kundu et al. (2008). Las hojas de guandú se han empleado históricamente para el tratamiento de daños hepáticos y diversas afecciones clínicas.

El periodo vegetativo denota el lapso temporal durante el cual una planta experimenta crecimiento y desarrollo antes del inicio de la floración. Esta fase es de suma importancia para el crecimiento y la maduración de la planta, y su duración puede fluctuar en función de la especie específica y de los factores ambientales imperantes. La duración de la fase vegetativa en *C. cajan*, comúnmente conocido como guandú, puede ser modulada por varios factores, incluyendo la duración del fotoperíodo y la temperatura ambiente. Basándose en los hallazgos de Sarmiento et al. (2022), se ha demostrado que la duración de la exposición a la luz superior a 12 horas tiene el potencial de prolongar la fase vegetativa del gandul, provocando así un retraso en el inicio de la floración y la maduración. Esto implica que la planta de guandú puede necesitar una duración prolongada de crecimiento vegetativo antes de pasar a la fase reproductiva.

Además, la duración de la fase vegetativa del guandú está sujeta a variaciones en función del momento de su plantación. Según un estudio realizado por Trevisan et al. (2021), se observó que el crecimiento del gandul, cuando se plantaba en abril y se cultivaba



entre los meses de mayo y septiembre, presentaba un notable aumento de la altura de la planta. Además, hubo una notable prolongación en la duración de los días requeridos para la floración y la maduración, que se atribuyó a la influencia de un fotoperiodo prolongado.

### 2.3.2. *Canavalias ensiformes*

Es una *fabaceae* anual, alta y herbácea, que florece al cabo de 70 a 75 días. Las vainas miden 3,5 cm de ancho y 35 cm de largo. Tiene entre 8 y 20 semillas blancas, planas y de unos 2 cm de diámetro por vaina. Tiene una raíz donde se desarrollan nódulos generados por bacterias con tamaños entre 4 y 6 mm. El tallo es herbáceo y puede alcanzar una altura de 60 a 120 cm. Es una planta muy resistente al viento. El ciclo completo de la cosecha dura entre seis y siete meses. La planta crece en todo tipo de suelos, de arcillosos a franco arenosos, y se adapta a un rango de pH de 4,5 a 8 (Cuellar Guzmán et al. 1997).

*C. ensiformes* es uno de los cultivos más prometedores que se están examinando en la actualidad; en las zonas tropicales húmedas se fomenta su utilización como abono verde y cultivo de cobertura (Cuellar Guzmán et al. 1997). Su forraje se utiliza para el pastoreo de bovinos y ovinos, y su grano se utiliza para alimentar tanto rumiantes como no rumiantes, estos últimos no requieren ningún procesamiento, mientras que la alimentación de no rumiantes requiere procesos físicos, químicos o ambos para eliminar sus elementos antinutricionales (Rodríguez Urrutia, 2000). Originaria de América, la canavalia se utiliza en las Antillas, Panamá, Guyana, Brasil y Perú. Es una planta que se cultiva en climas tropicales y tiene cierta importancia en África oriental, Kenia, Taiwán, India y Hawái; así como en el este de África (Rodríguez Urrutia, 2000).

*C. ensiformes* una leguminosa erecta, anual o bianual, rústica y con capacidad para producir guías. Crece rápidamente al principio y tiene un hábito de crecimiento impredecible que puede alcanzar alturas de 0,6 a 1,2 metros. Las hojas son trifoliadas, alternas y con nervaduras bien salientes. Son de color verde oscuro y brillantes. Produce enormes flores de color violeta o roja en inflorescencias axilares en racimos. Cada vaina, larga, plana y dura, contiene de 4 a 20 semillas grandes, redondeadas u ovals, de color blanco y puede crecer hasta 35 centímetros de largo y 3 cm de ancho (Rodríguez Urrutia, 2000). Por su robusto desarrollo, aportes de N atmosférico fijado al sistema suelo-planta vía fijación biológica de nitrógeno (FBN), y por reciclar cantidades significativas de P y K, Canavalia es una especie adaptada a las circunstancias de Cuba (García et al. 2017).

*C. ensiformes* también ha sido objeto de investigaciones sobre sus implicaciones medioambientales. Una investigación realizada por Lei et al. (2022), examinó las

ventajas ecológicas y medioambientales asociadas a la implantación de abonos verdes en los arrozales. El estudio reveló que la incorporación de *C. ensiformes*, además de otras plantas de abono verde, puede mejorar eficazmente la calidad del suelo y mitigar la erosión. Por otra parte, la investigación académica realizada por Pinzón-Espitia y Rodríguez (2022) profundizó en la administración prudente de nutrición enteral domiciliaria. Los investigadores también destacaron a *C. ensiformes* como un recurso botánico empleado tanto en prácticas alimentarias humanas como animales, sugiriendo así su viabilidad como un producto agrícola ecológicamente adecuado. Estas conclusiones indican que la *C. ensiformes* puede ejercer una influencia beneficiosa sobre el medio ambiente y ser una opción viable para las prácticas agrícolas sostenibles.

*C. ensiformes* también ha sido examinada en el contexto de sus interacciones con otras especies vegetales. En un estudio realizado por Junco et al. (2020), se llevó a cabo una investigación para identificar probables plantas hospedadoras del virus del mosaico transmitido por el pulgón del caupí, y entre las especies detectadas se encontraba *C. ensiformes*. Esta observación implica que *C. ensiformes* puede servir como reservorio potencial y vector de este virus. Además, Weichen et al. (2020) realizaron un estudio en el que investigaron los componentes activos de *Albizia flos* (hierba medicinal china) y sus posibles propiedades antidepresivas. Los investigadores también señalaron que *C. ensiformes* se encuentra entre las especies botánicas empleadas en la medicina tradicional china. Las investigaciones mencionadas aportan pruebas que sugieren que *C. ensiformes* presenta interacciones potenciales con varias especies vegetales y tiene potencial para su utilización en prácticas de medicina tradicional.

*C. ensiformes*, ha suscitado una gran atención en las investigaciones científicas debido a sus notables cualidades terapéuticas. Varios estudios han demostrado el potencial de esta planta para su utilización en la medicina tradicional y como un valioso reservorio de sustancias químicas bioactivas. Una investigación realizada por Vargas et al. (2018) examinó la capacidad alelopática de varias plantas de cobertura, incluida *C. ensiformes*, y observó su impacto sorprendente sobre la proliferación de malezas. Además, el impacto de la humedad del suelo en la capacidad de remediación de *C. ensiformes* en suelos contaminados con herbicidas fue examinado por Belo et al. (2007). Su estudio reveló que la capacidad de remediación de *C. ensiformes* no se vio afectada por las fluctuaciones en los niveles de humedad del suelo. Los resultados de este estudio indican que *C. ensiformes* presenta características terapéuticas potenciales y puede tener un uso práctico en el campo de la agricultura.

### 2.3.3. *Crotalaria juncea*

La incorporación de los restos de esta especie al suelo no sólo mejora las condiciones físicas, sino también las químicas mediante la fijación biológica del nitrógeno. Es una planta anual de la familia Fabaceae, originaria de la India, y está considerada como la más significativa de su género. Este género contiene unas 350 especies entre los trópicos y los subtrópicos. Dependiendo de la región, también puede denominarse cáñamo indio, hierba del arroz, judía del sol, cáñamo de Bengala, cáñamo de Siam o *Crotalaria* blanca. Las flores de la planta anual *C. juncea* suelen ser de color amarillo brillante y la floración se da a los 60 o 65 días después de la siembra. La *C. juncea* prefiere una zona cálida y seca con 500 a 1500 mm de precipitaciones anuales. La planta alcanza una altura media de 1 a 3 metros. (Santana y Ascencio, 2011).

Es originaria de Pakistán y la India. Desde que se cultivó por primera vez como abono verde en el sudeste asiático, la *C. juncea* se cultiva actualmente en todo el mundo, en numerosas zonas tropicales y subtropicales. Los principales países productores de semillas de *C. juncea* son Sudáfrica, India, Hawai y Colombia. Esta planta se ha plantado como cultivo de cobertura de verano en los estados del sur, centro y norte de las Grandes Llanuras de Estados Unidos. La floración de esta especie se desencadena con los días cortos, por lo que se necesita una temporada larga para que las semillas cuajen por completo. Como resultado, la *C. juncea* no fijará semillas en la mayoría de los estados de Estados Unidos (Qingren et al. 2019). Alrededor de 500 de las especies mundiales de *C. juncea*, que tienen tallos fibrosos y erectos de 1,8 a 2,4 m (6 a 8 pies) de altura, son autóctonas de África. Son las especies más importantes del mundo para su uso en agricultura como abono verde o cultivos de cobertura (Duke, 1983).

Es una planta herbácea anual de estación de día corto con tallos fibrosos erguidos. Las hojas simples, oblongo-lanceoladas, de hasta 3,56 cm de anchura y 12,7 cm de longitud, están cubiertas de pequeños pelos que se distribuyen en espiral a lo largo del tallo. La planta tiene raíces laterales gruesas y una raíz primaria robusta. Los rizobios que se asemejan a los caupís desarrollan nódulos lobulados fijadores de nitrógeno en las raíces. Cuando la población no es densa, las plantas se ramifican en el suelo unos 51 cm, pero en poblaciones extremadamente densas, la ramificación se reduce. La *C. juncea* florece unas 8 semanas después de la plantación cuando se cultiva en condiciones de día corto, se planta en mayo en Homestead, Florida, Estados Unidos, las brillantes flores de color amarillo intenso de la planta empiezan a florecer profusamente a principios de septiembre (Qingren et al. 2019).

*C. juncea*, comúnmente conocido como cáñamo indio, exhibe una promesa agronómica significativa en varios dominios. El estudio realizado por Topçu y Özkan (2019)

aclara varios atributos de esta planta en particular. *C. juncea* se identifica como una planta forrajera que posee la capacidad de ofrecer alimento de alta calidad para el ganado. Además, el estudio realizado por Araújo et al. (2015) destaca que esta especie en particular sirve como cubierta vegetal, inhibiendo eficazmente el crecimiento de vegetación no deseada. Las investigaciones realizadas por Sousa et al. (2019) y Barbosa et al. (2020) destacan aún más la capacidad de este organismo para acumular biomasa y nutrientes. Las investigaciones mencionadas destacan la capacidad de *C. juncea* para acumular una cantidad sustancial de biomasa seca y nutrientes esenciales, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio. Además, se afirma que esta planta en particular posee la capacidad de realizar la fijación de nitrógeno atmosférico, lo que la convierte en una alternativa convincente para mejorar la fertilidad del suelo, como se dilucida en la investigación realizada por Prayitno et al. (2018). En resumen, *C. juncea* posee atributos agronómicos que la hacen muy adecuada para su utilización como cultivo forrajero, cubierta vegetal y potenciador de la fertilidad del suelo.

*C. juncea* es una especie botánica que posee la capacidad inherente de generar una cantidad sustancial de biomasa y acumular nutrientes dentro de su estructura celular. El estudio realizado por Barbosa et al. (2020) destaca la capacidad de la *C. juncea* para acumular una cantidad sustancial de materiales secos. Además, este estudio destaca la capacidad de la planta para amasar minerales esenciales, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio. Sousa et al. (2019) realizaron un estudio adicional que subraya la capacidad de *C. juncea* para amasar eficazmente biomasa y nutrientes esenciales. Este estudio destaca la biomasa superior y la acumulación de nutrientes observada en *C. juncea*, en comparación con otras especies examinadas. Los resultados de este estudio sugieren que la *C. juncea* puede ser una alternativa prometedora para aumentar la producción de biomasa y la accesibilidad de los nutrientes en el suelo.

*C. juncea*, a menudo conocida como cáñamo de sol, ha demostrado capacidades prometedoras en el campo de la fitorremediación con el propósito de abordar la contaminación del suelo. El estudio realizado por Ferrazo et al. (2019) destaca la inclusión de *C. juncea* como una de las especies vegetales sometidas a evaluación en el contexto de la fitorremediación de suelos contaminados con el herbicida sulfentrazone. Los resultados de esta investigación sugieren que *C. juncea* mostró la capacidad de disminuir los niveles de sulfentrazone en el suelo, mostrando así su potencial para la remediación de suelos en presencia de contaminación. Madalão et al. (2012) realizaron un estudio que también discute el potencial de *C. juncea* para la fitorremediación de suelos contaminados con sulfentrazone. Los resultados de este estudio indican que *C. juncea* podría servir potencialmente como una alternativa viable

para la limpieza de suelos contaminados. La *C. juncea* tiene el potencial de ejercer una influencia beneficiosa sobre la productividad de las cosechas agrícolas posteriores. El estudio realizado por Toledo-Souza et al. (2008) destaca los beneficios potenciales del cultivo de *C. juncea* como abono verde, incluida la mejora de las condiciones del suelo y la promoción de mayores rendimientos en las cosechas posteriores. Además, Colombo et al. (2021) informaron de que el co-cultivo de *C. juncea* con *C. esculenta* tiene el potencial de mejorar la productividad de cultivos posteriores, como el brócoli y el maíz. Los resultados de este estudio indican que la inclusión de *C. juncea* en la producción de cultivos sucesivos puede producir resultados beneficiosos mediante la mejora de las condiciones del suelo y el suministro de nutrientes suplementarios.

*C. juncea* presenta propiedades alelopáticas, en las que posee la capacidad de emitir sustancias químicas que ejercen una influencia sobre el crecimiento y el desarrollo de las especies vegetales vecinas. La investigación realizada por Cruz et al. (2021) destaca las propiedades alelopáticas de *C. juncea*, que tienen el potencial de ejercer una influencia significativa en el crecimiento de las especies vegetales vecinas. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de varias concentraciones de extractos vegetales derivados de *C. juncea* en plantas vecinas, revelando los potenciales efectos alelopáticos de estos extractos. Los resultados de este estudio sugieren que *C. juncea* tiene propiedades alelopáticas que podrían aprovecharse para controlar las malas hierbas y mejorar el crecimiento de los cultivos.

#### **2.3.4. *Vigna unguiculata***

Pertenece a la familia de las fabáceas y tiene una amplia gama de cultivares y tipos, así como usos muy variados. *V. unguiculata* seca es una fuente común de alimento para personas y animales en muchas partes del mundo. El caupí es una leguminosa de ciclo corto. Su patrón de crecimiento varía de erguido a vertical. Prefiere las regiones tropicales y subtropicales y puede soportar altas temperaturas en entornos áridos con abundante producción de biomasa. Se distinguen por su variedad de usos, que incluyen el abono orgánico y rotación de cultivos para mejorar la fertilidad del suelo. El examen bromatológico de las semillas revela que contienen entre un 19 y un 26 % de proteína bruta, lo que las convierte en una buena fuente de proteína vegetal (Báez y Hernández, 2016).

El estudio realizado por Oporta Pichardo y Rivas Cáceres en 2006 reveló que el rendimiento y la calidad de la semilla de caupí estaban fuertemente influenciados por la densidad de población y el período de plantación. En relación con el rendimiento de semillas, se observó que la densidad de población de 60 000 plantas por hectárea y el periodo de

plantación de mayo-junio dieron lugar a los rendimientos máximos de semillas de 1057 kg/ha y 1043 kg/ha, respectivamente. Por el contrario, se observó que la siembra realizada en julio-agosto, con una densidad de población de 40000 plantas por hectárea, dio lugar a los rendimientos de semillas más bajos, de 544 kg/ha y 452 kg/ha, respectivamente. Según Oporta Pichardo y Rivas Cáceres (2006), la consideración de la densidad de población y el momento de la siembra son cruciales para lograr un rendimiento y una calidad favorables de la semilla de caupí.

Es una planta herbácea anual que se presenta en variaciones erectas, semierectas y rastreras. Las variedades tempranas (60-80 días), las variantes semitardías (80-120 días) y las tardías (120-150 días) son las tres categorías en las que se clasifican las variedades. Las demás categorías se basan en la morfología de las vainas y semillas o en el ciclo vegetativo. Mientras que la mayoría de los cultivares semitardíos son enredaderas y tienen vainas excepcionalmente largas, las variedades tempranas y algunas semitardías tienen un hábito erguido (Gonçalves et al. 2009).

Debido a su profunda estructura radicular, el caupí puede cultivarse en climas con precipitaciones anuales que oscilan entre 250 y 1 000 mm. Dos o tres semanas después de la emergencia, comienza la ramificación. Cuando hay pocas plantas, la ramificación ayuda a aumentar el rendimiento. Sin embargo, cuando hay muy baja cantidad plantas en el campo, no puede aumentar el rendimiento, las hojas trifoliadas, de color verde oscuro, tienen un aspecto grueso y la presencia de pubescencia. Tiene folíolos lanceolados o puntiagudos, los folíolos terminales son más grandes que los laterales, las flores, de hasta 3 cm de longitud, son de color blanco amarillento o azul violáceo. En la axila entre la hoja y el tallo, en el centro de la planta, aparece el primer tallo floral. En el centro comienza el desarrollo ascendente y descendente de la floración. Sólo tres o cuatro de las flores densamente agrupadas en la punta del pedúnculo de toda la inflorescencia acaban convirtiéndose en vainas (Oporta Pichardo y Rivas Cáceres, 2006).

Según Oporta Pichardo y Rivas Cáceres (2006), el fruto o legumbre es cilíndrico, colgante, recto o ligeramente curvado, comprimido sobre la semilla, apergaminado, liso y dehiscente. El tamaño, color y textura de la semilla varían. Blanco, amarillo, púrpura, rojo, marrón y pardo son algunos ejemplos de colores. Tienen de 4 a 8 x 3 a 4 mm de longitud y lisa o arrugada en la superficie.

En un contexto más amplio, la utilización de leguminosas, como *V. unguiculata* y especies similares, como abono verde puede mejorar las características del suelo al aumentar el contenido de materia orgánica, la accesibilidad a los nutrientes y los procesos

biológicos. La razón de este fenómeno se atribuye a la capacidad de las leguminosas para entablar una relación simbiótica con bacterias pertenecientes al género *Rhizobium*, lo que da lugar a la fijación del nitrógeno atmosférico en el suelo. En última instancia, este proceso aumenta la disponibilidad de nitrógeno para las plantas y microorganismos del suelo (Douxchamps et al. 2014).

Este insumo natural ha sido reconocido por su capacidad de elevar la concentración de MO en el suelo, así como por su capacidad de manejo de plagas, malezas y nematodos, además de su contribución a la recuperación de la fertilidad y características físicas del suelo (Beltrán-Morales et al. 2009). Según García et al. (2001), los abonos verdes también ayudan a secuestrar carbono, lo que es excelente para el medio ambiente. Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], en 2016 este elemento se ha perdido de los suelos a un ritmo de 66 billones de toneladas en todo el mundo desde 1850.

Una investigación realizada en Kenia examinó el impacto de diversas variedades de cultivos, como el caupí, en la mitigación de la erosión del suelo dentro de sistemas agrícolas a pequeña escala. El estudio reveló que el cultivo de caupí junto con maíz en laderas susceptibles a la erosión puede mitigar eficazmente la erosión del suelo. Además, la investigación realizada por Muoni et al. (2019) reveló que el cultivo de caupí tiene un impacto positivo en el contenido de materia orgánica del suelo, lo que conduce a una mayor calidad del suelo y a la creación de un entorno propicio para el crecimiento de las plantas.

Se ha comprobado que el cultivo del caupí aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. En Tailandia se llevó a cabo una investigación para evaluar los efectos de la política de biocombustibles en la producción de bioetanol derivado de la caña de azúcar. Según Gheewala et al. (2013), se ha observado que el cultivo de caña de azúcar, junto con la incorporación del caupí como cultivo aliado, disminuye la dependencia de los fertilizantes nitrogenados. Esto se atribuye a la capacidad del caupí para fijar el nitrógeno atmosférico y mejorar el contenido de nutrientes del suelo.

Otra investigación llevada a cabo en Brasil pretendía evaluar las consecuencias medioambientales y económicas del cultivo de caña de azúcar, un cultivo comúnmente asociado al caupí en los sistemas de rotación de cultivos. Los resultados de la investigación indican que el cultivo de caña de azúcar, junto con el caupí como cultivo intercalado, tiene el potencial de mejorar la fertilidad del suelo y promover la acumulación de materia orgánica en el suelo. Además, se ha demostrado que el caupí posee la capacidad de fijar

el nitrógeno atmosférico, reduciendo así la dependencia de los fertilizantes nitrogenados (Macowski et al. 2020).

En las últimas décadas, en Latinoamérica se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura en diferentes sistemas de producción. Hay una serie de leguminosas de clima cálido (*Canavalia ensiformes*, *Centrosema pubescens*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Desmanthus virgatus*, *Indigofera tinctoria*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mucuna aterrima*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus*, *Vigna mungo*, *Vigna radiata* y *Vigna unguiculata*) que han sido evaluadas como abono verde, con aportes de N/ha que van desde los 60 hasta los 300 kg (Cherr et al. 2006).

#### **2.4 Importancia de los microorganismos benéficos**

Los microorganismos asociados a las plantas contribuyen a que estas presenten una mejor capacidad de adaptación al medio ambiente, además de promover su crecimiento y mejorar el rendimiento en la cosecha. Estos microorganismos, conocidos como bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF), y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), ahora son seleccionados y multiplicados y pueden ser incorporados al suelo como biofertilizantes y bioplaguicidas para aumentar la fertilidad del suelo y controlar la enfermedad de las plantas (Sethi et al. 2014).

Además, la presencia de leguminosas de cobertura asociadas a hongos micorrízicos arbusculares (HMA) no solo disminuye las tasas de mortalidad de las plantas, sino que también mejora diversas propiedades del suelo. Estas incluyen atributos físicos como la descompactación del suelo, aspectos químicos como la acumulación de materia orgánica y la mejora de la disponibilidad de nutrientes, así como factores biológicos como el aumento de la actividad y diversidad microbiana (Duval et al. 2015).

En relación a la fijación biológica del nitrógeno, una amplia diversidad de especies bacterianas fijadoras de nitrógeno tiene la capacidad de colonizar la rizosfera e interactuar con las plantas. Las plantas leguminosas pueden obtener su nitrógeno por asociación con rizobios, mediante la diferenciación en sus respectivas plantas hospedadoras de un órgano especializado, el nódulo de raíz. Otras asociaciones simbióticas involucran cianobacterias, y también fijadoras de nitrógeno que colonizan la superficie de la raíz y, en algunos casos, el interior de la raíz de una variedad de cultivos de cereales y pastos (Franche et al. 2009).

Ordoñez-Flores et al. (2019), realizaron un estudio en el valle del Mantaro y zonas alto andinas del Perú, a fin de determinar el establecimiento de una asociación de gramíneas y



leguminosas sembradas con densidades de *Pisum sativum* (Arveja) cv "Remate", *Lolium multiflorum* (Rye grass italiano) cv "Tama"; *Trifolium pratense* (Trébol rojo) cv "Quiñequeli" y *Medicago sativa* (Alfalfa) cv "SW8210", obteniendo porcentajes superiores al 90 % en la composición botánica y producciones razonables de materia seca de la pastura asociada.

Numerosas especies microbianas poseen la capacidad de solubilizar eficazmente el fosfato del suelo, que de otro modo sería insoluble. Estos organismos, entre los que se incluyen bacterias, actinobacterias, hongos y algas, se conocen comúnmente como microorganismos solubilizadores de fosfato. Según Alam et al. (2002), las bacterias tienden a mostrar una mayor competencia en la solubilización del fosfato en comparación con los hongos. Esto se ve respaldado por el hecho de que las bacterias solubilizadoras de fosfato (PSB) constituyen una proporción mayor, que oscila entre el 1 y el 50 %, de la población microbiana total del suelo, mientras que los hongos sólo contribuyen entre el 0,1 y el 0,5 % de toda la población (Chen et al. 2006). El proceso de solubilización de fosfatos insolubles en la rizosfera es un mecanismo frecuentemente observado empleado por las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) para mejorar el crecimiento de las plantas. Este mecanismo implica el aumento de la disponibilidad de fósforo (P) soluble dentro de la rizosfera (Ahemad y Kibret, 2014).

La solubilización del fosfato por diferentes mecanismos microbianos viene determinada por la capacidad de los microorganismos para secretar metabolitos, concretamente ácidos orgánicos de bajo peso molecular como el ácido glucónico y el ácido alfa-cetoglucónico. Estos metabolitos poseen grupos hidroxilo y carboxilo que facilitan la quelación del fosfato unido a cationes, dando lugar a su conversión en formas solubles (Stevenson, 2005).

El concepto de transferencia de nutrientes se refiere a la interdependencia entre las entidades simbióticas, es decir, el hongo (simbionte) y la planta (huésped). En esta interacción, la planta proporciona al hongo moléculas de carbono, mientras que el hongo corresponde suministrando a la planta nutrientes esenciales, como el fósforo (Cano, 2011). Velázquez y Cabello (2011), afirman que los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) aumentan el crecimiento de las plantas al facilitar la absorción de fósforo (P) fácilmente disponible y de otros nutrientes minerales esenciales no lábiles, como el fósforo (P) y el zinc (Zn). Además, se ha observado que poseen la capacidad de aumentar la resiliencia de las plantas frente a factores de estrés bióticos y abióticos, ejercer una influencia reguladora sobre los patógenos e influir en el proceso de agregación del suelo (Peng et al. 2013; Islas et al. 2016).

La interacción planta-hongo mejora la absorción de nutrientes, que es una característica única ausente en las plantas no micorrizadas. Esto refuerza aún más la relación

existente entre la planta y el suelo debido al extenso micelio fuera de las raíces de la planta (Mego et al. 2014). Rajtor y Piotrowska (2016) afirman que las hifas establecen una amplia red subterránea, facilitando la conectividad directa entre las raíces de las plantas, el suelo y los microorganismos presentes en el medio. Se estima que la superficie de las hifas es unas 100 veces mayor que la de las raíces y que su longitud puede superar la del sistema radicular de la planta. Según Rajtor y Piotrowska (2016), las hifas tienen la capacidad de investigar un mayor volumen de suelo en comparación con las raíces.

Valdez-Nuñez et al. (2019), estudiaron las características fisicoquímicas y las poblaciones microbianas de bacterias totales, bacterias esporuladas, hongos totales, actinobacterias y parámetros de actividad microbiana como biomasa microbiana, respiración basal, cociente metabólico y cociente microbiano en dos tipos de suelos en la región San Martín. Las poblaciones microbianas y sus respectivas actividades representaron indicadores microbiológicos efectivos para evaluar la calidad de los suelos.

La biomasa microbiana se refiere al componente vivo de la materia orgánica del suelo, que abarca bacterias, arqueas y eucariotas. Desempeña un papel importante en diversos procesos ecológicos, como el ciclo de nutrientes, el control de patógenos, la descomposición de residuos y la degradación de contaminantes. Por consiguiente, la biomasa microbiana se considera un indicador fiable de la calidad del suelo (Kandeler, 2015).

La respiración basal del suelo se refiere al proceso de los organismos aeróbicos que oxidan los materiales orgánicos del suelo, donde el oxígeno ( $O_2$ ) sirve como aceptor final de electrones y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se libera como subproducto. La respiración microbiana sirve como indicador de la calidad del suelo, ya que significa la actividad de los microorganismos del suelo que facilitan la descomposición de los residuos orgánicos dentro de este ecosistema (Valdez-Nuñez et al. 2019).

Por otra parte, las enzimas tienen participación esencial en los procesos relacionados a la cualidad del suelo, pues es a través de ellas que los microorganismos del suelo degradan moléculas orgánicas complejas en moléculas simples que pueden ser asimiladas. De acuerdo con Dick et al. (1996), las evaluaciones de actividades enzimáticas del suelo pueden ser útiles para indicar en qué medida éste está desempeñando su potencial de ciclaje de nutrientes, nitrificación, oxidación y otros procesos vitales a su salud.

En el presente trabajo se analizaron las enzimas ligadas a los ciclos del N (Ureasas) y del P (Fosfatasas), ya que los microorganismos utilizados (Rizobios, bacterias solubilizadoras de fosfato y hongos micorrízicos arbusculares están ligados a estos elementos.

## 2.5 Indicadores de calidad de suelos

### 2.5.1. Respiración basal de suelos

Una actividad biogeoquímica clave conocida como respiración basal del suelo implica la liberación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al medio ambiente, así como la mineralización microbiana de los materiales orgánicos del suelo. El ciclo global del carbono depende de este mecanismo, que también tiene importantes efectos sobre la productividad agrícola y la calidad del suelo.

La respiración basal del suelo, según los estudios de Davidson, Belk y Boone (1992), es una medida sensible de la actividad microbiana del suelo y puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo y la capacidad de producción de los cultivos. Además, numerosas investigaciones han demostrado que variables ambientales como la temperatura, las precipitaciones y el contenido de carbono orgánico del suelo influyen en la respiración basal del suelo, como Raich y Schlesinger (1992).

La medición de la respiración basal sirve como señal fiable para evaluar el nivel de actividad microbiana del suelo. La metodología se basa en la cuantificación de la cantidad de dióxido de carbono emitido por los microorganismos del suelo durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Según un estudio de investigación realizado en los Andes venezolanos, se observó que la actividad microbiana en los suelos cafeteros era mucho mayor en los suelos cultivados con técnicas agroforestales o con café bajo sombra, en comparación con los suelos cultivados convencionalmente o con café cultivado a pleno sol (Gómez, 2018).

Dependiendo de las circunstancias particulares del cultivo y del suelo, existen varias escalas de interpretación de la respiración basal. La siguiente escala de interpretación que mayor aceptación científica tiene es:

Menos de 7,5 mg  $\text{CO}_2$ /kg/hora en una escala baja. Esta escala muestra muy poca actividad biológica en el suelo, lo que puede deberse a una deficiencia de nutrientes, contaminación o compactación del suelo; 7,5 a 20 mg  $\text{CO}_2$  /kg/hora en una escala media. Según esta escala, hay una actividad biológica moderada en el suelo, lo que indica que contiene los nutrientes necesarios para mantener una comunidad microbiana sana. Más de 20 mg  $\text{CO}_2$ /kg/hora se considera alto. Según esta escala, hay mucha actividad biológica en el suelo, lo que indica una comunidad microbiana grande y sana. Debe entenderse que estas escalas sólo pretenden servir de referencia general, y que la interpretación de la respiración basal debe tener en cuenta el contexto particular del cultivo y las condiciones del suelo. (Pardo-Plaza et al. 2018).

### 2.5.2. Biomasa microbiana

El volumen de materia orgánica constituida por microorganismos que está presente en un suelo u otro medio se conoce como biomasa microbiana. El seguimiento de la biomasa microbiana es crucial para determinar la actividad biológica del suelo y su capacidad para sustentar la producción de cultivos. El método de respiración inducida por sustrato (RIS) es un método muy utilizado para calcular la biomasa de microorganismos. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido por los microorganismos en respuesta a un sustrato rápidamente degradable se mide mediante este método, que consiste en añadir el sustrato al suelo.

Anderson y Domsch (1978) descubrieron que el método de respiración inducida por el sustrato es un método práctico y preciso para estimar la biomasa microbiana del suelo. Otras investigaciones han demostrado que la medición de la biomasa microbiana mediante el método RIS (método de la respiración inducida) puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo y su capacidad para soportar la producción de cultivos. Uno de estos estudios es el de Brookes et al. (1985).

La biomasa microbiana es un indicador importante para evaluar la calidad del suelo. La biomasa microbiana del suelo se refiere a la cantidad de microorganismos que existen en él, y sirve como indicador del nivel de actividad biológica que tiene lugar en el suelo.

Los resultados de un estudio de investigación realizado en Loreto, Ecuador, revelaron una notable correlación entre la fertilización del suelo y la biomasa microbiana en suelos de cultivo de maíz. Según Mancero et al. (2019), la aplicación de abono orgánico a los suelos resultó en un aumento significativo de la biomasa microbiana en comparación con los suelos que no fueron fertilizados.

En resumen, la biomasa microbiana es una medida importante de la actividad biológica del suelo, y el método de la respiración inducida por el sustrato es una técnica útil para medir esta biomasa. La biomasa microbiana puede ser medida como la cantidad de carbono por unidad de suelo. Por ejemplo, en un estudio realizado por García-Orenes, (2013), se midió la biomasa microbiana en diferentes tipos de suelo como la cantidad de carbono orgánico por unidad de suelo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la medición de la biomasa microbiana puede ser realizada mediante diferentes técnicas y métodos, y que la medición del carbono puede ser uno de ellos.

La biomasa microbiana se cuantifica como el contenido de carbono de una unidad de suelo. Por ejemplo, la cantidad de carbono orgánico por unidad de suelo fue utilizada por García-Orenes (2013) para medir la biomasa microbiana en varios tipos de suelo. Sin

embargo, es crucial recordar que para medir la biomasa microbiana se pueden utilizar múltiples metodologías y enfoques, incluida la medición del carbono.

En conclusión, el método de respiración inducida por el sustrato es una herramienta útil para evaluar la biomasa microbiana, que es un indicador esencial de la actividad biológica del suelo. Es importante recordar que la interpretación de la biomasa microbiana del suelo puede cambiar en función del tipo de suelo, el entorno y los objetivos de la investigación. En general, se cree que una mayor actividad biológica del suelo y una mayor capacidad para sostener la producción de cultivos están indicadas por una mayor biomasa microbiana del suelo.

La biomasa microbiana se evaluó en varios tipos de suelo en un estudio de García-Orenes et al. (2013), y se descubrió que los niveles oscilaban entre 200 y 1000  $\mu\text{g C/g}$ . La biomasa microbiana se evaluó en suelos forestales en un estudio diferente realizado por Chen et al. (2018), y se descubrió que los niveles oscilaban entre 200 y 1500  $\mu\text{g C/g}$ .

### **2.5.3. Actividad fosfatasa de un suelo**

La capacidad del suelo para hidrolizar moléculas de fosfato orgánico y liberar fosfato inorgánico se conoce como actividad fosfatasa del suelo, y es crucial para la disponibilidad de fósforo en el suelo y el crecimiento de las plantas. Indicador esencial de la actividad biológica del suelo, la actividad de la fosfatasa del suelo puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo y la capacidad de producción de los cultivos.

Dado que la actividad de la fosfatasa está vinculada a la disponibilidad de fósforo en el suelo y al crecimiento de las plantas, puede utilizarse como indicador de la calidad del suelo, según la investigación de García-Orenes et al. (2013). Además, otras investigaciones han demostrado que las variables ambientales, incluyendo la temperatura del suelo, el contenido de humedad y el pH tienen un impacto en la actividad de la fosfatasa del suelo, como Tabatabai y Bremner (1969).

La presencia de actividad enzimática fosfatasa y ureasa puede servir como marcadores fiables para evaluar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. La fosfatasa es un catalizador enzimático responsable de la hidrólisis de los fosfatos orgánicos en formas más fácilmente accesibles para las plantas. A la inversa, la ureasa es una enzima que facilita la descomposición de la urea en amonio, un compuesto nitrogenado que puede ser asimilado eficazmente por las plantas. Según una investigación realizada por Afanador-Barajas et al. (2020), se observó que los suelos con elevados niveles de carbono orgánico y contenido de

nutrientes presentaban una mayor actividad de las enzimas fosfatasa y ureasa en suelos de agroecosistemas de Colombia.

El método para calcular la actividad de la fosfatasa utilizando el sustrato p-nitrofenil fosfato (pNPP) fue descrito por Tabatabai y Bremner en 1969. Esta metodología consiste en añadir una solución de pNPP al suelo y medir la cantidad de p-nitrofenol (pNP), un subproducto de la descomposición del sustrato por la enzima fosfatasa que se encuentra en el suelo, que se libera. El análisis espectrofotométrico se utiliza para cuantificar la cantidad de pNP emitida.

En términos de micromoles de pNP liberados por gramo de suelo y hora, ( $\mu\text{mol pNP/g suelo/h}$ ). o mol pNP/g suelo/h, se mide la actividad de la fosfatasa. Esta medida representa la cantidad de fosfatasa y la capacidad de la enzima para hidrolizar compuestos orgánicos de fosfato en el suelo. Existen varios enfoques para evaluar la actividad de la fosfatasa en el suelo, y el trabajo de Tabatabai y Bremner (1969) presenta uno de los enfoques más frecuentemente empleados y generalmente considerado en el mundo científico. La presencia de microorganismos en el suelo, la temperatura, la humedad y el pH son sólo algunos ejemplos de las variables que pueden afectar a la actividad de la fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969). Es crucial evaluar los valores de actividad de la fosfatasa a la luz del tipo de suelo, el medio ambiente y los objetivos de la investigación.

De acuerdo con la investigación realizada por Moreno-Conn et al. (2021), referencia pertinente ya que se centra en el examen de la solubilización del fosfato en suelos a través de la acción de bacterias pertenecientes al género *Burkholderia*. La enzima fosfatasa desempeña un papel crucial en el mecanismo de solubilización del fosfato en el suelo, ya que facilita la hidrólisis de los ésteres orgánicos de fosfato, liberando así fosfato inorgánico que puede ser utilizado fácilmente por las plantas. Este estudio examina la capacidad de la bacteria *Burkholderia* para solubilizar fosfato en suelos ubicados en el altiplano de Colombia. Los resultados de este estudio ofrecen información valiosa sobre la actividad enzimática de la fosfatasa en estos suelos.

Dependiendo del tipo de suelo y del entorno, la interpretación de las lecturas de la actividad de la fosfatasa del suelo puede cambiar. No obstante, pueden tenerse en cuenta los intervalos generales que se indican a continuación según (Moreno – Conn et al. 2006).

Bajo: menos de  $150 \mu\text{mol pNP/g suelo/h}$

Medio: entre  $150$  y  $420 \mu\text{mol pNP/g suelo/h}$

Alto: más de  $420 \mu\text{mol pNP/g suelo/h}$

Es crucial recordar que estos rangos sólo pretenden servir como referencia general, y que los resultados sólo deben interpretarse dentro del contexto específico del estudio o del manejo del suelo. Además, puede haber cambios en los valores de actividad de la fosfatasa en función del método utilizado para evaluarla y de la estación en la que se realice el muestreo (García-Orenes et al. 2013).

#### **2.5.4. Actividad ureasa del suelo**

La capacidad del suelo para hidrolizar la urea y liberar amonio, necesario para la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y el crecimiento de las plantas, se conoce como actividad ureasa del suelo. Indicador esencial de la actividad biológica del suelo, la actividad ureasa del suelo puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo y la capacidad de producción de los cultivos.

La influencia de las variables ambientales, como la temperatura del suelo, el contenido de humedad y el pH, en la actividad de la ureasa del suelo ha quedado demostrada en estudios realizados por Kandeler y Herber (1988). Además, la presencia de actividad microbiana en el suelo ejerce una influencia sobre la actividad de la ureasa en el suelo. El procedimiento para cuantificar la actividad de la ureasa en el suelo mediante el proceso de hidrólisis de la urea y el posterior análisis espectrofotométrico de la liberación de amonio resultante se describe en el estudio realizado por Kandeler y Gerber (1988). Esta tecnología cuantifica la liberación de amonio del suelo debida al proceso de hidrólisis de la urea catalizado por la enzima ureasa presente en el suelo. El método implica la introducción de una solución de urea. La cuantificación del amonio liberado se realiza mediante análisis espectrofotométrico.

La cantidad de amonio liberado por gramo de suelo cada hora por la ureasa se mide en micromoles ( $\text{mol NH}_4^+/\text{g suelo/h}$ ). Esta medida representa la cantidad de ureasa en el suelo y lo bien que puede descomponer la urea para producir amonio. Aunque existen otras formas de evaluar la actividad de la ureasa en el suelo, el artículo de Kandeler y Gerber de 1988 muestra uno de los métodos más frecuentemente empleados y generalmente considerado en la comunidad científica. Los micromoles de amonio liberados por gramo de suelo y hora ( $\mu\text{mol NH}_4^+/\text{g suelo/h}$ ) son las unidades utilizadas para medir la actividad de la ureasa. Esta medida representa la cantidad de ureasa presente en el suelo y su capacidad para descomponer la urea y liberar amonio.

El estudio de Kandeler y Gerber (1988) muestra uno de los procedimientos más utilizados y reconocidos en el mundo científico. Es fundamental tener en cuenta que existen diversas metodologías para evaluar la actividad de la ureasa en el suelo. Es fundamental

recordar que diversas variables, como la temperatura, la humedad, el pH y la presencia de microorganismos en el suelo, pueden afectar a la actividad de la ureasa. Es fundamental evaluar los valores de actividad de la ureasa en función del tipo de suelo, el entorno y los objetivos de la investigación.

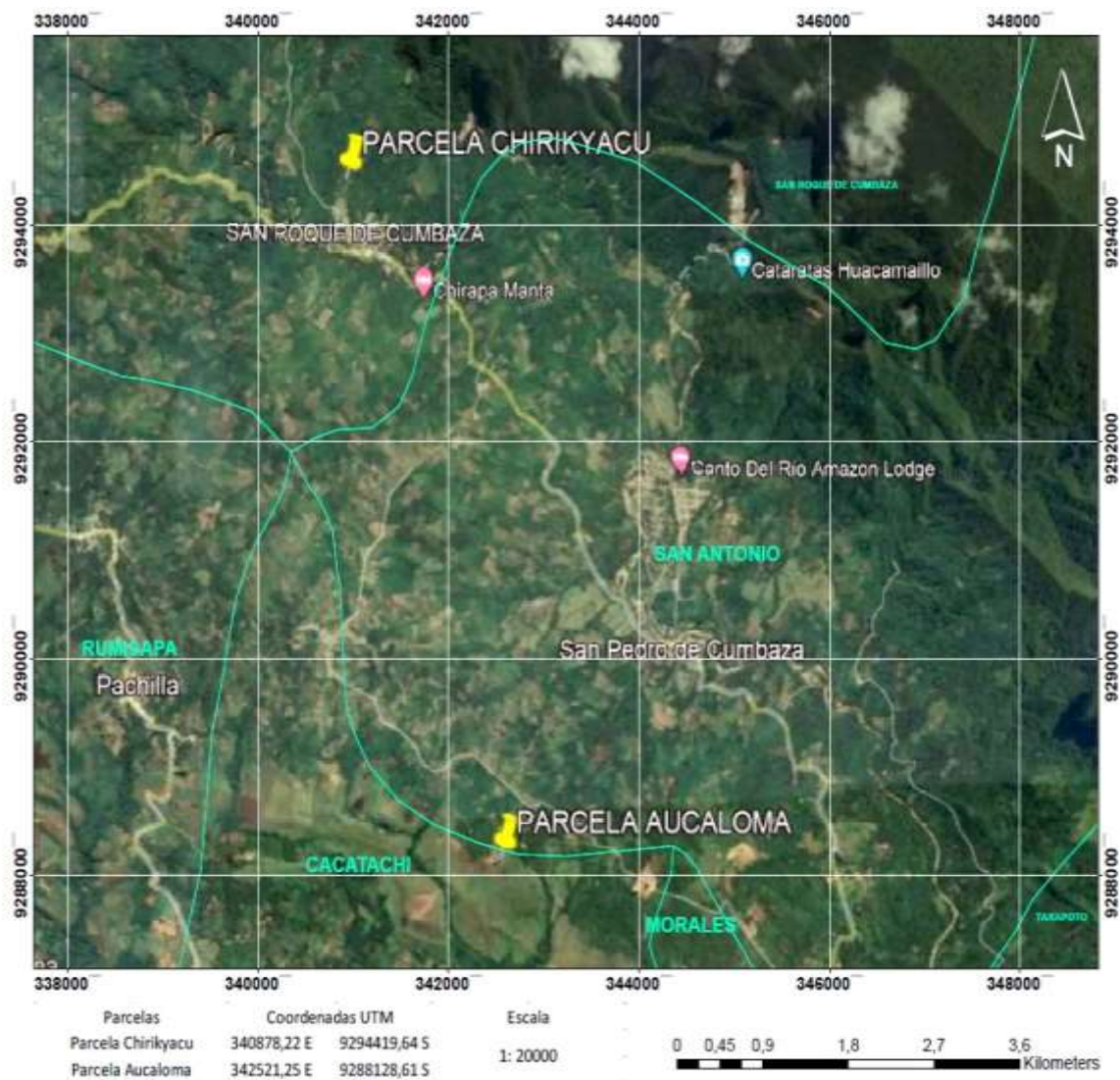
Según (Cayetano, 2022) los valores de actividad de la ureasa entre 300 y 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$  se consideran generalmente moderados, y los valores superiores a 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , altos. Sin embargo, la interpretación precisa de los valores de actividad de la ureasa depende de las circunstancias particulares en las que se probaron, al igual que con la actividad de la fosfatasa, por lo que es crucial tener en cuenta que estos valores son simplemente una referencia general.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

La zona de estudio Chirikyacu está situada en la jurisdicción de San Roque de Cumbaza, que pertenece a la provincia administrativa de Lamas, en el departamento de San Martín. Del mismo modo, la zona de Aucaloma fundo de la UNSM se encuentra en el distrito de Cacatachi, que forma parte de la provincia de San Martín. Las áreas de investigación están situadas en Aucaloma, que se encuentra a una altitud de 714 metros sobre el nivel del mar, y Chirikyacu, que se encuentra a una altitud de 1 140 metros sobre el nivel del mar, respectivamente.



**Figura 1.** Ubicación del campo experimental.

### 3.2 Materiales y equipos

Se muestra los materiales, equipos, reactivos e insumos utilizados en el proyecto (Tabla 1).

**Tabla 1.** Relación de materiales y equipos utilizados en el proyecto.

Materiales	Equipos	Reactivos	Insumos
Tubos falcon 50 ml	Espectrofotómetro AA Espectrofotómetro UV	Ácido sulfúrico	Solución sacarosa
Probetas	visible	Ácido clorhídrico	Agua oxigenada
Placas petri	Digestor microkjendhal	Ácido acético	Tinta
Placas concéntricas	Destilador de nitrógeno	Hidróxido de Na	Glicerol
Vidrio reloj	Centrífuga	Acetato de amonio	Agua destilada
Tamices 45 y 250 um	Microscopio	Bicarbonato	Eriocromo T
Estuche disección	Estereomicroscopio	Sulfato de K	Ferroín
Contómetro	Baño maría	Sulfato de Cu	Solución stock ASI
Tubo muestreador	Mufla	Amoniaco	Solución amortiguadora
Tabla munssel	Bureta automática	Hexametafosfato	Solución Sulfato ferroso
Papel filtro	Potenciómetro	Ácido fosfórico	EDTA
Pipeta automática	Conductímetro	Ácido nítrico	Rojo de metilo

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Antecedentes de parcelas

El lugar elegido para la instalación del experimento está situado en la zona de Aocaloma, a una altitud aproximada de 714 metros sobre el nivel medio del mar. Antes de la ejecución del proyecto, la zona designada ya se había utilizado para cultivos como el plátano y el caupí. Se eligió esta parcela porque ofrece las mejores condiciones para llevar a cabo el experimento, sobre todo en lo que respecta a las vías de acceso. Además, por lo que respecta a la instalación del experimento en la zona de Chirikyaku, está situada a una altitud de aproximadamente 1 143 metros con respecto al nivel del mar. El cultivo de hortalizas y ciertos cultivos básicos, como frijoles, yuca, plátanos y otros, se ha practicado históricamente en este lugar en particular. El lugar elegido por las características favorables para la ejecución del proyecto, entre ellas su ventajosa posición y la presencia de una carretera de acceso bien comunicada, lo que facilitaba la eficacia de las operaciones logísticas.

La flora característica de ambos lugares incluye la notable presencia de especies vegetales como la *Pteridium aquilinum* (Shapumba) y la *Imperata contracta*

(Cashucsha). Las características edafoclimáticas de la zona en estudio Aucaloma, presenta una precipitación promedio anual de 1 519 mm, una altitud aproximada de 714 msnm, son suelos Inceptisoles, poseen una textura que va de suelos francos a francos arenosos y con una pendiente de aproximadamente 14,96 % (Barrios, 2017).

Las características edafoclimáticas de la zona en estudio Chirikyaku, presenta una precipitación promedio anual de 1853 mm, una altitud aproximada de 1143 msnm, son suelos Inceptisoles, poseen una textura que va de suelos francos, francos arcillosos y francos arenosos y con una pendiente de aproximadamente 19,85 % (Barrios, 2017).

### **3.3.2 Instalación de parcelas**

Como parte de la investigación de maestría en curso, el 8 de agosto de 2019 se instaló el proyecto de investigación en las dos localidades de estudio: Chirikyaku y Aucaloma. Previo a la instalación se realizaron las coordinaciones pertinentes con el propietario del terreno en Chirikyaku y la administración del fundo Aucaloma de propiedad de la UNSM para obtener los permisos respectivos.

En el marco de la preparación del terreno para la siembra, se llevó a cabo una aplicación de enmienda 30 días antes (8 de julio de 2019) de la misma. Se aplicó cal agrícola en una proporción de 1 tonelada por hectárea (1t/ha), la cual fue distribuida en toda la parcela. Realizando los cálculos para la aplicación de dicha enmienda se obtuvo que para 64 m<sup>2</sup> equivalente a cada sub parcela se aplicó 6,4 kg de cal agrícola, haciendo un total de 576 kg de dicha enmienda para las dos zonas de estudio, considerando que cada zona está compuesta de 45 subparcelas siendo el total de sub parcelas la cantidad de 90. La aplicación de cal agrícola tuvo como objetivo principal corregir la acidez del suelo, lo que contribuyó a mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esta práctica favoreció el crecimiento de microorganismos beneficiosos para el suelo, lo que a su vez pudo reducir la presencia de patógenos y mejorar la salud de las especies de leguminosas instaladas

### **3.3.3 Tratamientos en estudio**

La aplicación de Inóculo a las semillas se realizó 7 de agosto de 2019 y la siembra el 8 de agosto de 2019, a los 15 días después de la siembra el 23 de agosto de 2019 se realizó la incorporación de los tratamientos. Estos tratamientos incluyeron la aplicación de humus de lombriz, roca fosfórica y fertilización NPK, la fuente de nitrógeno y potasio se aplicaron en dos etapas y la fuente de Fósforo en una etapa.

En el marco del estudio realizado donde se involucra el desarrollo de las 4 leguminosas, se realizó un análisis de suelo inicial con el fin de determinar los niveles en el

cual se encuentran los nutrientes donde se realizó el experimento y con esa referencia establecer la dosis adecuada de fertilización. Para ello, se utilizó una fórmula de fertilización que contempló los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) necesarios para el crecimiento y desarrollo óptimo de las leguminosas. En concreto, se aplicó una fórmula de fertilización 80-100-100, (Ji et al. 2019), lo que se traduce en una proporción de 80 kg/ha de nitrógeno, 100 kg/ha de fósforo, dosis de fósforo tomada de (Vera et al. 2022) y 100 kg/ha de potasio. Para la fuente de nitrógeno se utilizó urea (46 % N), mientras que para la fuente de fósforo se empleó superfosfato triple de calcio (46 %  $P_2O_5$ ) y para la fuente de potasio se utilizó cloruro de potasio (60 %  $K_2O$ ). Estas fuentes de nutrientes permitieron complementar los requerimientos nutricionales de las leguminosas y garantizar un crecimiento y desarrollo óptimo de las mismas.

En relación al nitrógeno, se determinó que la fuente de Urea requerida para complementar los requerimientos nutricionales de las leguminosas es de 173,91 kg/ha, la cual se aplicó en dos etapas de 86,95 kg/ha cada una. Es importante destacar que este cálculo se realizó considerando una superficie de 1 hectárea (10 000 m<sup>2</sup>), mientras que para el experimento en cuestión se calculó la cantidad necesaria para una subparcela de 64 m<sup>2</sup> correspondiente al tratamiento T<sub>4</sub>. En este sentido, se determinó que la cantidad necesaria de Urea para cada aplicación en cada subparcela es de 556,48 g, correspondiente a la mitad de la dosis total requerida. La primera aplicación se realizó 15 días después de la siembra (23 de agosto de 2019), mientras que la segunda se llevó a cabo a los 15 días después de la primera aplicación (7 de setiembre de 2019), completando así la dosis total de Urea requerida para el experimento. Se aplicó en 9 subparcelas en la zona de estudio Chirikyacu y en nueve subparcelas en la zona de estudio Aocaloma, lo que suma un total de 18 subparcelas tratadas con Urea. Este enfoque permitió garantizar un aporte adecuado de nitrógeno en todas las subparcelas del experimento. En relación al aporte de fósforo, se determinó que la cantidad necesaria de superfosfato triple de calcio para complementar los requerimientos nutricionales de las leguminosas es de 217,9 kg/ha. Es importante destacar que este cálculo se realizó considerando una superficie de 1 hectárea (10 000 m<sup>2</sup>), mientras que para el experimento en cuestión se calculó la cantidad necesaria para una subparcela de 64 m<sup>2</sup>, correspondiente al tratamiento T<sub>4</sub>. En este sentido, se determinó que la cantidad necesaria de superfosfato triple de calcio para cada subparcela es de 1391,3 g, lo que asegura el aporte adecuado de P para el crecimiento y desarrollo óptimo de las leguminosas. La aplicación de este fertilizante se realizó a los 15 días después de la siembra (23 de agosto de 2019) en una sola aplicación, lo que garantizó una distribución homogénea del mismo en el suelo y una disponibilidad temprana del fósforo para las plantas. Se aplicó en 9 subparcelas en la zona de estudio Chirikyacu y en nueve subparcelas en la zona de estudio

Aucaloma, lo que suma un total de 18 subparcelas tratadas con superfosfato triple de calcio. Este enfoque permitió garantizar un aporte adecuado de Fósforo en todas las subparcelas del experimento. En relación al aporte de K, se determinó que la cantidad necesaria de cloruro de potasio para complementar los requerimientos nutricionales de las leguminosas es de 166,6 kg/ha. Es importante destacar que este cálculo se realizó considerando una superficie de 1 hectárea (10 000 m<sup>2</sup>), mientras que para el experimento en cuestión se calculó la cantidad necesaria para una subparcela de 64 m<sup>2</sup>, correspondiente al tratamiento T<sub>4</sub>. En este sentido, se determinó que la cantidad necesaria de cloruro de potasio para cada subparcela es de 1 066,6 g, la cual se aplicó en dos etapas de 533,3 g cada una. La primera aplicación se realizó 15 días después de la siembra (23 de agosto de 2019), mientras que la segunda se llevó a cabo a los 15 días después de la primera aplicación (7 de setiembre de 2019), completando así la dosis total requerida de potasio. Es importante destacar que el tratamiento T<sub>4</sub>, correspondiente a la aplicación de cloruro de potasio.

Se aplicó en 9 subparcelas en la zona de estudio Chirikyacu y en nueve subparcelas en la zona de estudio Aucaloma, lo que suma un total de 18 subparcelas tratadas con Cloruro de potasio. Este enfoque permitió garantizar un aporte adecuado de potasio en todas las subparcelas del experimento. Referente al humus de lombriz, se aplicó una dosis de 2 toneladas por hectárea de humus de lombriz (Subler y Edwards, 2004), correspondiente al tratamiento T<sub>3</sub>. Esta dosis fue aplicada en un total de 18 subparcelas, nueve en cada una de las dos zonas de estudio. Para determinar la cantidad necesaria de humus por subparcela, se realizaron los cálculos correspondientes, lo que permitió establecer que cada subparcela recibió una cantidad de 12,8 kg de humus, 6,4 kg por aplicación. En este sentido, se utilizó un total de 230,4 kg de humus en todo el experimento, lo que aseguró un aporte adecuado de nutrientes y materia orgánica al suelo. La aplicación se fraccionó en dos etapas; la primera aplicación 6,4 kg se realizó 15 días después de la siembra (23 de agosto de 2019), mientras que la segunda, 6,4 kg se llevó a cabo a los 15 días después de la primera aplicación (7 de setiembre de 2019). Referente a la roca fosfórica se estimó utilizar 150 kg/ha correspondiente al tratamiento T<sub>2</sub>. Esta dosis fue aplicada en un total de 18 subparcelas, nueve en cada una de las dos zonas de estudio. Para determinar la cantidad necesaria de roca fosfórica por subparcela, se realizaron los cálculos correspondientes, lo que permitió establecer que cada subparcela recibió una cantidad de 0,96 kg de roca fosfórica, se determinó que solo se usaría el 50 % del total, por lo tanto, por cada subparcela se incorporó 0,48 kg, o 480 g. En este sentido, se utilizó un total de 8,64 kg de roca fosfórica en todo el experimento, la aplicación de toda la dosis se realizó a los 15 días de la siembra (23 de agosto de 2019).

**Tabla 2.** Tratamientos en estudio del trabajo de investigación

N°	Tratamientos	Descripción
1	T <sub>1</sub>	Inoculación con microorganismos (IM)
2	T <sub>2</sub>	Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)
3	T <sub>3</sub>	Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)
4	T <sub>4</sub>	Fertilización Inorgánica (NPK)
5	T <sub>5</sub>	Sin Inoculación (SI)

Cálculo de fertilizantes					
Fertilizante/abono	Número de Aplicaciones	Cantidad en g	Cantidad en g por 18 subparcelas	Cantidad en kg por 18 subparcelas en las 2 zonas de estudio	
Urea	2	556,48	20033,28	20,03328	21,00
Superfosfato triple de Calcio	1	1391,3	25043,40	25,0434	26,00
Cloruro de Potasio	2	533,3	19198,80	19,1988	20,00
Roca Fosfórica	1	480	8640,00	8,64	9,00
Humus de Lombriz	2	6400	230400,00	230,4	231,00
Enmienda	Número de Aplicaciones	Cantidad en g	Cantidad en g por 90 subparcelas	Cantidad en kg por 90 subparcelas en las 2 zonas de estudio	
Cal agrícola	1	6400	576000,00	576	576

**Figura 2.** Resumen de cantidad de fertilizante, abono y enmienda utilizado.**3.3.3.1. Factores de estudio**

Factor Leguminosas (Subparcelas)

- *Canavalias ensiformes* – *Crotalaria juncea* = A

- *Vigna unguiculata* – *Cajanus cajan* = B

- *Canavalias ensiformes* + *Crotalaria juncea* – *Vigna unguiculata*  
+ *Cajanus cajan* = AB

Factor Inóculo/Enmienda (Parcela principal) (Tratamientos)

- T<sub>1</sub> = Inoculación con microorganismos (IM)

- T<sub>2</sub> = Inoculación con microorganismos más 50 % de roca fosfórica (IM+P)

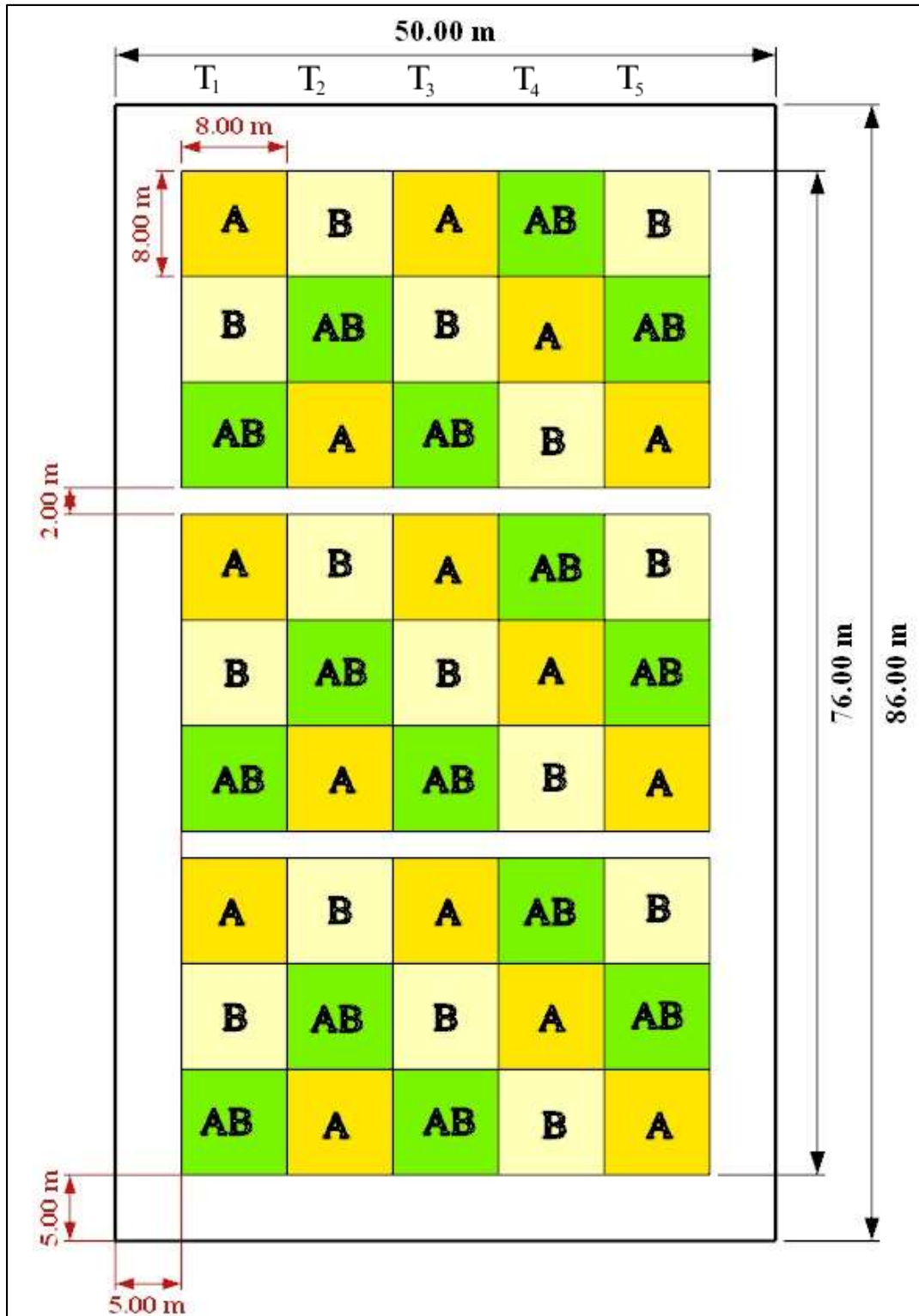
- T<sub>3</sub> = Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)
- T<sub>4</sub> = Fertilización Inorgánica (NPK)
- T<sub>5</sub> = Sin inóculo y sin fertilizante (Sin Inoculación) (SI)

### **3.3.3.2. Croquis de la parcela y unidad experimental**

La parcela experimental constituida de 4 300 m<sup>2</sup> (86 x 50 m) por cada zona de estudio (Aucaloma y Chirikyacu), cabe indicar que por todo el contorno se consideró 5 m de calle (circulación), quedando un área efectiva de 2 880 m<sup>2</sup> (72 x 40 m), esta parcela fue dividida en tres bloques o repeticiones de 960 m<sup>2</sup> (24 x 40 m), cada bloque fue dividido en 15 subparcelas de 64 m<sup>2</sup> (8 x 8 m); haciendo un total 45 subparcelas por cada zona de estudio.

### **3.3.3.3. Análisis estadístico**

El estudio empleó el análisis de varianza para determinar los indicadores de calidad más adecuados para el seguimiento. Para ver las diferencias estadísticas significativas entre los factores y tratamientos se empleó la prueba de Duncan, utilizando un nivel de significación del 5 %. Además, se calcularon el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). Los estudios se realizaron con software Infostat (INFOSTAT, 2004).



**Figura 3.** Diseño de parcela sub – dividida con 3 repeticiones.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



### 3.3.4 Diseño experimental

Para el ensayo en campo se utilizó un diseño experimental de tipo Parcelas subdivididas, con tres bloques en campo definitivo. La parcela principal correspondió al factor inóculo/enmienda. Las subparcelas correspondieron al factor leguminosa, constituido por: *Canavalia ensiformes* – *Crotalaria juncea* = A; *Vigna unguiculata* – *Cajanus cajan* = B y *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* – *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan* = AB.

#### Análisis de varianza

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad
Inóculo	2
Leguminosas	2
Leguminosa * Inóculo	4
Tratamientos	4
Tratamiento * Leguminosa	8
Error experimental	24
Total	44

#### Modelo aditivo Lineal

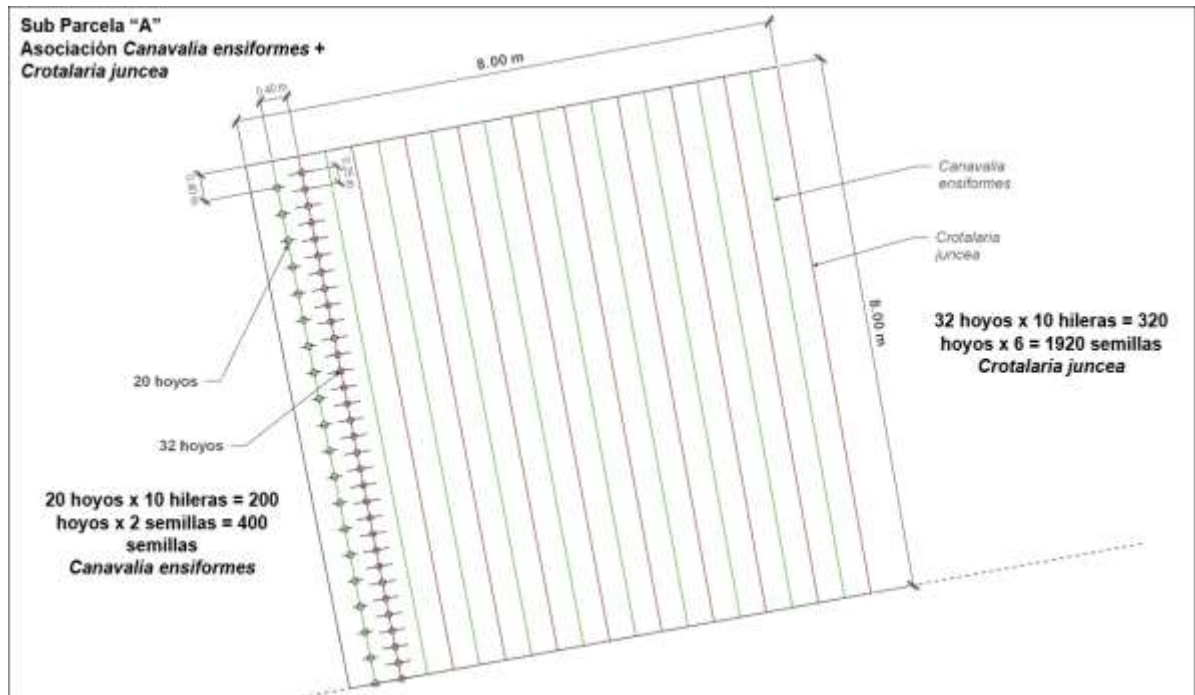
El Modelo lineal para un delineamiento de parcelas subdivididas con estructura de parcelas en bloques al azar se describe a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + \underbrace{\gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki}}_{\text{Representa a la parcela}} + \underbrace{\beta_j + (\tau\beta)_{ij}}_{\text{Representa a la subparcela}} + \varepsilon_{ijk}$$

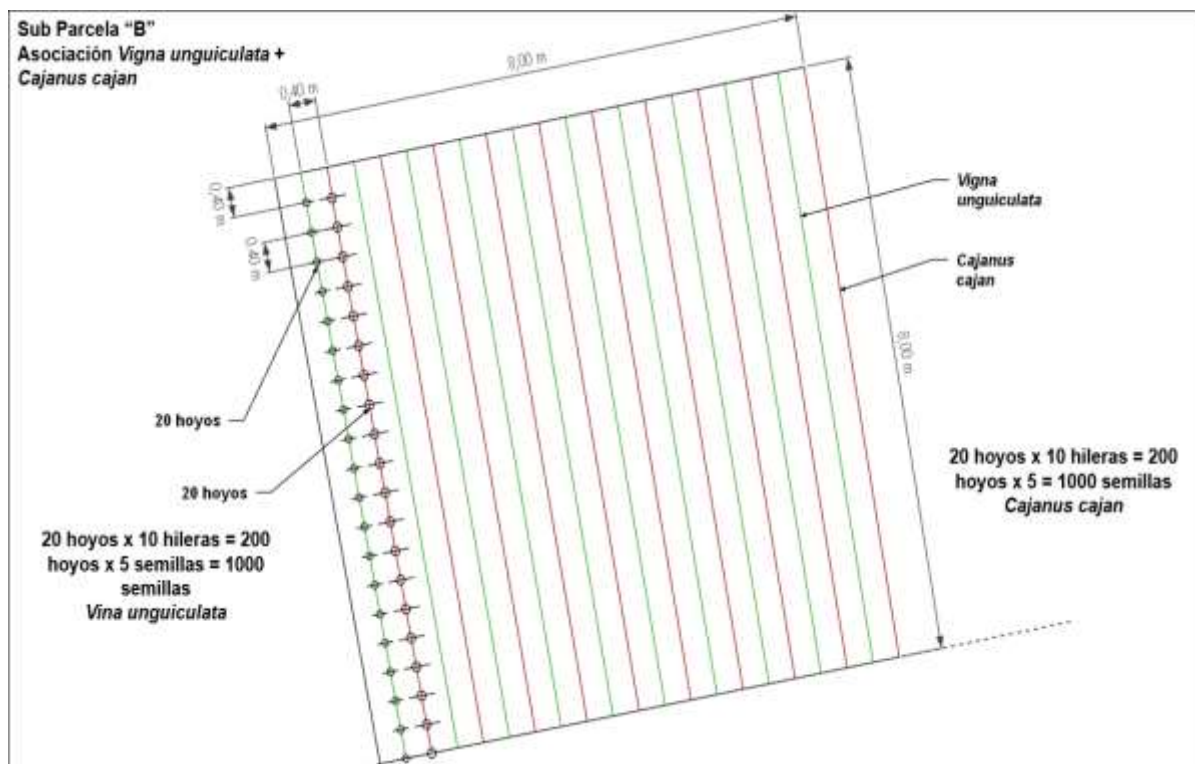
Dónde:

- $Y_{ijk}$  = Observación de la unidad experimental
- $\mu$  = Media general del ensayo
- $\gamma_k$  = Efecto de los bloques
- $\tau_i$  = Efecto del tratamiento T de la parcela
- ( $\gamma\tau$ ) $_{ki}$  = Error de la parcela [E(a)]
- $\beta_j$  = Efecto del tratamiento  $\beta$  de la subparcela
- ( $\tau\beta$ ) $_{ij}$  = Efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela y subparcela.
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error de la subparcela [E(b)]

### 3.3.5 Diseño de subparcelas



**Figura 4.** Diseño de subparcela A.



**Figura 5.** Diseño de subparcela B.

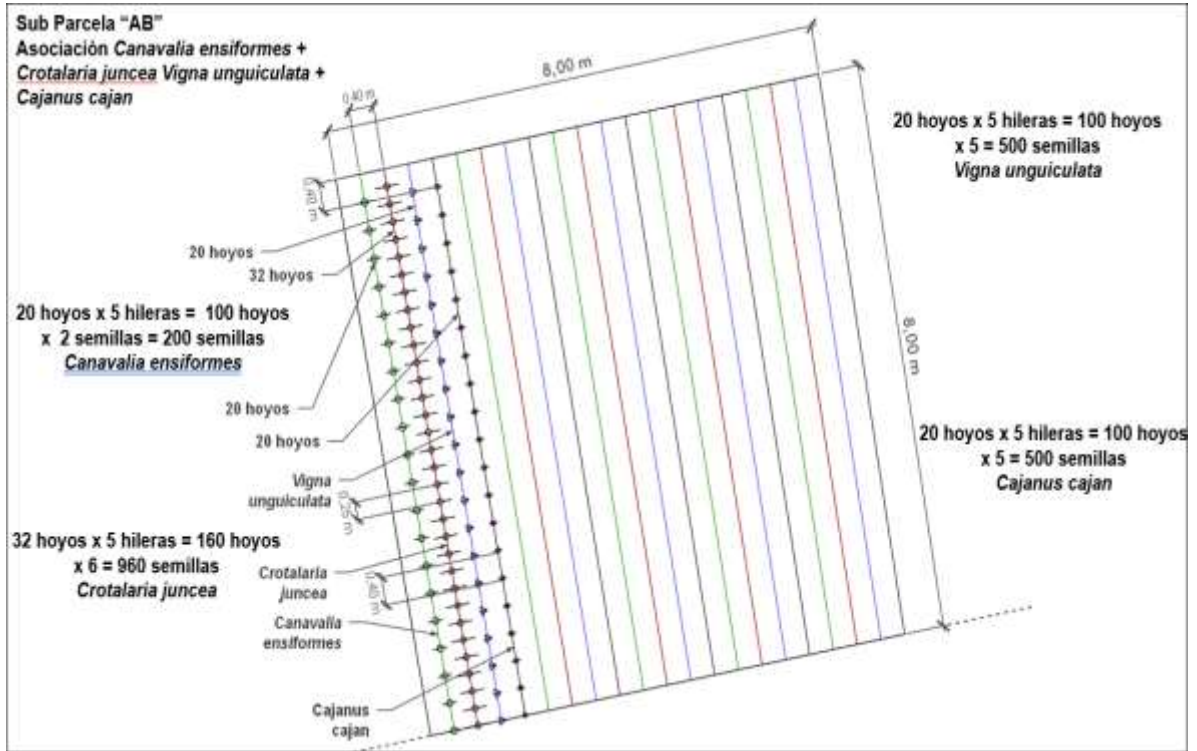


Figura 6. Diseño de subparcela AB.

Cálculo cantidad de semilla utilizada

Subparcela	Cantidad de semillas por subparcela	Cantidad de semillas por 5 subparcela	Peso de semillas (g)	Total Semillas Pacela Chirikyacu	Total Semillas Pacela Aucaloma	Total semillas	Cantida de semillas (kg)
<b>Factor A</b>							
<i>Canavalia ensiformes</i>	400	2000	3381,2	6000	6000	12000	20,2872
<i>Crotalaria juncea</i>	1920	9600	408	28800	28800	57600	2,448
<b>Factor B</b>							
<i>Vigna unguiculata</i>	1000	5000	1226	15000	15000	30000	7,356
<i>Cajanus cajan</i>	1000	5000	955	15000	15000	30000	5,73
<b>Factor AB</b>							
<i>Canavalia ensiformes</i>	200	1000	1690	3000	3000	6000	10,14
<i>Crotalaria juncea</i>	960	4800	204	14400	14400	28800	1,224
<i>Vigna unguiculata</i>	500	2500	613	7500	7500	15000	3,678
<i>Cajanus cajan</i>	500	2500	477	7500	7500	15000	2,862

Resumen cantidad de semilla (kg)		
<i>Canavalia ensiformes</i>	30,4272	31,00
<i>Crotalaria juncea</i>	3,672	4,00
<i>Vigna unguiculata</i>	11,034	12,00
<i>Cajanus cajan</i>	8,592	9,00

Figura 7. Cantidad de semillas por las 2 zonas de estudio.

Cantidad de semilla sin inóculo		
Subparcelas	Cantidad de semillas por subparcela	Cantidad de semillas por 6 subparcelas
<b>Factor A</b>		
<i>Canavalia ensiformes</i>	400	2400
<i>Crotalaria juncea</i>	1920	11520
<b>Factor B</b>		
<i>Vigna unguiculata</i>	1000	6000
<i>Cajanus cajan</i>	1000	6000
<b>Factor AB</b>		
<i>Canavalia ensiformes</i>	200	1200
<i>Crotalaria juncea</i>	960	5760
<i>Vigna unguiculata</i>	500	3000
<i>Cajanus cajan</i>	500	3000

**Figura 8.** Cantidad de semilla sin inóculo.

### 3.3.6 Selección de leguminosas y microorganismos

Las leguminosas de cobertura seleccionadas para la recuperación de suelos fueron: *C. ensiformes* (Frijol de metro o frijol canavalia), *Crotalaria juncea* (Cascabeles), *V. unguiculata* (Caupí) y *C. cajan* (Frijol de palo). Por su parte los microorganismos utilizados fueron: Bacterias solubilizadoras de fosfato (*Enterobacter ludwigii*) Bacterias fijadoras de nitrógeno (Género: *Bradyrhizobium*) - (Rizobios) y Hongos Micorrízicos Arbusculares HMA (*Acaulospora rugosa*, *Ambispora appendicola* y *Acaulospora* sp).

La selección de leguminosas y microorganismos eficientes, como las bacterias y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se han llevado a cabo investigaciones previas al presente trabajo, como el estudio de (Barrios, 2017) sobre los morfotipos de HMA asociados a leguminosas, el de (Casique, 2018) sobre la solubilización de fosfatos por bacterias aisladas de la rizósfera de leguminosas, y el de (Valdiviezo, 2021) sobre la compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y HMA. Estos estudios han proporcionado información para la selección de Leguminosas y microorganismos eficientes.

Para el caso de las bacterias fijadoras de nitrógeno, las cepas de Rizobios son específicas; para *V. unguiculata* se utilizó la cepa RC – 102; para *C. ensiformes* se utilizó la cepa RCV – 057 – 01; para *C. juncea* se utilizó la cepa RCR – 051 y para *C. cajan* se utilizó la cepa RP – 119; todas las cepas mencionadas son del Género *Bradyrhizobium* (Bacterias fijadoras de nitrógeno) y se encuentran depositadas en la colección del Laboratorio de Microbiología Agrícola - UNSM, se conservan en glicerol al 30 % y a -20°C. La inoculación

de las cepas a las respectivas leguminosas fue a razón de 10 ml de inóculo por kg de semilla, el inóculo contiene la cepa en solución YEM que es un extracto de levadura de Manitol, una vez producida la inoculación, seorean las semillas por espacio de 30 min y se procede con la siembra en campo definitivo.

Para el caso de las bacterias solubilizadoras de fosfatos se utilizó la cepa Sfc – 159 – 01 que corresponde a la *Enterobacter ludwigii* y se utilizó para la inoculación de todas las leguminosas, se encuentran depositadas en la colección del Laboratorio de Microbiología Agrícola - UNSM, se conservan en glicerol al 30 % y a -20 °C. La inoculación de las cepas a las respectivas leguminosas fue a razón de 10 ml de inóculo por kg de semilla, el inóculo contiene la cepa en solución YEM que es un extracto de levadura de Manitol, una vez producida la inoculación, seorean las semillas por espacio de 30 min y se procede con la siembra en campo definitivo

Para el caso de los hongos micorrízicos arbusculares, se ha utilizado el género *Acualospora* y *Ambispora*, que corresponde a un consorcio de tres especies, *Acualospora rugosa*, *Acualospora* sp y *Ambispora appendicola*, para la multiplicación efectiva de estas micorrizas. Para llevar a cabo la multiplicación, se preparó un sustrato que consistió en una mezcla de arena lavada de río, suelo agrícola y vermiculita en una proporción de 1:1:1. Este medio fue esterilizado por separado en autoclave a una temperatura de 121°C durante 60 minutos (2 repeticiones de autoclavado). Posteriormente, se instaló el sustrato en macetas de ½ kg y se sembraron semillas de plantas altamente micotróficas como *C. juncea*, *Zea mays* y *Sorghum* spp. La inoculación del consorcio de las tres especies de HMA se realizó al momento de la siembra a razón de 1 g de inóculo por golpe y siembra de cada leguminosa por tratamiento. Cabe destacar que el inóculo utilizado se encuentra conservado en el banco de cepas del Laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSM.

### **3.3.7 Muestreo de suelos**

Se utilizó un método de colecta de muestras en zigzag para muestrear el suelo en las zonas de estudio y, para garantizar la representatividad de las muestras, se tomaron un total de 10 submuestras de las zonas de cada tratamiento a una profundidad de 0 a 20 cm. A continuación, las submuestras se homogeneizaron (mezclaron) para obtener 1 kg de muestra representativa de cada tratamiento estudiado. Para un total de 90 muestras por evaluación, se recolectaron 45 muestras para las áreas de investigación de Aucaloma y Chirikyacu. Se realizaron tres evaluaciones en total, obteniéndose 270 muestras para los análisis físicos, químicos y microbiológicos correspondientes. Se utilizaron bolsas de plástico para alojar las muestras con sus respectivas etiquetas de identificación de las mismas, el muestreo se realizó

con tubo muestreador tipo mole de acero inoxidable, también se utilizaron sacos sintéticos para el transporte de las muestras. Este procedimiento evitó la contaminación o alteración durante el transporte, garantizando la integridad y pureza de las muestras.

### 3.3.8 Primera evaluación

La primera evaluación se realizó a los 3 meses de la siembra (90 dds después de siembra), de las dos áreas de estudio, Chirikyacu y Aucaloma, se realizó el 8 de noviembre de 2019, registrándose en ese mes 191,2 mm de precipitación, 85,32 % de humedad relativa y 26,97 °C de temperatura promedio, (Senamhi, 2023). Antes de realizar la evaluación referida al muestreo de suelos, se realizaron podas de las 4 especies de leguminosas según el siguiente detalle. Para *V. unguiculata* se realizó la poda a los 55 días después de la siembra en época de floración, (2 de octubre de 2019). Con *C. juncea* se realizó la poda a los 65 días después de la siembra en época de floración, (12 de octubre de 2019). Respecto a *C. cajan* se realizó la poda a los 70 después de la siembra en época de floración, (17 de octubre de 2019). Para el caso de *C. ensiformes* se realizó la poda a los 75 días después de la siembra en época de floración, (22 de octubre de 2019). Respecto al material verde producto de las podas de las especies de leguminosas, éstas fueron reincorporadas en cada subparcela donde se ubican según el diseño de siembra con la finalidad de que se produzca la descomposición de la misma y la incorporación al suelo de nutrientes y materia orgánica.

Para efectos de esta evaluación referida al muestreo de suelos el 8 de noviembre se cumplió con la misma, se tomaron muestras de suelo por cada tratamiento de investigación, arrojando un total de 45 muestras por cada zona de estudio. El Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín realizó pruebas microbiológicas de biomasa microbiana, respiración basal, fosfatasa y ureasa en las muestras recolectadas durante la primera evaluación de las dos zonas de investigación, Chirikyacu y Aucaloma. Los análisis fisicoquímicos correspondientes se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas.

Posterior a la poda se procedió a la resiembra de las especies *V. unguiculata* y *C. juncea*, debido a que no brotaron luego de la poda, la resiembra se realizó el 31 de octubre de 2019, respecto a las especies *C. cajan* y *C. ensiformes* brotaron con normalidad.

### 3.3.9 Segunda evaluación

El proyecto de investigación incluyó la segunda evaluación de las dos áreas de estudio, Chirikyacu y Aucaloma a los 6 meses de la siembra, (180 dds después de siembra), el 10 de febrero de 2020, registrándose en ese mes 9,36 mm de precipitación, 80,29 % de humedad relativa y 26,08 °C de temperatura promedio, (Senamhi, 2023).

Antes de los 180 dds de la evaluación se procedió con la poda de *V. unguiculata* y *C. juncea*, en época de floración a 57 días y 60 días después de la segunda siembra (resiembra), el 27 de diciembre de 2019 y el 31 de diciembre de 2020 respectivamente. Las especies de *C. ensiformes* y *C. cajan* ambas fueron podadas el 1 de febrero de 2020 a 107 días después de la primera poda, para *C. cajan*, y 102 días para *C. ensiformes*, época que mostraron su segunda floración. El material verde producto de las podas de las especies de leguminosas, éstas fueron reincorporadas en cada subparcela donde se ubican según el diseño de siembra con la finalidad de que se produzca la descomposición de la misma y la incorporación al suelo de nutrientes y materia orgánica. Luego de la poda de *V. unguiculata* y *C. juncea* ya no se volvió a realizar la resiembra de éstas 2 especies debido a que ambas leguminosas tuvieron problemas agudos de plagas, básicamente hormigas defoliadoras y cortadoras de tallo.

Para efectos de esta evaluación, se tomaron muestras de suelo por cada tratamiento de investigación, arrojando un total de 45 muestras por cada zona de estudio. El Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín realizó pruebas microbiológicas de biomasa microbiana, respiración basal, fosfatasa y ureasa en las muestras recolectadas durante la segunda evaluación de las dos zonas de investigación, Chirikyacu y Aucaloma. Los análisis fisicoquímicos correspondientes se realizaron sobre las muestras en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas.

### 3.3.10 Tercera evaluación

El 11 de mayo de 2020 se realizó la tercera evaluación de las dos áreas de estudio Chirikyacu y Aucaloma a 9 meses de la siembra, (270 dds después de siembra), registrándose en ese mes 24,56 mm de precipitación, 78,18 % de humedad relativa y 26,21°C de temperatura promedio, (Senamhi, 2023). Para efectos de esta evaluación, se tomaron muestras de suelo por cada tratamiento de investigación, dando un total de 45 muestras por cada zona de estudio. El Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín realizó pruebas microbiológicas de biomasa microbiana, respiración basal, fosfatasa y ureasa en las muestras recolectadas durante la tercera evaluación de las dos zonas de investigación, Chirikyacu y Aucaloma. Los análisis fisicoquímicos correspondientes se

realizaron sobre las muestras en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas. Para esta tercera de evaluación ya no se realizaron podas por ser la última etapa de evaluación.

### **3.3.11 Manejo de muestras colectadas**

Las muestras de suelo obtenidas en las tres evaluaciones realizadas dentro de la zona experimental se enviaron posteriormente a dos laboratorios especializados adscritos a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM. Las investigaciones microbiológicas fueron realizadas por el laboratorio de microbiología agrícola, mientras que los análisis fisicoquímicos fueron efectuados por el laboratorio de suelos y aguas.

Para los análisis fisicoquímicos, cada muestra de suelo fue sometida a un proceso de secado en estufa a 50 °C durante 48 horas. Posteriormente, las muestras fueron trituradas utilizando un mortero y tamizadas a través de un tamiz con una abertura de 2 mm (Número 10). Finalmente, las muestras tamizadas se almacenaron en táper de 250 ml con tapa hermética. Es importante destacar que todos los materiales utilizados fueron previamente autoclavados para evitar cualquier tipo de contaminación cruzada.

En cambio, en el contexto del examen microbiológico, las muestras tamizadas se conservaron cuidadosamente en bolsas de polipropileno de uso inicial y se mantuvieron a una temperatura controlada de 4 °C. Este procedimiento garantizó una conservación suficiente de las muestras hasta su futuro análisis microbiológico. En resumen, se siguieron rigurosos procedimientos y medidas de precaución en el manejo y preparación de las muestras de suelo en las tres evaluaciones realizadas, tanto para los análisis fisicoquímicos como para los microbiológicos, con el objetivo de obtener resultados confiables y precisos en el estudio realizado.

### **3.3.12 Propiedades físicas del suelo**

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de los suelos de Aucaloma y Chirikyacu para las tres evaluaciones distintas que se realizaron se muestran en los cuadros 19 a 24. De los datos de pH se desprende que las dos zonas examinadas tienen un rango de pH ácido de 4,32 a 5,69 por lo tanto la disponibilidad de nutrientes para las plantas como la actividad microbiana del suelo pueden verse afectadas por la acidez del suelo.

De la textura del suelo de las muestras evaluadas se desprende que los suelos analizados oscilan entre franco arcillo arenoso y franco arenoso. Estos grados de textura muestran que el suelo contiene cantidades equilibradas de arena, arcilla, en comparación con los suelos franco-arenosos, en general, la textura del suelo es una consideración crucial en la productividad agrícola, ya que afecta a la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, así



como a la aireación y la penetración de las raíces. Desde este punto de vista, los resultados muestran que los suelos analizados tienen cualidades ventajosas para el desarrollo agrícola.

### 3.3.13 Análisis fisicoquímicos de suelos

#### 3.3.13.1 Determinación de nitrógeno

La determinación del % de nitrógeno se realizó por el método Microkjendhal, donde se pesó 1g de muestra, 1 g de catalizador (mezcla de Sulfato de cobre, Sulfato de potasio y óxido de selenio) y 4 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Ácido sulfúrico al 98 %) en balón de digestión de 100 ml, luego pasó a la etapa de digestión de la muestra, siendo sometida a bloque de digestión con una rampa de temperatura de 150, 275 y 350 °C por un periodo de 2 horas, posteriormente se pasó a la destilación con destilador de nitrógeno y posteriormente a la titulación con HCL 0.1 N. Aplicando la siguiente fórmula para el cálculo:

$$\%N = \frac{G \times 0,1 \times 0,014}{wg} \times 100$$

Donde:

G: Gasto de HCl utilizado en la titulación

0.1: Normalidad del HCl

0.014: Miliequivalentes del nitrógeno

wg: peso de la muestra

#### 3.3.13.2 Determinación de materia orgánica

La determinación de la materia orgánica del suelo fue calculada a partir del % de nitrógeno, sabiendo que el 5 % de la materia orgánica es nitrógeno:

$$\%N = \%MO \times 5 \%$$

Por lo tanto:

$$\%MO = \frac{\%N}{0,05}$$

#### 3.3.13.3 Determinación de fósforo

La determinación de fósforo se realizó por el método Olsen. Se pesó 2 g de suelo en un frasco de agitación, se agrega 100 mg de carbón activado y 20 ml de extractante (NaHCO<sub>3</sub> : 0,5M, pH 8,5). Luego se agita por 30 minutos y se filtra. En un tubo se coloca una alícuota de 3 ml del extracto, se agrega 10 ml de la solución de trabajo para desarrollo de color y se homogeniza. Después de 10 minutos, se lee la absorbancia en el

espectrofotómetro a 660 nm de longitud de onda. La concentración de fósforo en la solución se calcula con su absorbancia y al valor de concentración en la serie de patrones.

$$\frac{mg}{kg}(ppm)P = Absorvancia \times FD \times FC$$

Donde:

$$FD = \frac{20}{2} \times \frac{13}{3} = 43.33$$

$$FC = \frac{X}{Y}$$

$$= \frac{\text{Promedio de concentración de P de estándares}}{\text{Promedio de la lectura de Absorvancia de los estándares}}$$

### 3.3.13.4 Determinación de potasio

La determinación de potasio se realizó por Espectrofotometría de Absorción Atómica, se pesó 3 g de suelo se agitó en frasco de vidrio con 30 ml acetato de Amonio ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) 1M por 30 minutos, se filtró con papel filtro N° 40. Del filtrado se tomó alícuota de 1 ml en fiola de 25 ml, se adiciono 2 ml de NaCl (25000 ppm) y se enrazó con agua destilada. En el Espectrofotómetro de absorción atómica se realizó curva de calibración con estándar de potasio (K), se realizaron las corridas de las muestras obteniendo el resultado en mg/L, se utilizó la siguiente fórmula para la conversión a mg/kg.

$$\frac{mg}{kg}K = Le \times \frac{\text{Volumen extractante}}{\text{peso muestra}} \times FD$$

$$FD = \frac{\text{volumen fiola}}{\text{volumen de alicuota}}$$

$$\frac{mg}{kg}K = Le \times \frac{30}{3} \times \frac{25}{1} = Le \times 25$$

### 3.3.14 Análisis microbiológicos

#### 3.3.14.1. Respiración basal de suelo en sistema estático

Para realizar este análisis, se siguió la metodología propuesta por Alef (1995). Para alcanzar el objetivo previsto, se midió una cantidad de 10 gramos de suelo con contenido de humedad y se sometió a secado en estufa a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar un peso estable. La determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) consistió en ajustar el nivel de humedad al 60 % de la CRA utilizando agua destilada. A continuación, se midió tres veces una cantidad de 100 gramos de tierra húmeda previamente filtrada con un tamiz de 2 milímetros y se introdujo en una botella de vidrio con una capacidad de 250 mililitros. La botella se cerró herméticamente para evitar la entrada o salida de aire.

Posteriormente, se introdujo en el matraz de vidrio un recipiente de plástico con un volumen de 15 ml que contenía una solución de NaOH con una concentración de 0,5 N para recoger el CO<sub>2</sub> generado. Además, se incluyó otro recipiente de plástico con un volumen de 10 ml que contenía agua destilada para mantener el nivel de humedad en el entorno experimental. Se realizó un experimento de control junto con la incubación de cada 10 frascos de vidrio. En este control se utilizaron dos botellas: una contenía un único recipiente de plástico con 15 ml de NaOH 0,5 N, y la otra contenía 10 ml de agua destilada. A continuación, los matraces de vidrio se cerraron herméticamente para garantizar su hermeticidad y se sometieron a incubación a una temperatura de 25 °C durante una semana, equivalente a 168 horas. Tras el periodo de incubación designado, los matraces de polietileno que contenían el hidróxido de sodio (NaOH) se extrajeron de los matraces de vidrio. A continuación, la solución se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 125 ml de volumen. En este matraz se introdujo 1 ml de una solución de cloruro de bario al 50 % y dos gotas de fenolftaleína. El excedente de hidróxido de sodio (NaOH) se sometió a valoración utilizando una solución de ácido clorhídrico (HCl) 0,5N. La respiración basal del suelo (BSR) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RBS} = \text{C} - \text{CO}_2 \text{mgkg}^{-1} \text{h}^{-1} = \left[ \frac{(\text{b} - \text{a}) \times \text{N} \times \text{E} \times 1000}{\text{g}} \right] \text{h}$$

Donde:

b = Volumen de HCl gastado en la prueba en blanco;

a = Volumen de HCl de gasto en la muestra;

E = Equivalente del carbono;

N = Normalidad del HCl;

g = Masa de suelo seco

h = Horas de incubación.

#### **3.3.14.2. Biomasa microbiana. Método de la respiración inducida por el sustrato (RIS)**

La estrategia considerada se basa en el aumento inicial de la tasa de respiración de la población microbiana, hasta alcanzar su nivel máximo, con la adición al suelo de una fuente abundante de carbono de descomposición rápida. Este enfoque se alinea con la metodología descrita en el estudio realizado por Valdez-Núñez et al. (2019). Para lograr el objetivo, se midió un total de 10 gramos de tierra húmeda y se sometió a secado en estufa hasta conseguir un peso constante. Posteriormente, se evaluó la capacidad de retención de agua (CRA) y se ajustó la humedad al 60 % de la CRA utilizando agua destilada. A continuación, se midió una cantidad de 20 gr de suelo desecado y se transfirió posteriormente a una botella de

vidrio con un volumen de 250 mililitros. Se realizaron tres repeticiones. Posteriormente, se introdujo en el montaje experimental una cantidad de 60 mg de glucosa anhidra, que se diluyó adecuadamente en agua destilada basándose en los cálculos derivados del ajuste del 60 % de humedad. A continuación, la tierra y la glucosa se mezclaron a fondo con una varilla de vidrio, se cerraron herméticamente y se introdujeron en un horno a una temperatura de 22 °C durante 2 horas. A continuación, se introdujo en el recipiente de vidrio un tubo de ensayo con 10 mililitros de una solución 0,1 Normal (N) de hidróxido de sodio (NaOH) y se sometió a incubación en un horno a una temperatura de 22 grados Celsius durante 4 horas. Se realizó una prueba en blanco, que incluía una botella de vidrio de 250 ml que contenía un tubo de ensayo y 10 ml de NaOH 0,1 N. A continuación, la solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N se transfirió cuidadosamente del tubo de ensayo a un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Para ello, se añadieron al matraz 0,5 ml de solución de cloruro de bario (BaCl<sub>2</sub>) al 50 % y dos gotas de indicador de fenolftaleína al 0,1 %. El procedimiento de valoración se llevó a cabo utilizando una solución de ácido clorhídrico 0,025 N, y se registró la cantidad de ácido consumida durante el proceso. La siguiente ecuación se empleó en el cálculo de la biomasa microbiana del suelo:

$$\text{BMS}(\mu\text{gCg}^{-1}) = 30(\mathbf{b} - \mathbf{a}) \times [(\mathbf{K} \times 22 \times 1000)/1,8295 \times \mathbf{PA} \times 4]$$

Donde:

BMS = Carbono de la biomasa microbiana del suelo ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ );

30 = Constante ( $\text{mg C mic h ml CO}_2^{-1}$ );

b = Media del volumen (ml) de HCl del gasto para titular las pruebas en blanco;

a = ml de HCl gastados para titular las muestras;

K = Concentración de la solución de HCl;

22 = Factor de conversión (1 ml de HCl 1.0 M corresponde a 22 mg de CO<sub>2</sub>);

1000 = Factor de conversión de Kg de suelo para g de suelo;

1.8295 = Densidad del CO<sub>2</sub> a 22 °C;

PA = masa de la muestra (g de suelos seco) y

3 = Factor de conversión para transformación de 4 horas para 1 hora.

### 3.3.15 Determinación de actividades enzimáticas

#### 3.3.15.1. Actividad de ureasa de los microorganismos del suelo.

La actividad de ureasa se determinó de acuerdo a lo descrito por Kandeler y Herber (1988), midiendo la producción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en los sedimentos, tras una incubación con exceso de urea como sustrato. Para ello, se pesó 1g de sedimento con precisión

de 0,0001 g en tubos de vidrio con rosca específicos para esta actividad, considerándose 4 réplicas de cada muestra. Después, a todas las muestras se les añadió 2ml de tampón fosfato (pH: 7,1) y 0,5 ml de Urea al 6,4 % (3,2 g en 50 ml). A los blancos, en lugar de añadir Urea se les añadió 0,5 ml de agua destilada. Luego se incubaron las muestras durante 2 horas en un baño termostatzado con agitación horizontal incorporado manteniendo la temperatura a 37 °C. Pasado ese tiempo, se añadió a todas las muestras 7,5 ml de agua destilada obteniendo así un volumen final de 10 ml. Luego los tubos fueron centrifugados durante 10 minutos a 3 500 rpm y la suspensión filtrada a través de papel filtro. Finalmente, se determinó el contenido de  $\text{NH}_4^+$ , expresándose los resultados en  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

### **3.3.15.2. Actividad fosfatasa de los microorganismos del suelo.**

La actividad de fosfatasa se determinó de acuerdo a lo descrito por Tabatabai y Col. (1982), midiendo la producción de PNP (p – nitrophenol) en los sedimentos, tras una incubación con exceso de PNPP (4 – nitrophenyl phosphate disodium salt, hexahydrate, 98 %) como sustrato. Para ello, se pesó 0,5 g de sedimento con precisión de 0,0001 g en tubos de vidrio con rosca específicos para esta actividad, considerándose 4 réplicas de cada muestra. Después a todas las muestras se les añadió 2ml de tampón maleato (0,1M, pH: 6,5) y 0,5 ml de PNPP 0,115 Mm (2,1333 g en 50 ml). A los blancos, solo se les añadió 2ml de tampón maleato. A seguir, se incubaron las muestras durante 2 horas en un baño termostatzado con agitación horizontal incorporado manteniendo la temperatura a 37°C. Pasado ese tiempo, a los blancos se les añadió 0,5 ml de PNPP y a todas las demás muestras 0,5 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,5 M y 2ml de NaOH 0,1 M, obteniendo un volumen final de 5 ml. Después los tubos fueron centrifugados durante 10 minutos a 3 500 rpm y se filtra con papel lavado a los ácidos. Finalmente, se determinó el contenido de PNP (p – nitrophenol) expresándose los resultados en  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Influencia de las leguminosas sobre las propiedades químicas del suelo

#### 4.1.1. Materia orgánica (%)

En la Tabla 3 se presenta los porcentajes de materia orgánica en relación a los factores de leguminosas en diferentes evaluaciones. Los resultados indican que los factores de leguminosas B y AB presentan valores significativamente mayores a los 270 dds, en comparación al factor A, lo que sugiere que estas leguminosas incorporan más materia al suelo. Además, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los factores de leguminosas en términos de contenido de materia orgánica en el suelo en diferentes evaluaciones en ambas zonas de estudio, lo que sugiere que la elección de las leguminosas puede tener un impacto significativo en la calidad del suelo.

Los valores de materia orgánica en las parcelas sembradas con diferentes asociaciones de leguminosas fueron superiores a los valores iniciales en ambas zonas. Esto indica que las leguminosas contribuyeron al aumento de la materia orgánica en el suelo. Los resultados son consistentes con estudios anteriores que demuestran los beneficios de las leguminosas en la calidad del suelo y la fertilidad (Duan et al. 2019). Sin embargo, otros factores como la densidad de siembra y la disponibilidad de agua también pueden influir en estos efectos (Christopoulou et al. 2021; Medina-Méndez et al. 2019). Es importante considerar estos factores para comprender mejor los efectos de las asociaciones de leguminosas en el suelo y la producción de cultivos (Du et al. 2023).

**Tabla 3.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a materia orgánica.

Leguminosas	Materia orgánica (%)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	2,25 b	2,36 b	2,44 b	2,91 c	3,04 b	3,00 b
2 B	2,33 a	2,45 a	2,54 a	3,24 a	3,25 a	3,26 a
3 AB	2,33 a	2,41 ab	2,51 a	3,11 b	3,21 a	3,22 a
R <sup>2</sup>	0,63	0,59	0,84	0,78	0,79	0,79
C.V. (%)	9,12	7,50	4,95	5,34	5,70	6,19

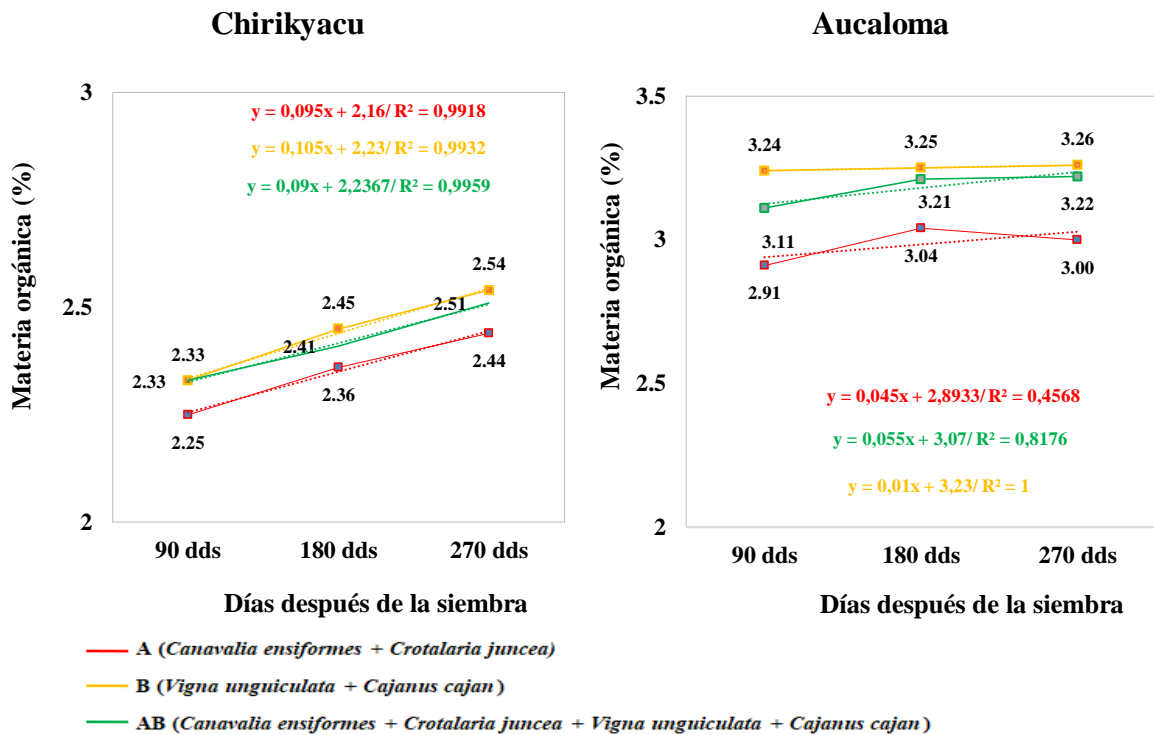
Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

En Chirikyacu, las asociaciones de leguminosas A, B y AB explicaron el 63 %, 59 % y 84 % de la variabilidad en el contenido de materia orgánica en el suelo a los 90 dds, 180 dds y 270 dds respectivamente. En Aucasoma, estas asociaciones explicaron el 78 %, 79 % y 79 % de la variabilidad en los mismos periodos de evaluación. Los altos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) indican que las leguminosas tienen un efecto positivo en el aporte de materia orgánica al suelo en ambas zonas de estudio, y un  $R^2$  más alto significa una mayor capacidad del modelo para explicar la variabilidad en la variable dependiente (Figura 9).



**Figura 9.** Materia orgánica en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.

En Chirikyacu, el contenido de materia orgánica en el suelo mostró una variabilidad relativa del 9,12 %, 7,50 %, y 4,50 % a los 90 dds, 180 dds y 270 dds respectivamente. En Aucasoma, esta variabilidad relativa fue del 5,34 %, 5,70 %, y 6,19 % en los mismos periodos de evaluación. El coeficiente de variación de 4,95 % en Chirikyacu, a los 270 dds, indica una baja dispersión de datos con respecto a la media, lo que sugiere consistencia en los resultados. En Aucasoma, un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del 0,79 a los 270 dds indica que las asociaciones de leguminosas tienen una alta capacidad para explicar la variabilidad en el contenido de materia orgánica en el suelo, representando el 79 % de la

variabilidad. En resumen, en Aucaloma, las leguminosas tienen un impacto significativo en la materia orgánica del suelo, con resultados consistentes.

En la Tabla 4 en las evaluaciones en Chirikyacu y Aucaloma, muestra diferencias significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> en comparación con T<sub>5</sub> (sin inoculación ni enmienda) en el contenido de materia orgánica del suelo. En Chirikyacu, los tratamientos T<sub>3</sub> (inoculación de microorganismos más humus) y T<sub>4</sub> (incorporación de NPK) mostraron un mayor aumento de materia orgánica, con un 2,69 % y 2,72 %, respectivamente, en comparación con el 2,17 % de T<sub>5</sub> a los 270 dds. En Aucaloma, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> también aumentaron significativamente la concentración de materia orgánica en el suelo, alcanzando porcentajes de 3,30 % y 3,28 %, respectivamente, en comparación con el 2,74 % de T<sub>5</sub> a los 270 dds (Figura 10). En Chirikyacu, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>5</sub> a los 90 dds de la evaluación, indicando un impacto positivo en el aumento de la materia orgánica del suelo. Este patrón se repitió en las tres evaluaciones. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que han demostrado mejoras en la calidad del suelo y el contenido de materia orgánica debido a tratamientos con nitrógeno, fósforo Hurtado et al. (2019) y Pérez-Daz et al. (2023), así como un aumento en el rendimiento agrícola por tratamientos con vermicompost (Fernández et al. 2021).

**Tabla 4.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de materia orgánica por tratamiento.

Tratamientos	Materia orgánica (%)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	2,22 b	2,33 b	2,43 b	3,23 a	3,31 ab	3,25 a
T <sub>2</sub> IM+P	2,20 b	2,33 b	2,48 b	3,07 a	3,14 bc	3,22 a
T <sub>3</sub> IM+H	2,51 a	2,55 a	2,69 a	3,24 a	3,43 a	3,30 a
T <sub>4</sub> NPK	2,53 a	2,59 a	2,72 a	3,07 a	3,10 c	3,28 a
T <sub>5</sub> SI	2,06 b	2,23 b	2,17 c	2,83 b	2,86 d	2,74 b
R <sup>2</sup>	0,63	0,59	0,84	0,78	0,79	0,79
C.V. (%)	9,12	7,50	4,95	5,34	5,70	6,19

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

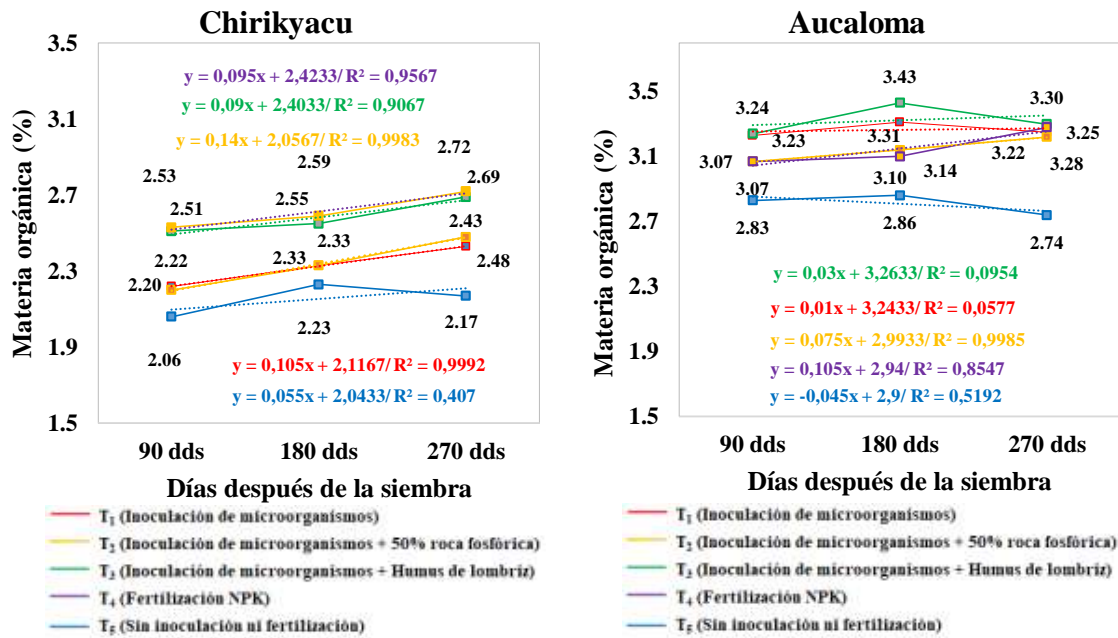
T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)





**Figura 10.** Materia orgánica del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.

A los 90 dds de la evaluación en Aucasoma, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, pero sí hubo una diferencia significativa en comparación con el tratamiento T<sub>5</sub>. Sin embargo, T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> tuvieron los valores más altos, lo que sugiere que las aplicaciones de nitrógeno y fósforo tienen un impacto positivo en la cantidad de materia orgánica del suelo. A los 180 dds, nuevamente se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>1</sub> en comparación con T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>, demostrando el efecto beneficioso de los tratamientos con nitrógeno y fósforo en los niveles de materia orgánica del suelo. Estos resultados respaldan la importancia de los tratamientos con vermicompost en el crecimiento de las plantas, coincidiendo con investigaciones previas (Fernández et al. 2021). A los 270 dds en Aucasoma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, pero hubo una diferencia significativa en comparación con T<sub>5</sub>. A pesar de la falta de diferencias estadísticas entre T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> tuvieron los niveles más altos de materia orgánica, indicando que las aplicaciones de nitrógeno y fósforo continúan teniendo un efecto beneficioso en el contenido de materia orgánica del suelo. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que han demostrado que los tratamientos con vermicompost mejoran el rendimiento de los cultivos (Pardo et al. 2022). En resumen, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> consistentemente muestran mayores niveles de materia orgánica en cada evaluación, lo que sugiere que estos tratamientos pueden ser más efectivos en aumentar el contenido de materia orgánica del suelo en comparación con otros tratamientos.

En Aucasoma, todos los tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>) mejoraron los niveles de materia orgánica en el suelo en comparación con los valores iniciales de 2,16 %. Sin embargo, en todas las evaluaciones, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> mostraron los niveles más altos de materia orgánica, lo que indica que son los más efectivos para aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo de Aucasoma. En Chirikyacu, se observó un patrón similar, donde todos los tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>) superaron los valores iniciales de 2,26 % (Figura 41), en materia orgánica. Nuevamente, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> mostraron los niveles más altos de materia orgánica en todas las evaluaciones, lo que sugiere que son los métodos más efectivos para aumentar la cantidad de materia orgánica en el suelo de Chirikyacu. Estos resultados concuerdan con investigaciones de Sierra et al. (2021) que ha demostrado los efectos beneficiosos de los tratamientos con nitrógeno, fósforo y materia orgánica en el contenido de materia orgánica del suelo. En general, la adición de nutrientes y materia orgánica favorece la descomposición de los residuos orgánicos y la producción de humus, lo que a su vez aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo.

Los resultados muestran que todos los tratamientos aplicados en las zonas de Aucasoma y Chirikyacu han aumentado el contenido de materia orgánica del suelo en relación con los valores iniciales. Los mayores niveles de materia orgánica en ambas zonas, sin embargo, se han encontrado consistentemente en los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>. Estos resultados confirman la importancia de emplear prácticas que fomenten la aportación de nutrientes y materia orgánica para mejorar la calidad del suelo y apoyar la sostenibilidad agrícola. El CV % es una medida de la variabilidad relativa de un conjunto de datos. Se determina como la diferencia porcentual entre la desviación típica y la media. Un CV % más bajo denota datos más precisos con menos fluctuación. Según Riveline et al. (2022), un CV % inferior al 10 % suele considerarse bajo, lo que indica un alto nivel de coherencia y fiabilidad en las mediciones. El valor R<sup>2</sup>, denominado coeficiente de determinación muestra qué parte de la varianza de la variable independiente (tratamientos) puede explicarse por la variable dependiente (contenido de materia orgánica). Un valor mayor denota una asociación más fuerte entre las variables, y la escala va de 0 a 1. Según Hörmann y Reuter (2021), un valor R<sup>2</sup> superior a 0,5 suele considerarse satisfactorio, ya que significa que existe una correlación entre las variables de moderada a alta. En el presente experimento, los valores de CV % para el contenido de materia orgánica tanto en Chirikyacu como en Aucasoma fueron reportados para cada evaluación. En Chirikyacu, los valores de CV % oscilaron entre 4,95 % y 9,12 % en las tres evaluaciones, lo que indica una variabilidad relativamente baja en los datos. Del mismo modo, en Aucasoma, los valores del CV % oscilaron entre el 5,34 % y el 6,19 %, lo que indica también una baja variabilidad de los datos. Estos bajos valores de CV % sugieren que las mediciones del contenido de materia orgánica fueron coherentes y fiables (Badura et al. 2018).

En Aucaloma y Chirikyacu, todos los tratamientos aumentaron el contenido de materia orgánica del suelo en comparación con los valores iniciales, pero los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> consistentemente mostraron los niveles más altos de materia orgánica. Esto resalta la importancia de utilizar prácticas que promuevan la adición de nutrientes y materia orgánica para mejorar la calidad del suelo y respaldar la sostenibilidad agrícola. El coeficiente de variación (CV %) se utilizó para medir la variabilidad relativa de los datos. Valores bajos de CV % indican datos más precisos y consistentes. Los valores de CV % en Chirikyacu oscilaron entre 4,95 % y 9,12 %, mientras que en Aucaloma variaron entre 5,34 % y 6,19 %, lo que indica una baja variabilidad en las mediciones de contenido de materia orgánica en ambos lugares. Estos bajos valores de CV % sugieren mediciones coherentes y confiables. El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) muestra la relación entre las variables independientes (tratamientos) y la variable dependiente (contenido de materia orgánica). En este experimento, se lograron valores de R<sup>2</sup> satisfactorios, lo que indica una correlación moderada a alta entre las variables. En resumen, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> fueron los más efectivos para aumentar la materia orgánica del suelo en ambas zonas, y las mediciones fueron coherentes y confiables según los bajos valores de CV % (Badura et al. 2018).

Los valores de R<sup>2</sup> en Chirikyacu variaron de 0,63 a 0,84, lo que indica una asociación moderada a sustancial entre los tratamientos y el contenido de materia orgánica en el suelo. En Aucaloma, los valores de R<sup>2</sup> estuvieron entre 0,78 y 0,79, mostrando una conexión de moderada a fuerte. Estos valores sugieren que los tratamientos tienen un impacto significativo en la cantidad de materia orgánica en ambas zonas (Streese et al. 2022; Badura et al. 2018). La presencia de leguminosas en el área aumenta la materia orgánica en el suelo y su degradación por microorganismos mejora la absorción de nutrientes por las plantas (Ruiz-Alderete et al. 2019).

#### **4.1.2. Nitrógeno (N)**

En la Tabla 5 respecto al N en el suelo siguió un patrón similar al observado para la materia orgánica. Los factores leguminosos tuvieron una incorporación de N en el suelo comparable a la evaluada para la materia orgánica. Antes de la siembra, las semillas de leguminosas se inocularon con microorganismos beneficiosos como bacterias fijadoras de nitrógeno. Estas bacterias, como las del género *Rhizobium*, convierten el nitrógeno atmosférico en una forma que las plantas pueden utilizar. Esto reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados y mejora la eficiencia en la absorción de nitrógeno por parte de las plantas (Mendoza et al. 2022).

**Tabla 5.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a nitrógeno.

Leguminosas	Nitrógeno (%)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	0,112 b	0,118 b	0,122 b	0,145 c	0,152 b	0,150 b
2 B	0,116 a	0,122 a	0,127 a	0,162 a	0,162 a	0,163 a
3 AB	0,116 a	0,120 ab	0,125 a	0,155 b	0,160 a	0,161 a
R <sup>2</sup>	0,63	0,59	0,84	0,78	0,79	0,79
C.V. (%)	9,12	7,50	4,95	5,34	5,70	6,23

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

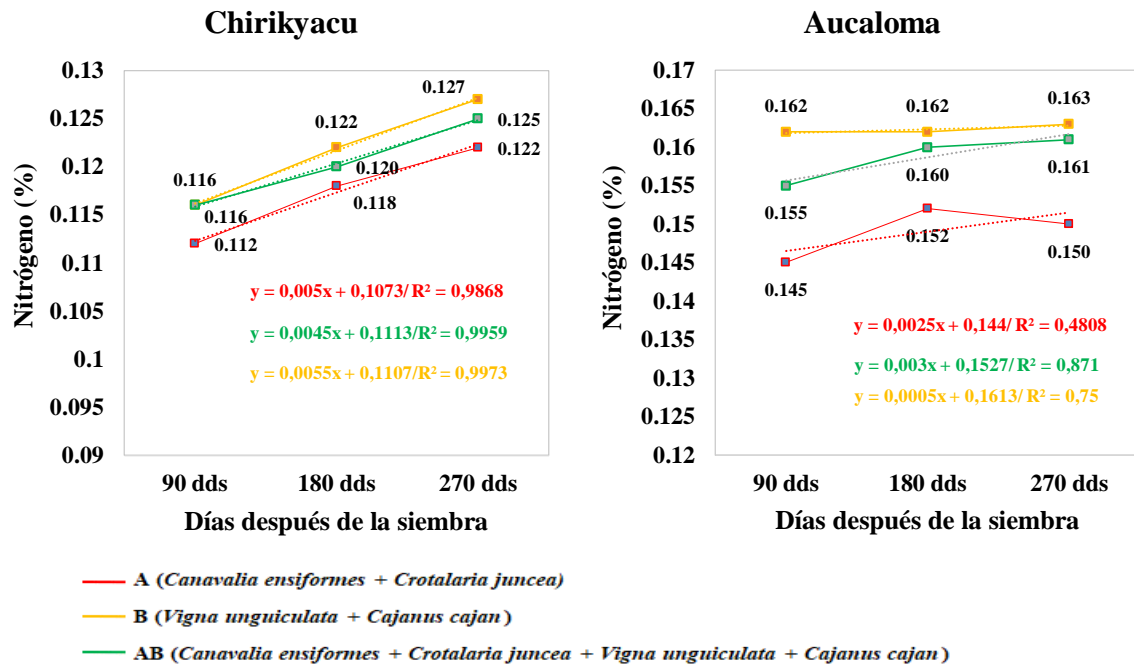
B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

El estudio revela que las bacterias solubilizadoras de fosfato, como las del género *Pseudomonas*, y los hongos micorrícicos arbusculares tienen un impacto positivo en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo, respectivamente. Estos microorganismos descomponen compuestos insolubles en el suelo, convirtiéndolos en formas que las plantas pueden utilizar, lo que promueve un mejor crecimiento de las plantas (Covarrubias y Pea-Cabriales, 2017).

En Chirikyacu, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las asociaciones de leguminosas A y B a los 90 dds en términos de contenido de nitrógeno del suelo, mientras que la asociación AB mostró diferencias significativas con el factor A, pero no con el factor B. A los 180 dds, los valores de la asociación de leguminosas A y B también presentaron diferencias significativas en cuanto a la concentración de nitrógeno del suelo. El componente AB de las leguminosas indicó diferencias significativas con respecto a los factores A y B en términos de contenido de nitrógeno del suelo (Tabla 5 y Figura 11). En resumen, la presencia de diferentes asociaciones de leguminosas tiene un impacto significativo en los niveles de nitrógeno en el suelo, lo que sugiere la importancia de considerar estas interacciones en la gestión agrícola (Tabla 5 y Figura 11).

Los resultados de la asociación de leguminosas A y B a los 270 dds mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellos respectivamente. La asociación de leguminosas AB muestra que, salvo en el factor de asociación de leguminosas A, no hay diferencias estadísticamente significativas entre esta asociación y la asociación de leguminosas B. Los valores para la asociación de leguminosas A, B y AB en la evaluación inicial para Aucaloma nos sugiere que existe una variación estadísticamente significativa en la cantidad de nitrógeno del suelo entre estos dos componentes.



**Figura 11.** Nitrógeno en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.

Los valores de los factores A y B a los 180 dds la evaluación indican que existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos factores en cuanto al contenido de nitrógeno del suelo, y el factor AB indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa con el factor B, pero sí con el factor A. Los valores de A y B a los 270 dds de la zona de Aucasoma indican que hay una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos factores en términos de contenido de nitrógeno del suelo, y para el factor AB, no hay diferencia estadísticamente significativa con el factor B, pero sí con el factor A (Tabla 5 y Figura 11).

En ambas zonas, Chirikyacu y Aucasoma, las parcelas sembradas con diferentes asociaciones de leguminosas lograron aumentar los niveles de nitrógeno en el suelo en comparación con los valores iniciales. Antes del experimento, Chirikyacu tenía un contenido de nitrógeno del suelo de 0,102 %, y Aucasoma tenía 0,097 %. En Chirikyacu, se obtuvieron coeficientes de determinación  $R^2$  de 0,63, 0,59 y 0,84 en las tres evaluaciones respectivamente, lo que indica que las asociaciones de leguminosas A, B y AB explicaron el 63 %, 59 % y 84 % de la variación en la concentración de nitrógeno en el suelo en cada una de las evaluaciones.

En Aucasoma, se obtuvieron coeficientes de determinación  $R^2$  de 0,78, 0,79 y 0,79 en las tres evaluaciones respectivamente, mostrando que las asociaciones de leguminosas A, B y AB explicaron el 78 %, 79 % y 79 % de la variabilidad en el contenido de

nitrógeno del suelo en cada una de las evaluaciones. En resumen, las asociaciones de leguminosas lograron incrementar los niveles de nitrógeno en el suelo en ambas zonas, y los coeficientes de determinación  $R^2$  indican una fuerte relación entre estas asociaciones y la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes evaluaciones (Tabla 5 y Figura 11).

El alto coeficiente de determinación en el experimento indica una capacidad significativa para explicar la variación en el contenido de nitrógeno del suelo a través de las asociaciones de leguminosas, demostrando su contribución positiva al suministro de nitrógeno en ambos lugares de investigación. En Chirikyacu, se observaron coeficientes de variación (CV) de 9,12 %; 7,50 %, y 4,95 % en las tres evaluaciones, lo que refleja la variabilidad relativa del contenido de nitrógeno en el suelo en cada evaluación. En Aocaloma, los coeficientes de variación (CV) fueron del 5,34 %; 5,70 %, y 6,23 % en las tres evaluaciones, indicando la variabilidad relativa del contenido de nitrógeno del suelo en cada evaluación.

El bajo coeficiente de variación (CV) del 4,95 % a los 270 dds de Chirikyacu sugiere una mayor coherencia y consistencia en los resultados, ya que los datos son menos erráticos y se acercan más a la media. En Aocaloma, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,79 a los 270 dds muestra que las asociaciones de leguminosas pueden explicar el 79 % de la variación en la concentración de nitrógeno del suelo en esta área.

En resumen, las asociaciones de leguminosas tienen un impacto significativo en la concentración de nitrógeno del suelo, respaldado por un alto coeficiente de determinación y coeficientes de variación que indican la consistencia de los resultados en diferentes evaluaciones. En conclusión, el coeficiente de variación de 4,95 % muestra una baja dispersión relativa de los datos con respecto a la media, indicando una mayor consistencia en los resultados. A los 270 dds de Aocaloma, el coeficiente de determinación de 0,79 muestra que las asociaciones de leguminosas tienen una alta capacidad para explicar la variabilidad en el contenido de nitrógeno del suelo (Tabla 5 y Figura 11).

En la Tabla 6, en ambos lugares, Chirikyacu y Aocaloma, se observó un comportamiento similar en cuanto al contenido de nitrógeno, que es un equivalente de la materia orgánica. Los tratamientos que incluyeron la inoculación de microorganismos junto con el humus ( $T_3$ ) y la incorporación de NPK ( $T_4$ ) mostraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento control  $T_5$ , especialmente a los 270 dds.

**Tabla 6.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de nitrógeno

Tratamientos	Nitrógeno (%)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	0,11 b	0,12 b	0,12 b	0,16 a	0,17 ab	0,16 a
T <sub>2</sub> IM+P	0,11 b	0,12 b	0,12 b	0,15 a	0,16 bc	0,16 a
T <sub>3</sub> IM+H	0,13 a	0,13 a	0,13 a	0,16 a	0,17 a	0,16 a
T <sub>4</sub> NPK	0,13 a	0,13 a	0,14 a	0,15 a	0,15 c	0,16 a
T <sub>5</sub> SI	0,10 b	0,11 b	0,11 c	0,14 b	0,14 d	0,14 b
R <sup>2</sup>	0,63	0,59	0,84	0,78	0,79	0,79
C.V. (%)	9,12	7,50	4,95	5,34	5,70	6,23

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

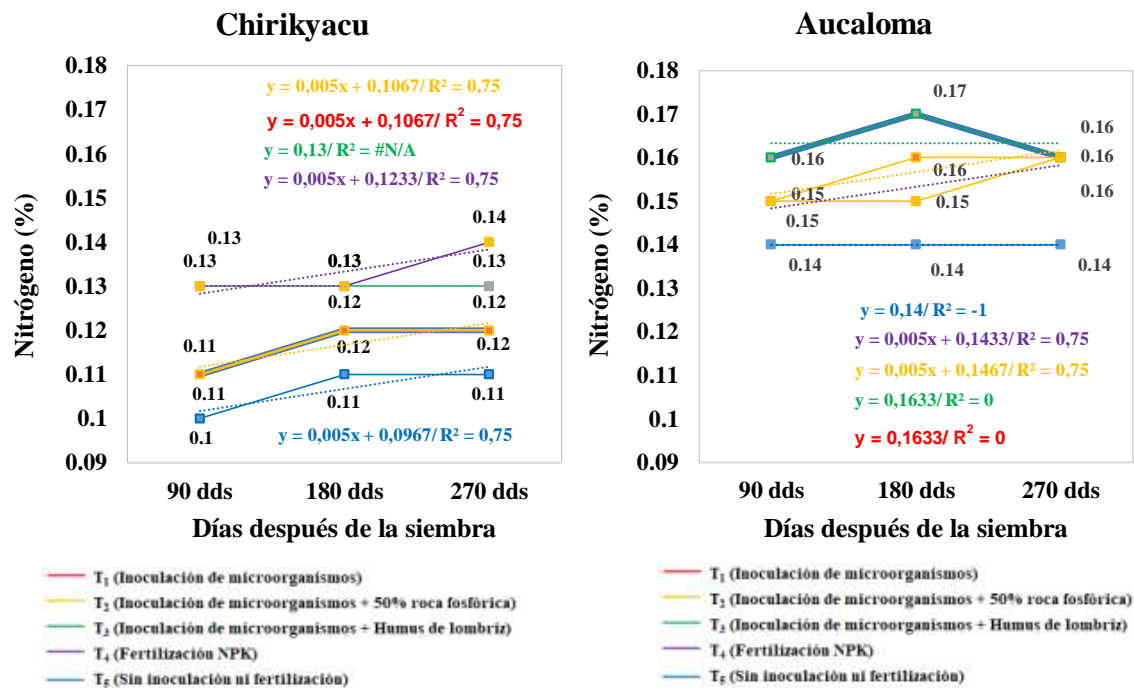
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)

**Figura 12.** Nitrógeno del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucaloma.

En 90 dds, en Aucaloma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, pero hubo una diferencia significativa en comparación con el tratamiento T<sub>5</sub>. Sin embargo, es importante destacar que, dentro de estos

tratamientos, T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> mostraron los niveles más altos de nitrógeno en el suelo, lo que sugiere que la aplicación de humus y la inoculación de microorganismos tienen un efecto positivo en la cantidad de nitrógeno en el suelo. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que han destacado los beneficios de los tratamientos con vermicompost en la calidad de la carne de animales de granja (Fernández et al. 2021). A los 180 dds la evaluación en Aucasoma, nuevamente se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> en comparación con T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>, lo que respalda la influencia beneficiosa de los tratamientos con humus y microorganismos en los niveles de nitrógeno del suelo. Estos resultados también concuerdan con investigaciones que han demostrado ventajas en el crecimiento de las plantas debido a tratamientos con vermicompost (Fernández et al. 2021). A los 90 dds en Aucasoma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, pero hubo una diferencia significativa en comparación con el tratamiento T<sub>5</sub>. A pesar de la falta de diferencias estadísticas entre estos tratamientos, es importante destacar que la inoculación de microorganismos, la aplicación de humus de lombriz y la fertilización química NPK tuvieron un impacto positivo en el contenido de nitrógeno en el suelo, lo que concuerda con investigaciones previas que han demostrado que los tratamientos con vermicompost mejoran el rendimiento de los cultivos (Pardo et al. 2022), (Tabla 6 y Figura 12).

En la zona de Aucasoma, se ha observado que todos los tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>) han mejorado los niveles de nitrógeno en comparación con los valores iniciales de 0,097 %. Sin embargo, en todas las evaluaciones, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> han mostrado los niveles más altos de nitrógeno, lo que sugiere que son los más efectivos para aumentar el contenido de nitrógeno en el suelo de Aucasoma. Lo mismo ocurre en la zona de Chirikyacu, donde los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> también han demostrado ser los más exitosos en aumentar los niveles de nitrógeno en el suelo en comparación con los valores iniciales de 0,102 % (Figura 40).

Los resultados coinciden con investigaciones previas que han destacado los beneficios de los tratamientos con nitrógeno, fósforo y materia orgánica en el contenido de materia orgánica del suelo. En general, la adición de nutrientes y materia orgánica en los tratamientos favorece la descomposición de residuos orgánicos y la producción de humus, lo que aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo. (Sierra et al. 2021). En este experimento, se reportaron valores de coeficiente de variación (CV %) para el contenido de nitrógeno en Chirikyacu y Aucasoma en cada evaluación. Los valores de CV % en Aucasoma oscilaron entre 5,34 % y 6,23 %, indicando una baja variabilidad en los datos. En Chirikyacu, los valores de CV % variaron entre 4,95 % y 9,12 %, también indicando una baja variabilidad en las mediciones de contenido de nitrógeno, lo que sugiere que las mediciones fueron coherentes y confiables. Estos hallazgos respaldan la consistencia de los resultados obtenidos en el estudio (Badura et al. 2018). Respecto a R<sup>2</sup>, La asociación entre los tratamientos y el



contenido de nitrógeno fue de moderada a sustancial en Chirikyacu, donde los valores de  $R^2$  variaron de 0,63 a 0,84. Los valores  $R^2$  en Aucaloma estuvieron entre 0,78 y 0,79, demostrando además una conexión de moderada a fuerte. Según estos valores  $R^2$ , los tratamientos afectan significativamente a la cantidad de materia orgánica en ambas zonas (Streese et al. 2022; Badura et al. 2018). (Tabla 6 y Figura 12).

#### 4.1.3. Fósforo (P)

No se encontraron diferencias significativas en la disponibilidad de fósforo en el suelo en función de la presencia de leguminosas en los diferentes lugares y épocas de evaluación. Tanto en Chirikyacu como en Aucaloma, los factores A, B y AB presentaron valores similares de contenido de fósforo en el suelo en todas las evaluaciones, lo que sugiere una falta de diferencia estadísticamente significativa entre estas variables y la disponibilidad de fósforo en el suelo (Tabla 7 y Figura 13).

**Tabla 7.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a P.

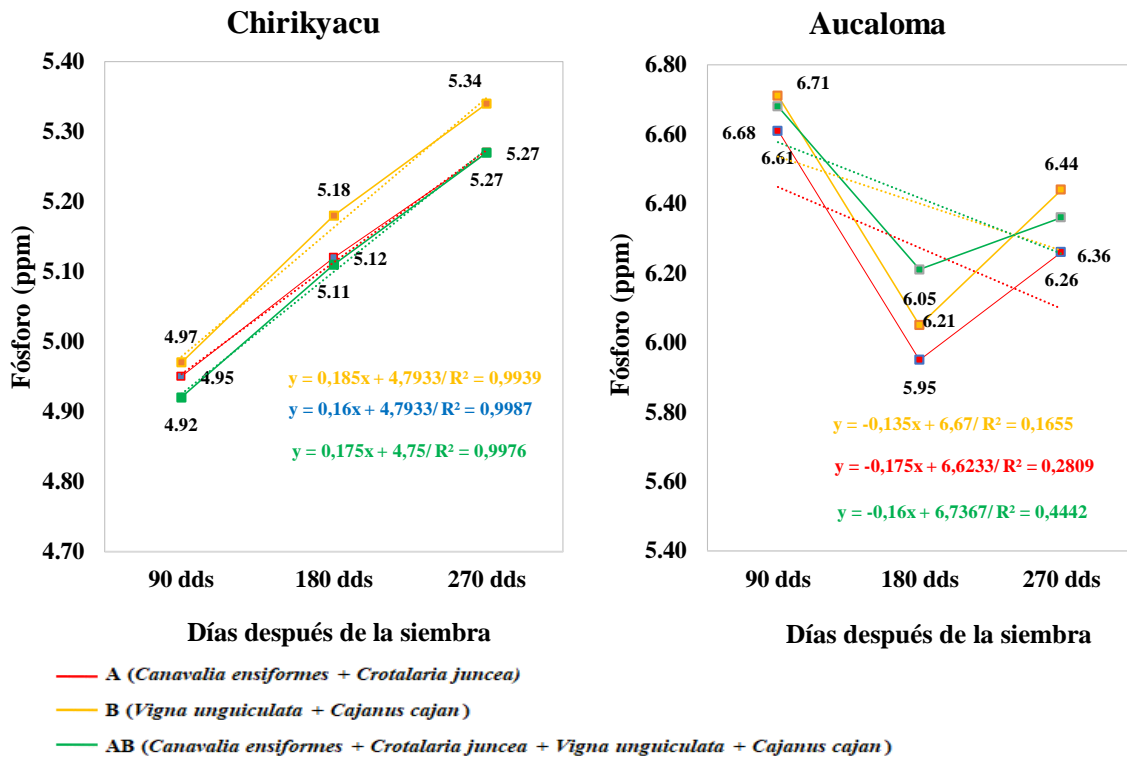
Leguminosas	Fósforo (ppm)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	4,95 a	5,12 a	5,27 a	6,61 a	5,95 a	6,26 a
2 B	4,97 a	5,18 a	5,34 a	6,71 a	6,05 a	6,44 a
3 AB	4,92 a	5,11 a	5,27 a	6,68 a	6,21 a	6,36 a
$R^2$	0,65	0,62	0,59	0,73	0,82	0,73
C.V. (%)	7,04	5,56	3,96	7,84	7,27	7,97

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 13.** Fósforo en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Acaloma.

La disponibilidad de fósforo en el suelo en las zonas de Chirikyacu y Acaloma se evaluó con factores A, B y AB en diferentes momentos. En Chirikyacu, los valores de fósforo en 90, 180 y 270 dds no difirieron significativamente entre estos factores. En Acaloma, ocurrió lo mismo, con valores similares en todas las evaluaciones para los factores A, B y AB. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron altos en ambos casos, indicando que estos factores explican una parte importante de la variabilidad en el contenido de fósforo del suelo. Además, los coeficientes de variación (CV %) fueron bajos, lo que sugiere mediciones precisas. Antes del estudio, se midió el contenido de fósforo en Chirikyacu y Acaloma, y se encontraron valores de referencia iniciales de 4,96 ppm y 5,01 ppm (Figura 40 y 41). Estos valores iniciales de fósforo en el suelo aumentaron en todas las evaluaciones, excepto en el factor A y AB en los 90 dds de Chirikyacu (Tabla 7 y Figura 13).

Los resultados del experimento respaldan investigaciones previas que resaltan la influencia de las características del suelo en la disponibilidad de fósforo, como la textura, el pH, la materia orgánica y la presencia de hongos micorrícicos arbusculares. Estos hongos forman simbiosis con las raíces de las plantas, facilitando la absorción de fósforo al descomponer sustancias orgánicas y liberar fósforo inorgánico para las plantas (Hernández-Acosta et al. 2020; Aguilar et al. 2021).

La presencia de leguminosas en el suelo puede facilitar la colonización de hongos micorrícicos arbusculares y, por ende, aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo, según investigaciones previas (Hernández-Acosta et al. 2020). Sin embargo, la disponibilidad de fósforo no se incrementa únicamente por la presencia de leguminosas, ya que otros factores, como las características específicas del suelo en cada zona, también pueden influir en esta disponibilidad.

En el experimento realizado en las zonas de Chirikyacu y Aucaloma, se utilizaron bacterias solubilizadoras de fosfatos y hongos micorrícicos arbusculares para mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo. Estos microorganismos pueden convertir el fósforo insoluble en el suelo en formas solubles que las plantas pueden utilizar, lo que potencialmente aumenta la disponibilidad de fósforo y mejora la absorción de nutrientes por parte de las plantas. La presencia de estas bacterias en el suelo puede haber influido en los niveles de fósforo encontrados en las parcelas con asociaciones de leguminosas en ambas zonas de investigación.

Los hongos micorrícicos arbusculares establecen una relación mutualista con las plantas, mejorando su capacidad para obtener fósforo en el suelo al extender sus hifas y explorar una mayor área en busca de este nutriente (Naranjo-Morán et al. 2022).

La inoculación de hongos micorrícicos arbusculares en las parcelas puede haber mejorado la colonización de las raíces de las plantas y, por lo tanto, la disponibilidad de fósforo en el suelo. Además, las leguminosas, a través de la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, pueden liberar nitrógeno al suelo, lo que a su vez puede aumentar la disponibilidad de fósforo para las plantas y promover el crecimiento de hongos micorrícicos arbusculares (Baldivia y Ibarra, 2017).

Las asociaciones de leguminosas y la inoculación de microorganismos pueden haber influido en la disponibilidad de fósforo en las parcelas de investigación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que otros factores, como las características del suelo y las interacciones entre nutrientes, también pueden afectar la disponibilidad de fósforo en el suelo.

En las evaluaciones tanto de Chirikyacu como de Aucaloma, se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>) en términos de la disponibilidad de fósforo en el suelo. En Chirikyacu, los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, que involucraban microorganismos y enmienda, respectivamente, mostraron el mayor aumento en el fósforo disponible, alcanzando 5,43 y 5,46 ppm a los 270 dds, siendo significativamente diferentes del T<sub>5</sub> en la misma evaluación (Tabla 8 y Figura 14).

**Tabla 8.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de fósforo.

Tratamiento	Fósforo (ppm)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	4,72 b	5,05 b	5,24 b	6,31 b	5,38 c	5,96 b
T <sub>2</sub> IM+P	5,27 a	5,36 a	5,43 ab	7,19 a	7,00 a	6,69 a
T <sub>3</sub> IM+H	5,16 a	5,31 ab	5,46 a	6,85 a	6,16 b	6,59 a
T <sub>4</sub> NPK	5,17 a	5,28 ab	5,33 ab	7,31 a	6,46 b	7,04 a
T <sub>5</sub> SI	4,41 b	4,70 c	5,02 c	5,68 c	5,35 c	5,50 b
R2	0,65	0,62	0,59	0,73	0,82	0,73
C.V. (%)	7,04	5,56	3,96	7,84	7,27	7,97

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

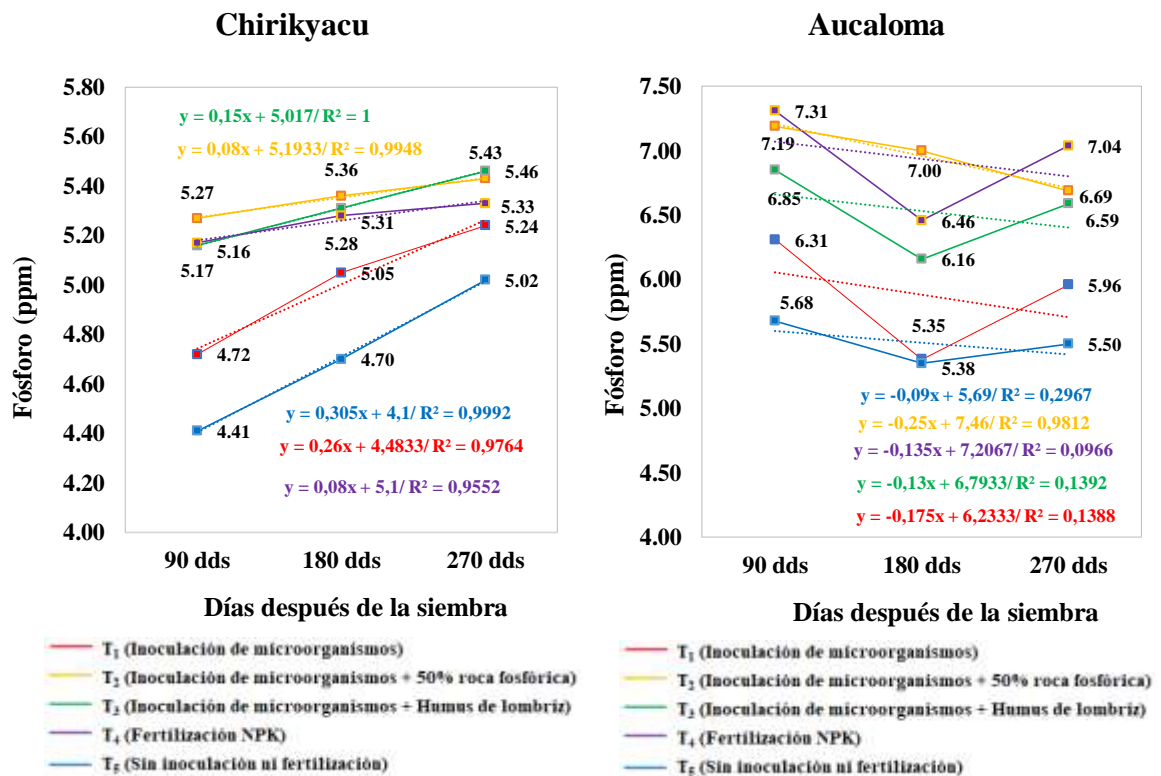
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)

**Figura 14.** Fósforo del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucaloma.

En Aucaloma, se encontraron diferencias significativas en la concentración de fósforo disponible en el suelo entre los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> (6,69 ppm,

6,59 ppm y 7,04 ppm, respectivamente, a los 270 dds en comparación con el tratamiento control T<sub>5</sub>, que tenía 5,50 ppm en la misma evaluación. Estos incrementos se pueden atribuyen a la inoculación de microorganismos, la incorporación de roca fosfórica y la aplicación de fertilizante NPK en los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, con la bacteria solubilizadora de fosfatos desempeñando un papel fundamental. De acuerdo a Ahemad y Kibret (2014), una de las principales funciones de las rhizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) es la solubilización de fosfatos insolubles en la rizósfera, originando así la disponibilidad de P soluble para las plantas. En Chirikyacu, se observaron diferencias en los contenidos de fósforo entre los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> en las tres evaluaciones, pero no fueron estadísticamente significativas. El modelo explicó entre el 59 % y el 65 % de la variabilidad en los datos en las distintas evaluaciones. La variabilidad fue moderada, con coeficientes de variación (CV %) entre 3,96 % y 7,04 %. En resumen, aunque hubo diferencias en los contenidos de fósforo entre los tratamientos, no fueron estadísticamente significativas, y el modelo explicó una parte sustancial de la variabilidad (Tabla 8, Figura 14).

En Aocaloma, a los 90 dds los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> mostraron mayores contenidos de fósforo en comparación con T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub>, pero no hubo diferencias estadísticamente significativas. El modelo explicó el 73 % de la variabilidad de los datos, con un CV % de 7,84. A los 180 dds, T<sub>2</sub> y T<sub>4</sub> mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos y tuvieron más fósforo que T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>5</sub>, no existiendo entre, T<sub>3</sub> y T<sub>5</sub> diferencias significativas. El modelo explicó el 82 % de la variabilidad, con un CV % de 7,27. A los 270 dds, los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> superaron a T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> en contenido de fósforo, pero sin diferencias significativas. El modelo explicó el 73 % de la variabilidad, con un CV % de 7,97. En resumen, aunque hubo diferencias en los contenidos de fósforo entre los tratamientos, no fueron estadísticamente significativas, y el modelo explicó una parte sustancial de la variabilidad. Se realizó un análisis inicial del nivel de fósforo en el suelo, que mostró valores de 4,96 ppm en Chirikyacu y 5,01 ppm en Aocaloma (Figura 40 y 41). La mayoría de los tratamientos aumentaron los niveles de fósforo en ambas zonas de estudio, superando los valores iniciales. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al contenido de fósforo. El modelo utilizado explicó una cantidad significativa de la variabilidad de los datos, con coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) que oscilaron entre 0,62 y 0,82, y los resultados mostraron poca variabilidad, con coeficientes de variación (CV %) entre 5,56 % y 7,97 % (Tabla 8, Figura 14).

En el experimento en Chirikyacu y Aocaloma, se utilizó una bacteria solubilizadora de fosfatos (*Enterobacter ludwigii*) y un grupo de hongos micorrícicos

arbusculares (*Acualospora rugosa*, *Acualospora* sp y *Ambispora appendicola*) para inocular semillas y suelo. Estos microorganismos pueden convertir el fósforo insoluble en el suelo en formas solubles, lo que beneficia la disponibilidad de fósforo para las plantas y mejora la absorción de nutrientes (Pereira et al. 2022). La presencia de estas bacterias y hongos micorrícicos arbusculares en las parcelas con leguminosas podría haber influido en los niveles de fósforo en el suelo.

#### 4.1.4. Potasio (K)

En la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para la disponibilidad de potasio en el suelo, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes lugares (Chirikyacu y Aucaloma) y épocas de evaluación. Sin embargo, a los 270 dds en Aucaloma, se observó una disminución en los niveles de potasio en el suelo, probablemente debido a la extracción de este elemento por las leguminosas cultivadas en el área, incluyendo *C. cajan* y *C. ensiformes*, que continuaron extrayendo potasio hasta el final del experimento (Tabla 9 y Figura 15).

La disminución de la concentración de potasio a los 270 dds podría deberse a diversas razones. Una posibilidad es que las plantas estén absorbiendo gradualmente el potasio a medida que crecen y se desarrollan, lo que podría llevar a una reducción de los niveles en el suelo. Además, procesos como la lixiviación y la descomposición de la materia orgánica también pueden contribuir a la disminución de la concentración de potasio en el suelo (Daz-Franco et al. 2021). Los resultados de la evaluación revelaron que no había cambios perceptibles entre los tratamientos A, B y AB en ninguna de las evaluaciones. Esto demuestra que la adición de la aplicación de microorganismos y las asociaciones de leguminosas no aumentaron la cantidad de potasio en el suelo (Díaz-Franco et al. 2021).

**Tabla 9.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a potasio.

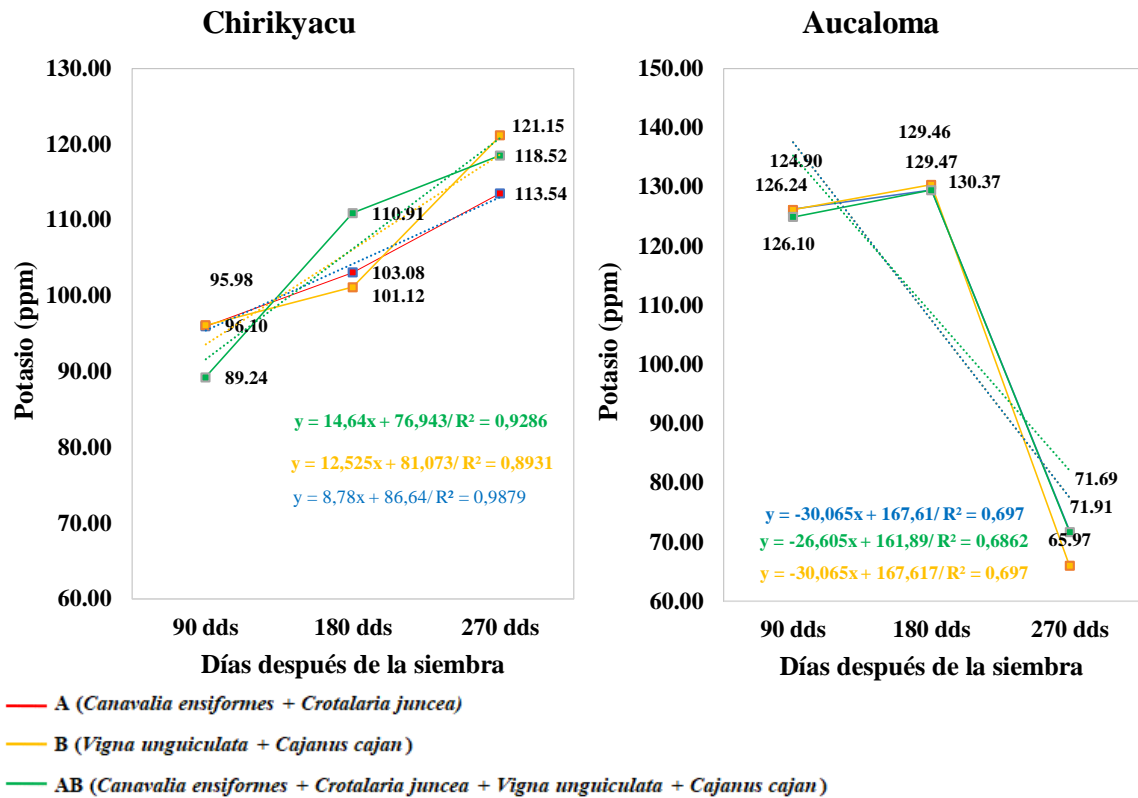
Leguminosas	Potasio (ppm)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	95,98 a	100,95 a	115,52 a	12485 a	128,30 a	71,24 a
2 B	96,10 a	102,12 a	121,15 a	126,10 a	130,37 a	65,97 a
3 AB	89,24 b	110,91 a	118,52 a	124,90 a	129,46 a	71,69 a
R <sup>2</sup>	0,45	0,36	0,55	0,71	0,73	0,40
C.V. (%)	19,38	19,65	15,67	10,88	9,00	35,39

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 15.** Potasio en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.

Es crucial abordar este análisis desde diversas perspectivas para desentrañar los potenciales factores que podrían haber influido en la drástica disminución del contenido de potasio observado en Aucasoma a los 270 dds. Las leguminosas tienen una conocida asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno. Estas bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en formas asimilables por la planta. A su vez, el proceso de fijación de nitrógeno puede estar relacionado con la absorción y asimilación de potasio, pues el potasio juega un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio osmótico en las células vegetales y, por ende, en el proceso de nodulación y fijación de nitrógeno. Es posible que, especialmente bajo la influencia de *C. ensiformes* y *C. cajan* (presentes hasta los 270 dds), haya habido una mayor demanda y absorción de potasio del suelo, conduciendo a una disminución en su concentración a los 270 dds.

Por otro lado, los suelos franco-arenosos y franco arcillo arenosos de Aucasoma tienen una capacidad limitada de retención de cationes, como el potasio. El potasio, siendo un catión, se adsorbe a los coloides del suelo, y su retención está influenciada por la textura del suelo. En suelos arenosos, la lixiviación es un proceso común y, bajo condiciones

de precipitación, el potasio puede ser fácilmente lavado del perfil del suelo. La precipitación registrada en mayo (24,56 mm) podría haber contribuido a la lixiviación de potasio, especialmente en suelos de textura franco-arenosa. La humedad del 78,18 % podría haber incrementado la movilidad del potasio, facilitando su lavado. Si bien una precipitación de 24.56 mm no parece excesiva, en suelos con baja capacidad de retención de cationes, este volumen podría ser suficiente para causar una disminución notable en la concentración de potasio. En suelos, el potasio puede existir en varias formas: soluble, intercambiable, fijado y mineral.

El potasio soluble es el que está disponible inmediatamente para las plantas. En suelos de textura franco-arenosa, la cantidad de potasio fijado puede ser mínima debido a la baja cantidad de arcillas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, el potasio intercambiable puede convertirse en potasio fijado, reduciendo aún más la disponibilidad del elemento para las plantas. Las características químicas del Inceptisol podrían haber favorecido esta transformación, especialmente bajo las condiciones climáticas mencionadas. Así mismo, las bacterias solubilizadoras de fosfatos y los hongos micorrízicos arbusculares pueden tener un impacto indirecto en la disponibilidad de potasio. Al mejorar la disponibilidad de fosfato, podrían haber potenciado el crecimiento de las leguminosas y, por lo tanto, aumentado la demanda de potasio, llevando a una mayor absorción de este nutriente.

En conclusión, la combinación de la naturaleza del suelo de Aucasoma, las características específicas de las leguminosas plantadas, las condiciones climáticas del período de estudio y las reacciones químicas inherentes al potasio en el suelo probablemente convergieron para causar la notable disminución en la concentración de potasio observada a los 270 dds. Sería esencial realizar estudios adicionales, incluidos ensayos de lixiviación y estudios sobre la dinámica del potasio en estos suelos específicos, para validar estas hipótesis. Los valores de  $R^2$  y CV % son coherentes en todas las evaluaciones. El valor de  $R^2$ , que representa el porcentaje de variabilidad en el contenido de potasio del suelo explicado por los tratamientos y otras variables, fue cercano a 0,73 en todas las evaluaciones, lo que indica una fuerte asociación entre los tratamientos y el contenido de potasio. En cuanto al CV %, que mide la variabilidad relativa de los datos, oscilaron alrededor del 9,00 % y 35,39 %, en 90, 180 y 270 dds, respectivamente. Esto indica que los efectos de las leguminosas en el nivel de potasio del suelo fueron consistentes (Díaz-Franco et al. 2021) (Tabla 9 y Figura 15).

En el Tabla 10, de la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para potasio disponible en el suelo, se observa una irregular significancia entre los tratamientos tanto en Chirikyacu como en Aucasoma y en las diferentes épocas de evaluación. Si bien existen diferencias entre



los promedios, pero estos no resultaron significativos sobre todo a los 270 dds, la cual estamos tomando como referencia para la discusión de los resultados, ya mencionado anteriormente (Tabla 10, Figura 16). La disponibilidad de potasio para las plantas depende de diversas formas de este elemento, como el potasio soluble en agua, intercambiable, fijo y mineral. Las plantas utilizan diferentes formas de potasio durante su crecimiento, no solo el potasio fácilmente disponible. La disponibilidad de potasio para las plantas se determina por el equilibrio entre estas formas de potasio en el suelo, influenciado por factores como la composición mineral, la meteorización y las propiedades de intercambio del suelo (Lalitha y Dhakshinamoorthy, 2014).

En Chirikyacu, a los 90 dds y 180 dds, no se observaron diferencias significativas en los niveles de potasio del suelo entre los diferentes tratamientos, por el contrario, a los 270 dds en los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> se muestra que no existe diferencia estadística significativa, entre T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> si existe diferencia estadística significativa, siendo T<sub>3</sub> el tratamiento que mejor y mayor contenido de potasio presenta. En Aucaloma, a los 90 dds y 180 dds, para T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, no muestran diferencias significativas, el T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> si evidencian diferencias sustanciales, aunque el tratamiento T<sub>4</sub>, en ambas evaluaciones son los que reportan contenidos más altos de potasio con 147,20 ppm y 150,48 ppm para las evaluaciones a los 90 dds y 180 dds respectivamente.

**Tabla 10.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de potasio.

Tratamientos	Potasio (ppm)					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	99,59 a	109,73 a	109,57 b	126,68 b	129,99 b	60,11 a
T <sub>2</sub> IM+P	95,37 a	108,33 a	113,93 ab	124,43 b	127,96 b	70,75 a
T <sub>3</sub> IM+H	94,75 a	100,59 a	130,16 a	123,99 b	127,33 b	75,86 a
T <sub>4</sub> NPK	96,61 a	109,02 a	119,12 ab	147,20 a	150,48 a	75,88 a
T <sub>5</sub> SI	85,15 a	95,64 a	119,19 ab	104,11 c	111,11 c	65,57 a
R2	0,45	0,36	0,55	0,71	0,73	0,40
C.V. (%)	19,38	19,65	15,67	10,88	9,00	35,39

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

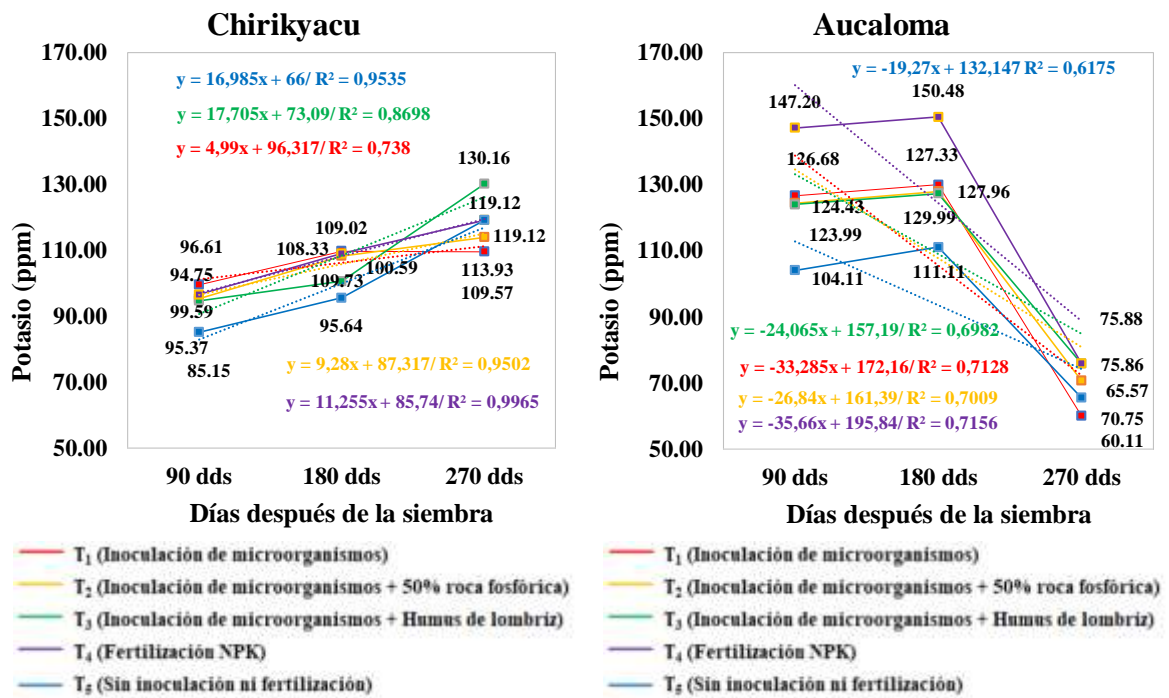
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)



**Figura 16.** Potasio del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma

A los 270 dds en Aucasoma, se observó una disminución sustancial en los niveles de potasio, posiblemente debido a la extracción de este elemento por las leguminosas cultivadas en la zona. Los niveles de potasio en el suelo pueden verse afectados por diversos factores, como el tipo de suelo y las prácticas de gestión agrícola. El potasio es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas (Tabla 10, Figura 16). La disminución de la concentración de potasio a los 270 dds podría deberse a varias razones. Una de ellas podría ser la absorción gradual de potasio por parte de las plantas a medida que crecen y se desarrollan. También, procesos como la lixiviación y la descomposición de la materia orgánica pueden contribuir a la reducción de los niveles de potasio en el suelo. Además, estudios indican que la disponibilidad de potasio en el suelo puede afectar significativamente el crecimiento y las funciones de las plantas, como se demostró en investigaciones sobre plántulas de cacao. En resumen, la concentración de potasio en el suelo y el crecimiento de las plantas están interrelacionados y pueden ser influenciados por varios factores (Díaz-Franco et al. 2021; Tamayo-Ramírez et al. 2022).

La dinámica del potasio en el suelo es compleja y está influenciada por una combinación de factores bióticos, abióticos y las prácticas agronómicas implementadas. En el experimento presentado, se observa un marcado descenso en los niveles de potasio en el suelo de la zona de Aucasoma a los 270 dds en comparación con las evaluaciones previas. Varios

factores pueden contribuir a este fenómeno. Por otro lado, los suelos franco-arenosos y franco arcillo arenosos de Aocaloma tienen capacidades diferentes para retener cationes, incluido el potasio. Los suelos arenosos, debido a su baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), tienden a perder rápidamente los cationes al lixiviado. Los Inceptisoles, siendo suelos jóvenes, podrían no tener una estructura bien desarrollada, lo que podría acentuar la pérdida de potasio.

La lluvia registrada en el mes de evaluación (24,56 mm) podría haber causado lixiviación del potasio, especialmente en suelos arenosos, llevándolo a capas más profundas del perfil del suelo y fuera del alcance de la mayoría de las raíces de las plantas. Así mismo, la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos y fijadoras de nitrógeno, así como hongos micorrízicos arbusculares, podría haber potenciado la absorción de potasio por las leguminosas. Estos microorganismos mejoran la capacidad de la planta para absorber nutrientes del suelo. Por otro lado, las leguminosas *C. ensiformes* y *C. cajan*, que se mantuvieron hasta los 270 dds, podrían tener un alto requerimiento de potasio, lo que intensificaría la disminución del contenido de potasio en el suelo a los 270 dds.

La adición de roca fosfórica y humus de lombriz podría haber modificado la química del suelo. Es posible que la liberación de fosfato haya causado una competencia o antagonismo con el potasio, reduciendo su disponibilidad. Además, el humus de lombriz puede aumentar la actividad microbiana, mejorando la absorción de potasio por las plantas. Una temperatura de 26,21 °C y humedad de 78,18 % son ideales para el crecimiento vegetativo de muchas plantas. Estas condiciones podrían haber estimulado una mayor demanda de potasio por las leguminosas.

La marcada disminución del contenido de potasio en Aocaloma a los 270 dds parece ser el resultado de una interacción compleja de factores edáficos, climáticos, biológicos y de manejo agronómico. La naturaleza del suelo, combinada con la precipitación registrada, podría haber llevado a una lixiviación significativa del potasio. Adicionalmente, las interacciones planta-microorganismo, potenciadas por los tratamientos aplicados, podrían haber aumentado la demanda y absorción de potasio por las leguminosas. Es vital considerar estas interacciones y su impacto acumulativo en futuras investigaciones para desarrollar estrategias de manejo eficaces que optimicen la disponibilidad y uso del potasio en sistemas agrícolas similares.

Las condiciones climáticas desfavorables, como la falta de lluvias y altas temperaturas, pueden haber influido en los bajos niveles de potasio a los 270 dds. Además, la variabilidad inherente en los sistemas agrícolas y la posibilidad de respuestas individuales distintas ante señales ambientales también podrían haber contribuido a estos resultados. En

resumen, factores climáticos y variabilidad natural podrían haber afectado los niveles de potasio en la zona de Aocaloma a los 90 dds (Sánchez et al. 2020; Moscoso-Vásquez et al. 2022).

De acuerdo al análisis inicial (Figura 40 y 41) de las dos zonas de estudio se tiene que para Aocaloma y Chirikyacu, los contenidos de potasio fueron de 71,11 y 90,21 ppm respectivamente, al respecto si se puede notar el incremento del contenido de potasio, casi en la totalidad de los tratamientos, este escenario se puede haber dado por la fertilización con fuente de potasio en el tratamiento T<sub>4</sub> y también por la incorporación de materia orgánica como producto de la descomposición del material verde incorporado en las épocas de poda.

## 4.2. Influencia de las leguminosas sobre los parámetros microbiológicos del suelo

### 4.2.1. Biomasa Microbiana

La Tabla 11 muestra la biomasa microbiana en el suelo de Chirikyacu en relación con la presencia de leguminosas en tres evaluaciones. En 90 dds, no hubo diferencias significativas entre los factores A, B y AB. Lo mismo ocurrió en los 90 y 180 dds. En resumen, no se encontraron diferencias estadísticas en la biomasa microbiana en Chirikyacu en relación con la presencia de leguminosas en ninguna de las evaluaciones. Según estudios anteriores, según Chen et al. (2018), la biomasa microbiana en suelos forestales puede variar en niveles que van desde 200 hasta 1 500  $\mu\text{g C. g}^{-1}$ , mientras que, en diferentes tipos de suelos, los niveles oscilan entre 200 y 1 000  $\mu\text{g C. g}^{-1}$ , según la evaluación de García-Orenes et al. (2013). A los 90 dds en Chirikyacu, los factores A y AB mostraron biomasa microbiana por encima de 1 000, mientras que el factor B fue ligeramente menor, alcanzando 960,43 (Figura 17). Estos resultados sugieren que la inoculación de leguminosas con bacterias solubilizadoras de fosfato, rizobios y hongos micorrízicos arbusculares tuvo un impacto positivo en la biomasa microbiana, indicado por (Gómez, 2018).

**Tabla 11.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a Biomasa Microbiana.

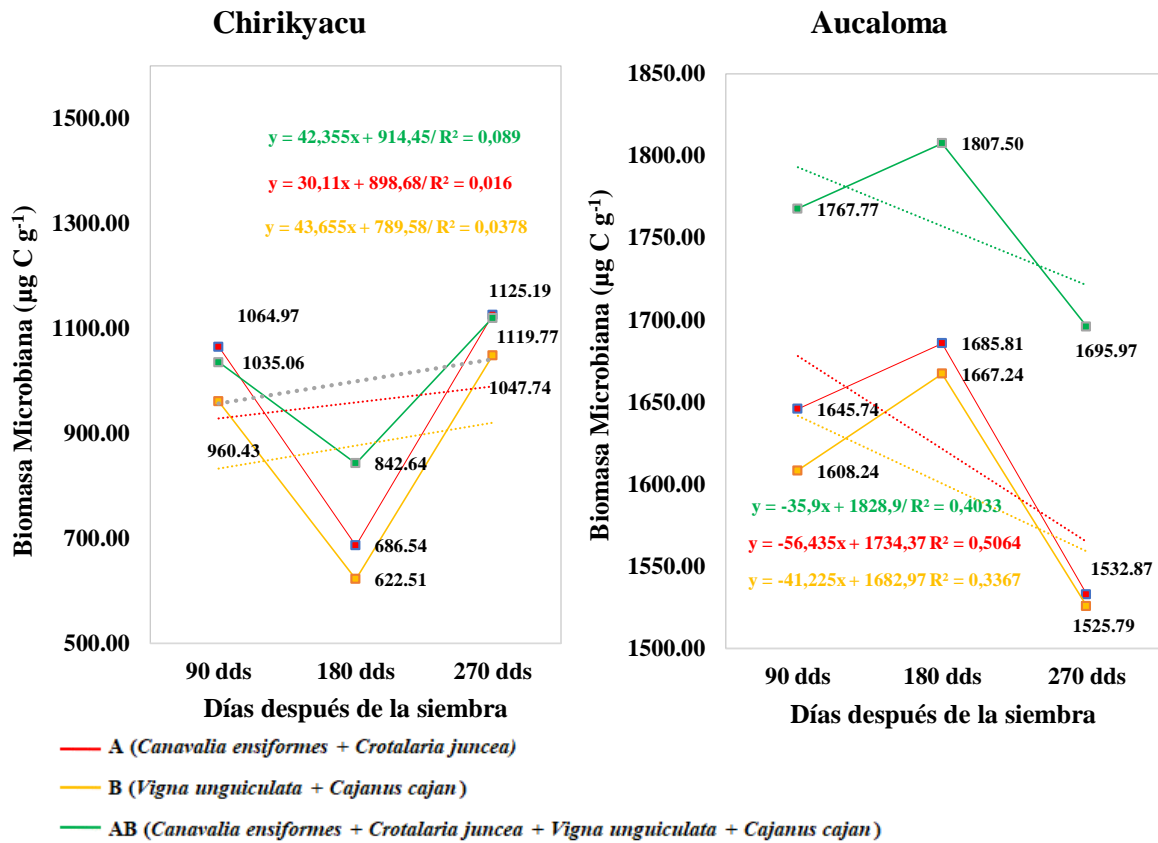
Leguminosas	Biomasa Microbiana ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aocaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	1 064,97 a	686,54 a	1 125,19 a	1 645,74 a	1 685,81 a	1 532,87 a
2 B	960,43 a	622,51 a	1 047,74 a	1 608,24 a	1 667,24 a	1 525,79 a
3 AB	1 035,06 a	842,64 a	1 119,77 a	1 767,77 a	1 807,50 a	1 695,97 a
R2	0,41	0,48	0,71	0,49	0,48	0,51
C.V. (%)	50,67	48,83	31,74	43,55	42,73	44,31

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 17.** Biomasa microbiana en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aocaloma.

A los 180 dds en Chirikyacu, los factores A y B mostraron valores de biomasa microbiana de 686,54 y 622,51  $\mu\text{g C. g}^{-1}$  respectivamente, indicando una disminución en comparación a los 90 dds. El factor AB presentó un valor de 842,64, que se considera un nivel medio de biomasa microbiana, mostrando una disminución del 45 % en relación con estudios previos. A los 270 dds, los factores A, B y C mostraron niveles de biomasa microbiana por encima de 1 000, indicando una alta biomasa microbiana en esta etapa. En resumen, los resultados de las evaluaciones en esta zona revelan que todos los factores presentaron niveles elevados de biomasa microbiana, con la excepción a los 180 dds la evaluación, que mostró una disminución. Esto podría deberse a diversas interacciones entre los microorganismos inoculados y factores ambientales, como sugiere Gómez en 2018. En general, la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos, rizobios y hongos micorrízicos arbusculares tuvo un efecto positivo en la biomasa microbiana en todas las asociaciones de leguminosas evaluadas. Además, a los 90 dds en la Zona Aocaloma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los factores A, B y AB, con valores de biomasa microbiana de 1 645,74, 1 608,24 y 1 767,77  $\mu\text{g C. g}^{-1}$  respectivamente.

A los 180 dds, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los factores, ya que los valores de biomasa microbiana fueron 1 685,81 para el factor A, 1 667,24 para el factor B y 1 807,50 para el factor AB, todos con letras iguales. De manera similar, a los 270 dds, los valores de biomasa microbiana fueron 1 532,87 para el componente A, 1 525,79 para el factor B y 1 695,97 para el factor AB, y nuevamente no se observaron diferencias significativas entre los factores (Figura 17).

García-Orenes et al. (2013) evaluaron la cantidad de biomasa microbiana en varios tipos de suelos, y encontraron que los niveles oscilaban entre 200 y 1 000  $\mu\text{g C. g}^{-1}$ . Otros estudios, como el citado por Chen et al. (2018), se referían a la biomasa microbiana en suelos forestales, donde los niveles oscilaban entre 200 y 1 500  $\mu\text{g C. g}^{-1}$ . En la zona de Aocaloma, en las tres evaluaciones realizadas, se observaron valores de biomasa microbiana superiores a 1 500, lo que indica una biomasa microbiana elevada. Esto sugiere que la inoculación con rizobios, hongos micorrícicos arbusculares y bacterias solubilizadoras de fosfato tuvo un impacto positivo en todas las asociaciones de leguminosas estudiadas, como se menciona en el informe de Gómez en 2018. Sin embargo, a los 270 dds, el factor B mostró una disminución, posiblemente debido a interacciones entre los microorganismos inoculados y el entorno. En general, los resultados demuestran que la inoculación tuvo un efecto favorable en la biomasa microbiana en todas las asociaciones de leguminosas evaluadas, con la excepción de una leve disminución en el factor B a los 270 dds. Antes de comenzar el estudio, se evaluó la biomasa microbiana en las zonas de Aocaloma y Chirikyacu, con resultados de 1 112,36  $\mu\text{g C/g}$  y 752,52  $\mu\text{g C. g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 42). Luego, se inoculó a las asociaciones de leguminosas con bacterias solubilizadoras de fosfato, rizobios y hongos micorrícicos arbusculares. Según la Tabla 11, todas las asociaciones de leguminosas experimentaron un aumento en la biomasa microbiana como resultado de la inoculación. Estos hallazgos son significativos, ya que la biomasa microbiana es crucial para la salud del suelo y su equilibrio biológico, lo que subraya el potencial de la introducción de microbios beneficiosos en el suelo para promover la agricultura sostenible.

De acuerdo a la Tabla 12, la biomasa microbiana del suelo (BMS) fue superior en el tratamiento inoculado con microorganismos ( $T_1$ ) con respecto al tratamiento sin inoculación ( $T_5$ ) en los dos lugares (Chirikyacu y Aocaloma) y en las diferentes épocas de evaluación, aunque estos no fueron significativamente diferentes (Tabla 12, Figura 18).

**Tabla 12.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de Biomasa Microbiana

Tratamientos	Biomasa Microbiana ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	1 270,79 a	640,63 a	1 442,73 a	2 119,76 a	2 186,16 a	2 054,40 a
T <sub>2</sub> IM+P	935,28 a	834,09 a	1 005,59 b	1 530,89 ab	1 554,15 a	1 406,95 a
T <sub>3</sub> IM+H	957,66 a	862,67 a	888,34 b	1 698,37 ab	1 728,07 a	1 577,02 a
T <sub>4</sub> NPK	849,77 a	722,54 a	999,69 b	1 692,91 ab	1 725,72 a	1 549,25 a
T <sub>5</sub> SI	1 087,25 a	526,23 a	1 151,49 ab	1 327,64 b	1 406,82 a	1 336,76 a
R <sup>2</sup>	0,41	0,48	0,71	0,49	0,48	0,51
C.V. (%)	50,67	48,83	31,74	43,55	42,73	44,31

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

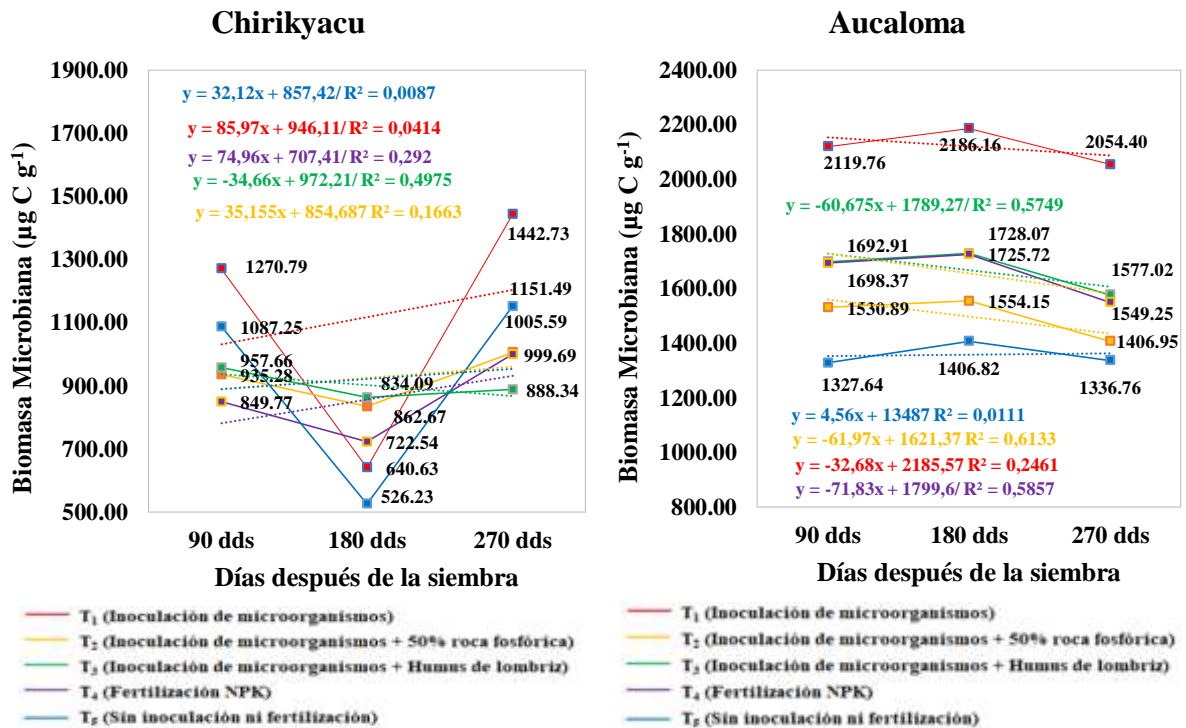
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)



**Figura 18.** Biomasa microbiana del suelo en los diferentes tratamientos Chirikyacu y Aucaloma.

En suelos degradados en la cuenca del Cumbaza, se observaron bajos niveles de biomasa microbiana, con un promedio de  $673,22 \mu\text{g C g}^{-1}$  (Renzo-Valdez et al. 2019). Sin embargo, en el presente trabajo de investigación se logró aumentar la biomasa

microbiana a hasta 2186,16  $\mu\text{g C g}^{-1}$  en la zona de Aucaloma a los 180 dds mediante la inoculación de microorganismos y la incorporación de leguminosas en las áreas de cultivo. Esta diferencia se debe a la presencia de residuos vegetales, que estimulan la actividad microbiana en el suelo, mejorando el ciclaje de nutrientes y reduciendo su pérdida (Ruiz-Alderete et al. 2019). Biomasa microbiana fue evaluada en las dos zonas de estudio, Aucaloma y Chirikyacu, se realizaron los análisis respectivos antes de la instalación del experimento, obteniendo para Aucaloma 1112,36  $\mu\text{g C g}^{-1}$  y para Chirikyacu 752,52  $\mu\text{g C g}^{-1}$  respectivamente (Figura 42).

En Chirikyacu a los 90 dds, se notó un aumento significativo en la biomasa microbiana en el tratamiento T<sub>1</sub> (Inoculación de microorganismos) en comparación con estudios anteriores que registraban alrededor de 673,22  $\mu\text{g C g}^{-1}$  en la cuenca del Cumbaza. Además, el T<sub>1</sub> superó el valor inicial de 752,52  $\mu\text{g C g}^{-1}$  (Figura 42). Estos resultados indican que la inoculación de microorganismos en las leguminosas y el suelo aumentó considerablemente la biomasa microbiana. A los 180 dds, en Chirikyacu, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, que involucraban la Inoculación de Microorganismos, aumentaron notablemente la biomasa microbiana en comparación con estudios anteriores y el análisis inicial, indicando un impacto positivo de la inoculación de microorganismos en el crecimiento de la biomasa microbiana.

A los 270 dds en Chirikyacu, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>. Sin embargo, se observa un aumento notable en la biomasa microbiana en el T<sub>1</sub> (Inoculación de Microorganismos) en comparación con evaluaciones previas realizadas por Renzo-Valdez et al. (2019), en la cuenca Cumbaza, donde la biomasa microbiana promediaba alrededor de 673,22  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Además, el T<sub>1</sub> también supera un análisis anterior en la misma zona, que reportaba una biomasa microbiana de 752,52  $\mu\text{g C g}^{-1}$  (Figura 42). Estos resultados demuestran que la inoculación de microorganismos en las leguminosas, la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y la incorporación de material vegetal producto de la poda en el suelo han mejorado significativamente la biomasa microbiana.

En la segunda zona de estudio Aucaloma, para la evaluación a los 90 dds se observa en la Tabla 12 que para el T<sub>1</sub> (Inoculación de Microorganismos), presenta un valor de biomasa microbiana de 2 119,76  $\mu\text{g C g}^{-1}$  superior a todos los tratamientos mostrando diferencias estadísticas significativas respecto al T<sub>5</sub> que obtuvo el más bajo valor que fue de 1 327,64  $\mu\text{g C g}^{-1}$ , referente a los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, no muestran diferencias estadísticas significativas entre ellos. De la misma manera en comparación con las evaluaciones realizadas



por Renzo-Valdez et al. (2019) en la cuenca Cumbaza, donde la biomasa microbiana osciló alrededor de  $673,22 (\pm 5,54) \mu\text{g C g}^{-1}$ . Además, todos los tratamientos de esta evaluación superan el análisis previo realizado en la zona de estudio Aucaloma, el cual reportó un valor de biomasa microbiana de  $1\ 112,36 \mu\text{g C g}^{-1}$  (Figura 42). Nuevamente se puede notar que la Inoculación de microorganismos eficientes a influenciado considerablemente en el aumento de la biomasa microbiana.

A los 180 dds la zona de estudio Aucaloma, según Tabla 12, no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, aunque según prueba de Duncan donde queda demostrado la no significancia, se nota claramente que en todos los tratamientos los niveles de biomasa microbiana han aumentado considerablemente respecto a 90 dds, se evidencia comparativamente frente a lo que menciona Renzo-Valdez et al. (2019) en la cuenca Cumbaza, donde la biomasa microbiana osciló alrededor de  $673,22 (\pm 5,54) \mu\text{g C g}^{-1}$ . Además, todos los tratamientos de esta evaluación superan el análisis previo realizado en la zona de estudio Aucaloma, el cual reportó un valor de biomasa microbiana de  $1\ 112,36 \mu\text{g C g}^{-1}$  (Figura 42). El impacto de la introducción de microorganismos eficaces en el crecimiento de la biomasa microbiana es evidente. Además, la incorporación de material vegetal de leguminosas podadas se ha hecho perceptible en esta evaluación posterior, ya que este material ha sufrido una descomposición completa en esta fase.

A los 270 dds en la zona de Aucaloma, la Tabla 12 revela un patrón consistente, y el análisis estadístico mediante la prueba de Duncan indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos examinados. Además, los niveles de biomasa microbiana observados en este estudio superan a los reportados por Renzo-Valdez et al. (2019) en la cuenca Cumbaza, donde la biomasa microbiana osciló alrededor de  $673,22 (\pm 5,54) \mu\text{g C g}^{-1}$ . Además, superan también al análisis previo realizado antes de la instalación en la zona Aucaloma, donde la biomasa microbiana fue de  $1\ 112,36 \mu\text{g C g}^{-1}$  (Figura 42).

El coeficiente de determinación  $R^2$  oscila entre 0,41 y 0,71 para las evaluaciones inicial, posterior y final realizadas en la zona de estudio de Chirikyacu. Del mismo modo, para la zona de Aucaloma, el  $R^2$  oscila entre 0,49 y 0,51 a los 90, 180 y 270 dds. En ambos casos, un  $R^2$  dentro de estos intervalos sugiere que el modelo proporciona un nivel moderado de explicación de la variabilidad observada en los datos.

En relación con el Coeficiente de Variabilidad (CV %), a los 90, 180 y 270 dds en Chirikyacu presentan valores que oscilan entre 31,74 y 50,67, mientras que las evaluaciones correspondientes de la zona de Aucaloma muestran valores que oscilan entre 43,55 y 44,31. Un CV comprendido entre estos rangos sugiere que los datos presentan un grado

de variabilidad alto en comparación con la media. Normalmente, una disminución del coeficiente de variación (CV) corresponde a una disminución de la variabilidad relativa de los datos, lo que se traduce en un aumento de la precisión de la medición. No obstante, la importancia del CV depende de las circunstancias específicas y de la naturaleza de los datos examinados. El impacto de la aplicación de microorganismos eficientes en el crecimiento de la biomasa microbiana es evidente. Además, es crucial destacar que la observación de restos de plantas leguminosas ha sido evidente en esta siguiente evaluación, ya que este material orgánico ha completado un proceso integral de descomposición en la actualidad. En el contexto de la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA), estudios previos han demostrado el potencial de esta técnica para mejorar la biomasa microbiana en el interior del suelo (Díaz-Franco et al. 2022; Naranjo-Moran et al. 2022; Padrón-Rodríguez et al. 2020; Trejo et al. 2021; Mancilla et al. 2018).

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) mantienen una relación simbiótica mutualista con las raíces de las plantas, lo que da lugar a la formación de estructuras especializadas conocidas como micorrizas arbusculares. Las asociaciones micorrícicas facilitan el intercambio de nutrientes entre los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y las plantas, con especial énfasis en el suministro de fósforo por parte de los HMA a las plantas. En reciprocidad, las plantas suministran a los HMA sustancias químicas carbonadas que son sintetizadas por fotosíntesis (Alfonso et al. 2021; Padrón-Rodríguez et al. 2020; Trejo et al. 2021; Mancilla et al. 2018).

Se ha comprobado que esta relación simbiótica entre plantas y microorganismos tiene efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como sobre la colonización de hongos micorrícicos en el suelo (Díaz-Franco et al. 2022; Naranjo-Moran et al. 2022; Padrón-Rodríguez et al. 2020; Trejo et al. 2021; Mancilla et al. 2018).

#### **4.2.2. Respiración basal**

El análisis de la respiración basal del suelo en función de la presencia de leguminosas en Chirikyacu y Acaloma revela que en general no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes lugares ni entre las diferentes épocas de evaluación, excepto en Acaloma, donde el factor leguminosa B mostró una diferencia significativa con respecto al factor AB a los 270 dds. En esta última, la respiración basal fue de 10,26 C-CO<sub>2</sub> mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para leguminosa B y 10,73 C-CO<sub>2</sub> mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para leguminosa AB (Tabla 13, Figura 19). En la Tabla 13, se observa que en Chirikyacu, en las tres evaluaciones sucesivas, los factores

leguminosa A, B y AB no muestran diferencias estadísticamente significativas en la respiración basal del suelo. Sin embargo, al comparar estos resultados con la respiración basal antes del experimento, que fue de 8,76 C-CO<sub>2</sub> mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en Chirikyacu (Figura 42), se nota que los valores en las tres evaluaciones son superiores a este valor inicial. Esto sugiere que las leguminosas tienen una influencia positiva en la respiración basal de las parcelas en estudio.

**Tabla 13.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a respiración basal.

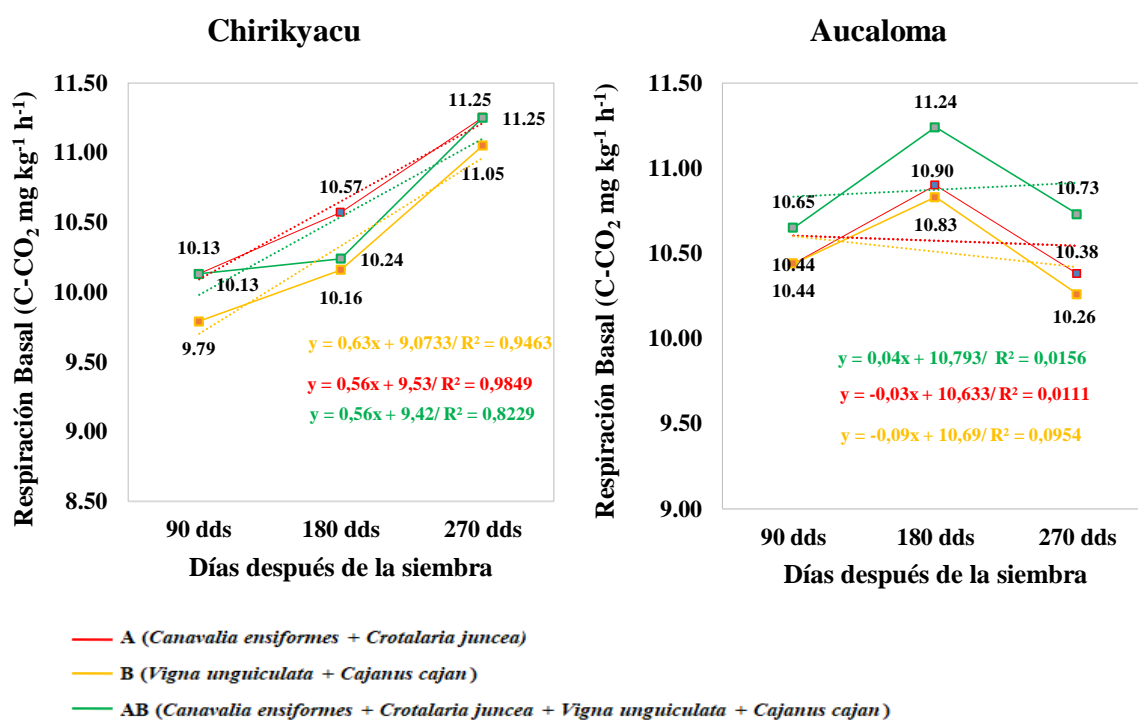
Leguminosas	Respiración Basal (C-CO <sub>2</sub> mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	Chirikyacu			Aucaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	10,13 a	10,57 a	11,25 a	10,44 a	10,90 a	10,38 ab
2 B	9,79 a	10,16 a	11,05 a	10,44 a	10,83 a	10,26 b
3 AB	10,13 a	10,24 a	11,25 a	10,65 a	11,24 a	10,73 a
R <sup>2</sup>	0,53	0,60	0,29	0,56	0,65	0,59
C.V. (%)	7,55	6,12	6,79	6,36	5,66	6,41

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 19.** Respiración basal en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucaloma.

En Aucasoma, la Tabla 13 muestra un patrón similar al de Chirikyacu. En las tres evaluaciones sucesivas, los factores leguminosos A, B y AB no presentan diferencias estadísticamente significativas en la respiración basal del suelo. Sin embargo, es importante destacar que el análisis previo al experimento registró un valor de  $7,21 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en Aucasoma (Figura 42). Notablemente, los resultados de las tres evaluaciones son superiores a este valor inicial. Esto indica que las leguminosas tienen un impacto positivo en la respiración basal de las parcelas estudiadas en Aucasoma. De acuerdo con la referencia de Pardo-Plaza et al. (2018), los valores de respiración basal del suelo se dividen en tres categorías: bajos (menores a  $7,5 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), medios a moderados ( $7,5$  a  $20 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y altos (superiores a  $20 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). En la Tabla 13, en ambas zonas de estudio, los factores A, B y AB muestran valores de respiración basal que superan los  $7,5 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a los 30, 60 y 90 dds. Esto sugiere que los suelos en ambas zonas de estudio tienen una respiración basal en el rango de media a moderada según esta clasificación.

Según estudios Alves et al. (2021) la respiración basal del suelo en suelos agrícolas varió de 22 a  $42 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en suelos locales con inoculación de *Bacillus* sp. en semillas de soja y maíz. Por otro lado, la referencia Hedenec et al. (2019). Se tomaron muestras de suelo en junio de 2009, después de un año de exposición y se prepararon inmediatamente para análisis de laboratorio. La respiración basal del suelo en suelos locales aumentó de 22 a  $42 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  con la latitud, mientras que la respiración basal del suelo en suelos trasplantados disminuyó con la latitud de 32 a  $19 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . El coeficiente de determinación  $R^2$  varió entre 0,29 y 0,60 en Chirikyacu durante las tres evaluaciones, y en Aucasoma, mantuvo un rango consistente entre 0,56 y 0,65 en las mismas evaluaciones. Estos valores indican un buen ajuste del modelo, lo que significa que el modelo puede explicar la mayor parte de la variabilidad observada en los datos, aunque podría haber alguna variabilidad no explicada. El Coeficiente de Variabilidad (CV %) en Chirikyacu osciló entre 6,12 y 7,55 en las tres evaluaciones, mientras que en Aucasoma varió entre 5,66 y 6,41. Estos valores bajos sugieren una alta precisión en las mediciones y una mínima dispersión de datos, lo que aumenta la confiabilidad de las mediciones. La respiración basal del suelo se relaciona directamente con la cantidad de biomasa microbiana presente en el suelo, como respaldan investigaciones anteriores, como las de Torres et al. (2015), que indicaron que las enmiendas orgánicas aumentan la actividad microbiológica y modifican la estructura de la comunidad microbiana, influenciada por la estabilización de los residuos de poda, más que por la dosis aplicada. Estas adiciones contribuyen al aumento de la materia orgánica del suelo y, por ende, al crecimiento de la biomasa microbiana.

Además, la investigación de Cerrón et al. (2020) reveló que la incorporación de enmiendas orgánicas, como el compost y el vermicompost, tiene un impacto beneficioso en la respiración basal del suelo, con un aumento notable en la actividad microbiana y la respiración del suelo, especialmente en el cultivo de girasol.

En la Tabla 14 se ilustra los resultados de la prueba de Duncan realizada para analizar la respiración basal del suelo en relación a los diferentes tratamientos. Los resultados indican que no hubo variaciones estadísticamente significativas en la respiración basal entre los 90 y 270 dds en la zona de Chirikyacu. Asimismo, no se identificaron variaciones significativas de carácter estadístico entre los distintos tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> a los 180 dds, además, el análisis revela que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub>. Sin embargo, el tratamiento T<sub>2</sub> presenta diferencias estadísticamente significativas cuando se compara con todos los demás tratamientos. El análisis estadístico de los datos de las tres evaluaciones realizadas en la zona de Aocaloma, tal como se presenta en la Tabla 14, reveló la presencia de diferencias estadísticas significativas o disparidades sustanciales entre los distintos tratamientos.

**Tabla 14.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de respiración basal.

Tratamientos	Respiración Basal (C-CO <sub>2</sub> mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	Chirikyacu			Aocaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	9,82 a	10,12 ab	11,36 a	10,79 a	11,14 ab	10,61 ab
T <sub>2</sub> IM+P	9,72 a	9,77 b	11,16 a	10,56 ab	11,11 ab	10,55 ab
T <sub>3</sub> IM+H	10,37 a	10,68 a	11,39 a	10,89 a	11,50 a	10,92 a
T <sub>4</sub> NPK	10,07 a	10,61 a	10,98 a	10,35 ab	10,84 bc	10,23 ab
T <sub>5</sub> SI	10,11 a	10,41 ab	11,03 a	9,96 b	10,35 c	9,96 b
R <sup>2</sup>	0,53	0,60	0,29	0,56	0,65	0,59
C.V. (%)	7,55	6,12	6,79	6,36	5,66	6,41

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

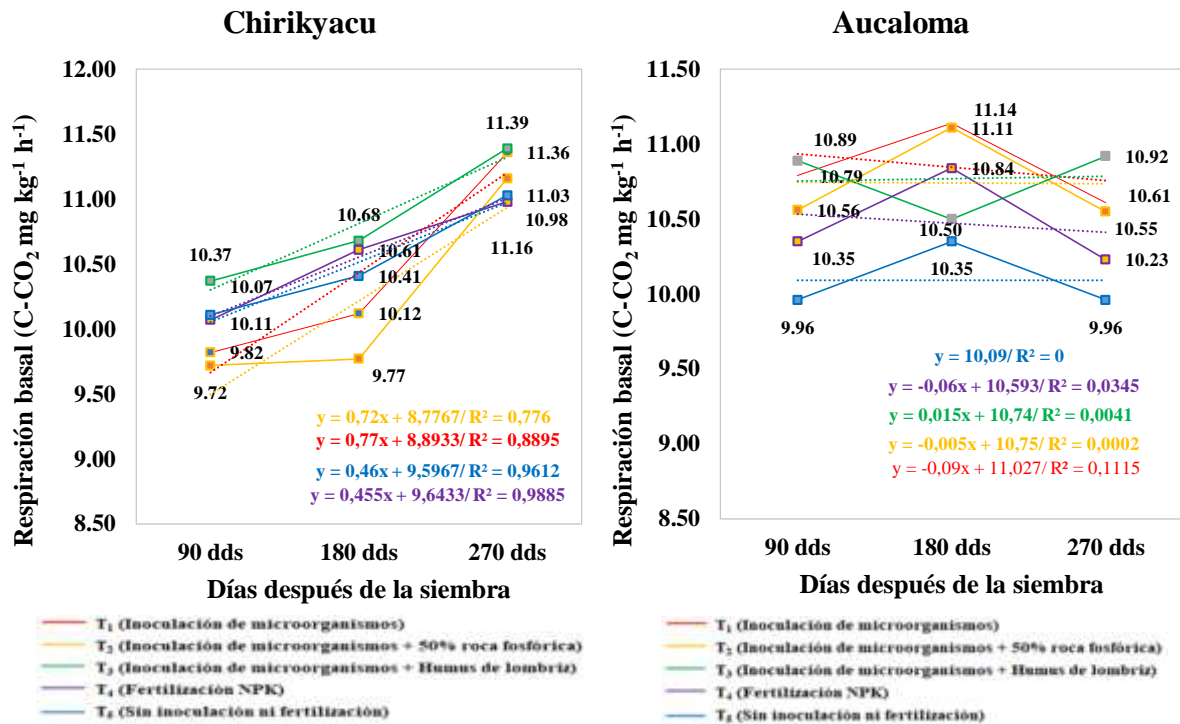
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)



**Figura 20.** Respiración basal del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.

Durante la evaluación de los 90 dds en la zona Aucasoma, se observó que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> presentaban valores de respiración basal del suelo comparables y significativamente elevados, expresados en unidades de C-CO<sub>2</sub> mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. Este hallazgo sugiere que la incorporación de microorganismos beneficiosos ya sea por sí solos o junto con roca fosfórica o humus de lombriz, dio lugar a un aumento de la actividad microbiana en el suelo en comparación con la aplicación de fertilizantes químicos o ningún tratamiento suplementario.

A los 180 dds en Aucasoma, se identificó una tendencia similar y consistente a la evaluación anterior, según la cual los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> mostraron niveles elevados de respiración basal del suelo en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. No obstante, dentro de esta evaluación, el tratamiento T<sub>3</sub> mostró el nivel más elevado de respiración basal del suelo, lo que sugiere que la asociación de inoculación de microorganismos beneficiosos con humus de lombriz tuvo un impacto favorable en la actividad microbiana y, por tanto, en la respiración basal del suelo.

A los 270 dds, se observó una vez más que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> presentaban valores de respiración basal del suelo más elevados en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. No obstante, en esta evaluación se observó que el tratamiento T<sub>1</sub>

presentaba el nivel más elevado de respiración basal del suelo, lo que sugiere que la sola inoculación de microorganismos beneficiosos tuvo el impacto más significativo en la actividad microbiana del suelo.

Los resultados de esta investigación demuestran que la incorporación de microorganismos benéficos ya sea de forma independiente o junto con roca fosfórica o humus de lombriz, puede mejorar la actividad microbiana y, por tanto, aumentar la respiración basal en suelos agrícolas. El efecto observado resulta ser más prominente en comparación con la utilización de fertilizantes químicos o la ausencia de cualquier tratamiento suplementario. La actividad de los microorganismos del suelo desempeña un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la salud general del suelo.

En el estudio realizado por Pardo-Plaza et al. (2018), se examinaron los valores de respiración basal del suelo. Se determinó que la respiración basal inferior a  $7,5 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se clasifica como baja, mientras que los valores que oscilan entre  $7,5$  y  $20 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se consideran moderados. La respiración basal superior a  $20 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se clasifica como alta. De acuerdo con la referencia proporcionada, la Tabla 14 muestra los valores de respiración basal exceden a  $7,5 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> para los 90, 180 y 270 dds en ambas zonas de investigación. Este hallazgo indica que los suelos en ambas zonas de investigación exhiben un nivel moderado a intermedio de respiración basal.

El coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,53; 0,60 y 0,29 a los 90, 180 y 270 dds, respectivamente, realizadas dentro de la zona de investigación de Chirikyacu. En cuanto a la zona de Aucaloma, el coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,56; 0,65 y 0,59 durante las tres evaluaciones realizadas, respectivamente. En ambos casos, un valor  $R^2$  que se sitúe dentro de estos rangos indica un fuerte ajuste del modelo, ya que implica que éste es capaz de explicar una parte significativa de la variabilidad observada en los datos. No obstante, es concebible que el modelo no explique una proporción menor de la variabilidad.

En relación con el Coeficiente de Variabilidad (CV %), las evaluaciones inicial, posterior y final de Chirikyacu exhiben valores de 7,55; 6,12 y 6,79 respectivamente. Del mismo modo, las evaluaciones realizadas en la región de Aucaloma muestran valores de 6,36; 5,66 y 6,41 respectivamente. Un coeficiente de variación (CV) comprendido dentro de estos rangos especificados significa una magnitud baja, lo que sugiere un alto grado de precisión y coherencia en la medición. Los datos muestran un grado limitado de dispersión, como indica la escasa variabilidad observada en los valores. Por lo tanto, una disminución del coeficiente de

variación (CV) se asocia a un descenso de la variabilidad relativa, lo que conduce a un aumento de la precisión de la medición. No obstante, la importancia del CV depende de las condiciones y los atributos específicos de los datos examinados.

En la Tabla 14 se presentan los resultados del área de estudio de Chirikyacu, los resultados indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre estos tratamientos. Cabe señalar que el análisis de respiración basal realizado previo al experimento reportó un valor de  $8,76 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para la zona de Chirikyacu (Figura 42). Es importante destacar que los resultados de las tres evaluaciones superan este valor inicial. Este hallazgo sugiere que los tratamientos tienen un impacto en la respiración basal de las parcelas investigadas.

La Tabla 14 muestra una tendencia comparable dentro de la zona de estudio de Aocaloma, es importante reconocer que la evaluación preliminar de la respiración basal realizada antes del inicio del experimento indicó un valor registrado de  $7,21 \text{ C-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  específicamente para la zona de Aocaloma (Figura 42). Significativamente, los resultados de las tres evaluaciones superan el valor de referencia. Esta observación indica que los tratamientos ejercen una influencia sobre la respiración basal de las parcelas examinadas. La investigación ha demostrado los efectos ventajosos de la incorporación de humus en las prácticas agrícolas, ya que mejora la calidad del suelo y favorece el crecimiento de las plantas. En un estudio reciente realizado por Patiño-Moscoso et al. (2022), se observó que la utilización de residuos de cultivos de *C. sativa* para la producción de compost tenía un impacto positivo en la proliferación de microorganismos capaces de solubilizar fosfato y fijar nitrógeno. Además, Patiño-Moscoso et al. (2022) descubrieron que la utilización de bacterias ventajosas, como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., juega un papel crucial en la regulación de las poblaciones de microorganismos del suelo.

Nunca se insistirá lo suficiente en la importancia de las bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrícicos arbusculares en la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Estos microorganismos beneficiosos son vitales para facilitar procesos esenciales que contribuyen a la salud general y la productividad del suelo y las plantas. En un estudio realizado por Mancilla et al. (2018), se demostró que el cultivo de chile poblano en la Sierra Nevada de Puebla, México, resultó en la presencia de rizobacterias y hongos micorrícicos arbusculares. Estos microorganismos ventajosos tienen el potencial de aumentar la absorción de nutrientes por las plantas y facilitar su desarrollo robusto. La respiración basal del suelo se refiere a la cuantificación de la actividad microbiana dentro del suelo, típicamente expresada como la tasa de emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por unidad de tiempo y masa de suelo.



La actividad microbiana está sujeta a varias condiciones, incluyendo el contenido del material vegetal sometido a compostaje y la relación carbono-nitrógeno tanto del compost como del suelo (Celestina et al. 2019). Además, la correlación entre la respiración del suelo y tanto la densidad del suelo como la actividad bacteriana se ha establecido en estudios anteriores (Barbaro et al. 2020). Estudios previos han reportado que la utilización de enmiendas orgánicas, como el compost, tiene el potencial de impactar la abundancia de bacterias y el nivel de actividad microbiana dentro del suelo (Barbaro et al. 2020).

En la producción agrícola, la fertilización química se emplea con frecuencia junto con la utilización de humus y microbios beneficiosos. Sin embargo, es crucial tener en cuenta los impactos de la fertilización química en la respiración basal de los suelos agrícolas. En un estudio realizado por Lerma et al. (2018), se encontró que la incorporación de compost híbrido imitador del suelo, que consiste en arcilla, polímeros y bacterias fijadoras de nitrógeno, tiene potencial para el avance de estrategias de remediación dirigidas a suelos deteriorados. Estos sistemas tienen el potencial de contribuir a la restauración de la salud del suelo y la promoción de la respiración basal. En conclusión, la incorporación de humus, la utilización de microorganismos útiles como las bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrízicos arbusculares, y la aplicación de fertilización química son componentes integrales de la productividad agrícola. La aplicación de estos métodos tiene el potencial de mejorar la calidad del suelo, estimular el desarrollo de las plantas e influir en la respiración basal de los suelos agrícolas.

#### **4.2.3. Actividad de ureasa**

En el Tabla 15, de la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para actividad de ureasa en el suelo, en función de la presencia de leguminosas, se observa que no hubo diferencias significativas entre la actividad de ureasa de los diferentes lugares (Chirikyacu y Aocaloma) ni entre las diferentes épocas de evaluación. También presenta los resultados indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de leguminosas instaladas y la actividad enzimática del contenido de ureasa ( $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) observados durante los 90, 180 y 270 dds, evaluación en las zonas de estudio Chirikyacu y Aocaloma. La evaluación inicial de la zona de Chirikyacu revela que el factor AB demuestra un rendimiento superior en términos de contenido de actividad ureasa, exhibiendo un valor de  $542,21 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Sin embargo, a los 180 dds, hay una variación en el factor que exhibe un mejor rendimiento, con el factor B demostrando un contenido de ureasa de  $530,94 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Finalmente, a los 270 dds, el factor A emerge como la opción más favorable en base al contenido de actividad

ureasa, exhibiendo un valor de  $604,30 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . A los 90, 180 y 270 dds en la zona Aucasoma el factor A muestra contenidos de actividad ureasa  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  de 595,13, 549,44 y 562,21  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, evidenciándose que es el factor que mejor comportamiento y mayor contenido de ureasa tiene respecto a los demás factores B y AB de la presente investigación (Tabla 15, Figura 21).

**Tabla 15.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a Ureasa.

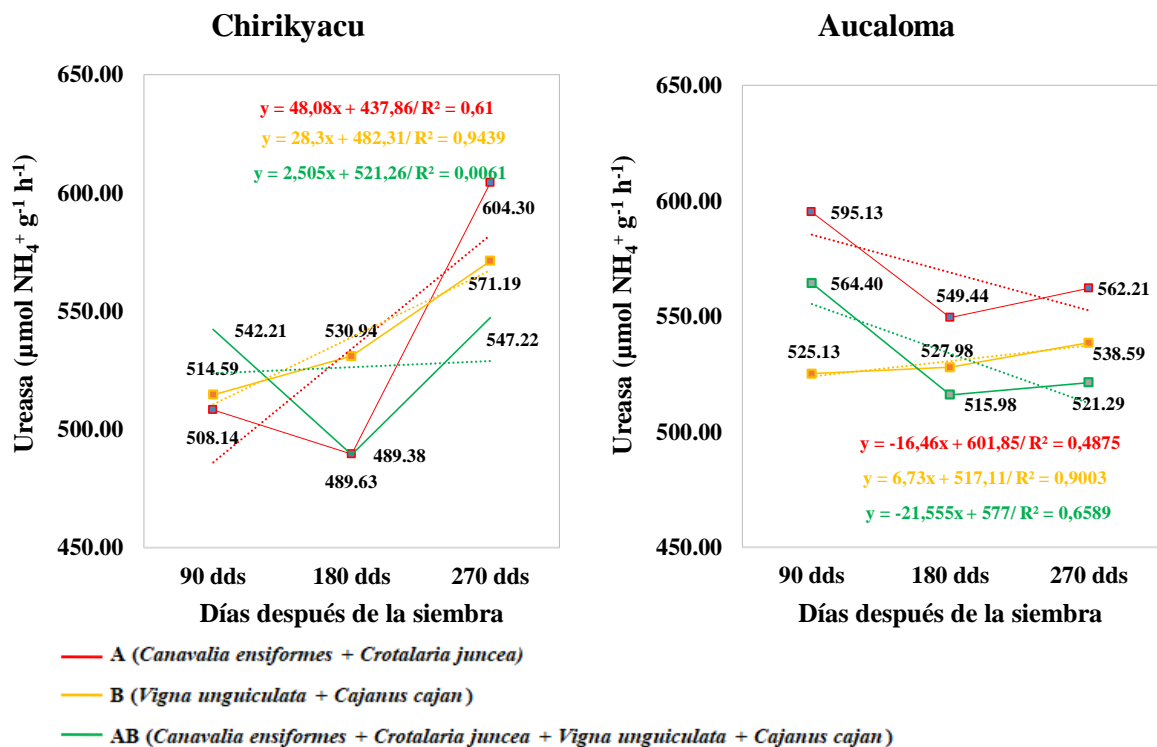
Leguminosas	Ureasa ( $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aucasoma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	508,14 a	489,63 a	604,30 a	595,13 a	549,44 a	562,21 a
2 B	514,59 a	530,94 a	571,19 a	525,13 a	527,98 a	538,59 a
3 AB	542,21 a	489,38 a	547,22 a	564,40 a	515,98 a	521,29 a
R2	0,52	0,57	0,49	0,64	0,54	0,37
C.V. (%)	18,77	28,92	30,72	24,61	23,98	32,82

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 21.** Actividad de ureasa en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.

Se ha observado la influencia de los cultivos de cobertura de leguminosas en la actividad enzimática de la ureasa. Las leguminosas son conocidas por su capacidad de establecer relaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno, permitiendo así la fijación del nitrógeno atmosférico. El proceso de fijación de nitrógeno tiene el potencial de aumentar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, impactando consecuentemente en la actividad de la ureasa (Hernández et al. 2022). La incorporación de materia orgánica en el suelo tiene el potencial de influir en la actividad de la ureasa. La actividad de las enzimas ureasa puede verse influida por la interacción entre los compuestos húmicos que se encuentran en la materia orgánica del suelo, como demostraron Rosa et al. (2017).

Además, la inclusión de materia orgánica en el suelo podría mejorar su integridad estructural y estimular los procesos microbianos, lo que podría afectar a la actividad de la ureasa. En última instancia, la presencia y las acciones de los microorganismos, específicamente las bacterias solubilizadoras de fosfato y los hongos micorrícicos arbusculares, tienen el potencial de afectar a la actividad de la ureasa. Según Rosa et al. (2017), las bacterias solubilizadoras de fosfato poseen la capacidad de solubilizar fosfatos inorgánicos en el suelo. Este proceso tiene el potencial de afectar a la disponibilidad de fósforo, influyendo así en la actividad de la ureasa. Los hongos micorrícicos arbusculares establecen una asociación mutualista con las raíces de las plantas, aumentando así la absorción de nutrientes, en particular de fósforo. Esta interacción también puede influir en la actividad de la ureasa. Sobre la base de las conclusiones de Zhang et al. (2017), los niveles de actividad de la ureasa que oscilan entre 300 y 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se clasifican como moderados, mientras que los valores superiores a 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se clasifican como altos. No obstante, es fundamental reconocer que la comprensión de los valores de actividad de la ureasa depende de las circunstancias particulares en las que se evaluaron.

Basándose en la referencia suministrada, la Tabla 15 muestra valores de actividad de la ureasa que superan el umbral referencial de 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Esto sugiere que la actividad de la ureasa asociada a los factores A, B y AB de las leguminosas es notablemente alta en ambas zonas de estudio y a lo largo de las tres evaluaciones realizadas. El efecto positivo de la introducción de microorganismos útiles, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), sobre la actividad de la ureasa está bien definido. Este efecto se ve además intensificado por la continua incorporación de materia vegetal a través de las prácticas de poda. No obstante, es crucial señalar que la evaluación inicial de la actividad de la ureasa se realizó antes del comienzo del experimento, y arrojó un valor específico de 396,32  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para la zona de

Chirikyacu (Figura 42). Cabe destacar que los resultados de las tres evaluaciones superan el valor de referencia. Esta observación sugiere que la actividad ureasa está influenciada por los factores A, B y AB de las leguminosas. El impacto positivo en la actividad de la ureasa resultante de la introducción de microorganismos útiles, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), es evidente. Además, la integración gradual de material vegetal mediante la poda contribuye aún más a este efecto.

En referencia a la zona de Aocaloma, se documentó un valor inicial de actividad ureasa de  $375,36 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 42). Se observa que, en las tres evaluaciones, este valor inicial se superó antes del inicio del experimento. Esta observación sugiere que los factores A, B y AB de las leguminosas han ejercido un impacto directo sobre los niveles de actividad de la ureasa en todas las parcelas examinadas en la presente investigación. El impacto positivo sobre la actividad de la ureasa resultante de la introducción de microorganismos útiles, tales como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), es evidente. Este efecto se potencia aún más con la inclusión gradual de material vegetal mediante actividades de poda.

El coeficiente de determinación  $R^2$  exhibió valores de 0,52; 0,57 y 0,49 a los 90, 180 y 270 dds, respectivamente, realizadas dentro de la zona de investigación de Chirikyacu. En cuanto a la zona de Aocaloma, el coeficiente de determinación  $R^2$  exhibió valores de 0,64; 0,54 y 0,37 en las tres evaluaciones pertinentes realizadas. En ambos casos, la presencia de un valor  $R^2$  dentro de estos rangos especificados significa un ajuste robusto del modelo, ya que sugiere que el modelo es capaz explicar parte sustancial de la variabilidad observada en los datos. No obstante, es posible argumentar que el modelo puede no dar cuenta de una fracción menor de la varianza.

En cuanto al Coeficiente de Variación (CV %), a los 90, 180 y 270 dds en la zona de Chirikyacu exhiben valores de 18,77; 28,92 y 30,72, respectivamente. Asimismo, las evaluaciones realizadas en la región de Aocaloma indican valores respectivos de 24,61; 23,98 y 32,82. Un coeficiente de variación (CV) dentro de los rangos definidos indica una magnitud media, lo que indica un mediano nivel de precisión y coherencia en la medición. Los datos presentan un nivel de dispersión moderado respecto a la media, como se desprende de la mediana variabilidad detectada en los resultados. Por lo tanto, una reducción del coeficiente de variación (CV) está vinculada a una disminución de la variabilidad relativa, lo que se traduce

en una mejora de la precisión de la medición. No obstante, la importancia del CV depende de las circunstancias y características particulares del material examinado.

En cuanto a la actividad ureasa y los distintos tratamientos, se observó que la máxima actividad de esta enzima en Chirikyacu se produjo durante los 270 dds del tratamiento T<sub>5</sub> (SI), con un valor de 642,26  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Sin embargo, cabe señalar que esta diferencia no fue estadísticamente significativa en comparación con la actividad observada en los demás tratamientos. En la zona de Aucasoma, se observaron notables disparidades en el primer período de evaluación (90 dds) al comparar los tratamientos T<sub>2</sub> (739,19  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) y T<sub>5</sub> (451,15  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ). Durante el segundo evento, se observaron notables diferencias entre los tratamientos T<sub>2</sub> (601,15  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) y T<sub>4</sub> (443,85  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ), (Tabla 16, Figura 22).

**Tabla 16.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de Ureasa.

Tratamientos	Ureasa ( $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aucasoma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	464,96 a	414,64 b	490,36 a	583,26 b	589,77 a	560,94 a
T <sub>2</sub> IM+P	532,73 a	518,13 ab	556,44 a	739,19 a	601,15 a	624,48 a
T <sub>3</sub> IM+H	530,25 a	481,41 ab	562,20 a	567,18 b	535,49 ab	549,45 a
T <sub>4</sub> NPK	530,78 a	622,89 a	619,93 a	466,97 b	443,85 b	453,16 a
T <sub>5</sub> SI	549,51 a	479,50 ab	642,26 a	451,15 b	485,43 ab	515,44 a
R <sup>2</sup>	0,52	0,57	0,49	0,64	0,54	0,37
C.V. (%)	18,77	28,92	30,72	24,61	23,98	32,82

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

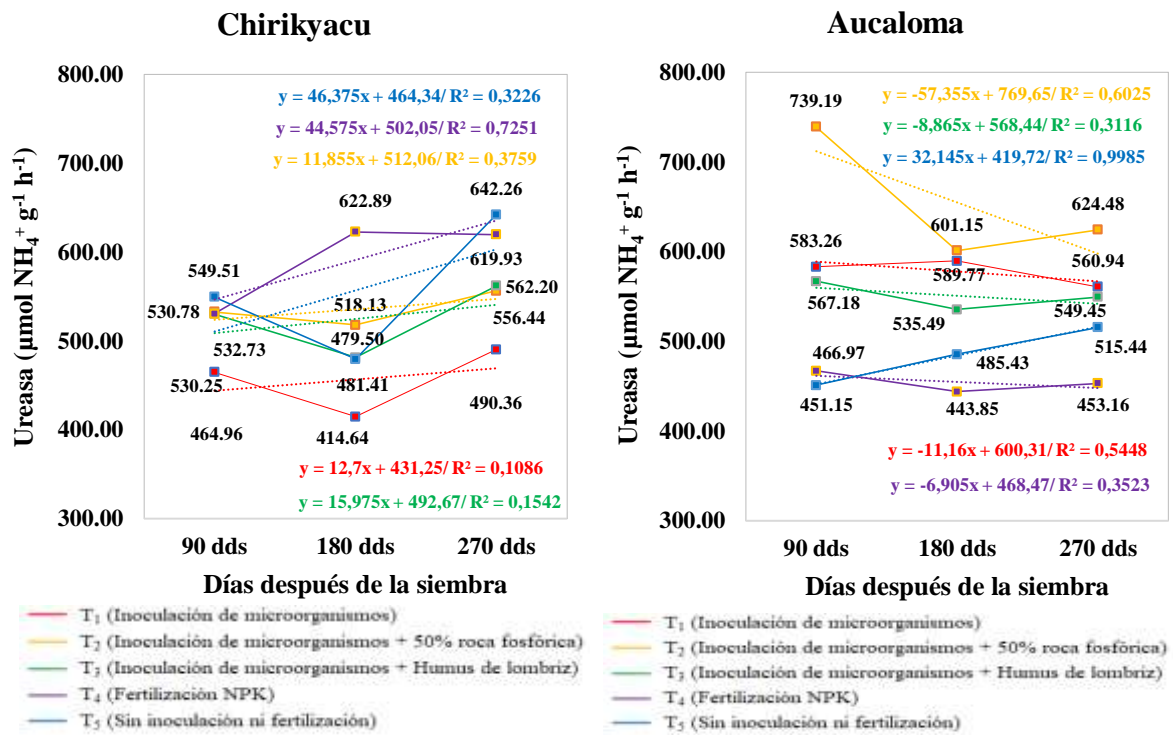
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)



**Figura 22.** Actividad de ureasa del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.

Las variaciones observadas en los niveles de ureasa pueden atribuirse probablemente a la influencia continua y diversa de la materia orgánica resultante de la presencia de leguminosas. Como resultado, la introducción de materia orgánica tiene el potencial de afectar tanto al tamaño como a la actividad de la comunidad microbiana, como demostraron Buzinaro et al. (2009). En la zona de estudio Chirikyacu se puede observar que en los 90 y 270 dds, no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. Respecto a los 180 dds se observa que si se evidencias diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub> con valores de ureasa de 414,64 y 622,89  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, siendo el tratamiento T<sub>4</sub> el que presenta el mayor contenido de Actividad ureasa. A los 180 dds respecto al T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, no presentan diferencias estadísticamente diferentes. Durante los 90 dds la evaluación en la zona Aucasoma, se observó que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> presentaban valores de ureasa suelo comparables y significativamente elevados, expresados en unidades de  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. Este hallazgo sugiere que la incorporación de microorganismos beneficiosos ya sea por sí solos o junto con roca fosfórica o humus de lombriz, dio lugar a un aumento de la actividad ureasa en el suelo en comparación con la aplicación de fertilizantes químicos o ningún tratamiento suplementario (Tabla 16, Figura 22).

A los 180 dds en Aucaloma, se identificó una tendencia similar y consistente a la evaluación anterior, según la cual los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> mostraron niveles elevados de ureasa del suelo en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. No obstante, dentro de esta evaluación, el tratamiento T<sub>2</sub> mostró el nivel más elevado de ureasa del suelo, lo que sugiere que la asociación de inoculación de microorganismos beneficiosos con roca fosfórica tuvo un impacto favorable en la actividad microbiana y, por tanto, en la ureasa basal del suelo. A los 270 dds, se observó una vez más que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> presentaban valores de respiración basal del suelo más elevados en comparación con los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. No obstante, en esta evaluación se observó que el tratamiento T<sub>2</sub> presentaba el nivel más elevado de ureasa del suelo, lo que sugiere que la inoculación de microorganismos beneficiosos con roca fosfórica tuvo el impacto más significativo en la actividad microbiana del suelo. Los resultados de este estudio sugieren que la incorporación de microorganismos benéficos ya sea individualmente o en combinación con roca fosfórica o humus de lombriz, puede aumentar la actividad de la ureasa y, por tanto, elevar los niveles de ureasa en suelos agrícolas. El resultado observado exhibe un mayor grado de prominencia en comparación con la utilización de fertilizantes químicos o la ausencia de cualquier tratamiento suplementario. La participación de los microorganismos del suelo es de suma importancia en el proceso de descomposición de la materia orgánica, la accesibilidad de los nutrientes y el bienestar general del suelo. Algunos estudios han demostrado que la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal puede aumentar la actividad de la ureasa en el suelo.

Se ha encontrado un aumento de la actividad ureasa en cultivos de tomate mediante la inoculación con cepas de *Enterobacter* y *Pseudomonas* (López et al. 2018). La presencia de estas bacterias tiene el potencial de mejorar la accesibilidad de nutrientes esenciales, como el fósforo y el nitrógeno, e inducir procesos microbianos dentro del suelo, lo que repercute en la actividad de la ureasa. La introducción de materia orgánica en el suelo tiene la capacidad de afectar a la actividad de la ureasa. La actividad de la enzima ureasa puede verse afectada por la interacción entre los productos químicos húmicos presentes en la materia orgánica del suelo, como demuestra el estudio realizado por Rosa et al. (2017). Además, la incorporación de materia orgánica en el suelo tiene el potencial de mejorar su estabilidad estructural y promover las actividades microbianas, por lo que puede influir en la actividad de la ureasa. Sobre la base de las conclusiones de Zhang et al. (2017), los niveles de actividad de la ureasa que oscilan entre 300 y 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se clasifican como moderados, mientras que los valores superiores a 500  $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se clasifican como altos. No obstante, es fundamental reconocer que la comprensión de los valores de actividad de la ureasa depende de

las circunstancias particulares en las que se evaluaron. Basándose en la referencia suministrada, la Tabla 16 muestra valores de actividad de la ureasa que superan el umbral referencial de  $500 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , asumiendo en dichos tratamientos que la actividad ureasa es alta, en la Tabla 16, se observa que hay valores que no sobrepasan los  $500 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

Esto sugiere que la actividad de la ureasa fue influenciada consistentemente por los tratamientos donde se evidencian esos valores que superan  $500 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , para los valores que no superan la referencia la actividad enzimática ureasa se encuentra en niveles moderados. El efecto positivo de la introducción de microorganismos útiles, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), sobre la actividad de la ureasa está bien definido. Este impacto se ve reforzado por la continua integración de material botánico a través de metodologías de poda. Es importante resaltar que la evaluación preliminar de la actividad ureasa fue realizada antes del inicio del experimento, resultando en un valor específico de  $396,32 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para el área de Chirikyacu (Figura 42). Es importante reconocer que los resultados de las tres evaluaciones superan el valor de referencia original. Este descubrimiento indica que la actividad de la ureasa se ve afectada por los tratamientos suministrados. La clara influencia favorable sobre la actividad de la ureasa se observa cuando se introducen microorganismos beneficiosos, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Además, la incorporación progresiva de material vegetal mediante la poda sirve para potenciar este fenómeno.

En referencia a la zona de Aucaloma, se documentó un valor inicial de actividad ureasa de  $375,36 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Figura 42). Se observa que, en las tres evaluaciones, este valor inicial se superó antes del inicio del experimento. Esta observación sugiere que los tratamientos aplicados han ejercido un impacto directo sobre los niveles de actividad de la ureasa en todas las parcelas examinadas en la presente investigación. El impacto positivo sobre la actividad de la ureasa resultante de la introducción de microorganismos útiles, tales como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), es evidente. Este efecto se potencia aún más con la inclusión gradual de material vegetal mediante actividades de poda. El coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,52; 0,57 y 0,49 a lo largo de los 90, 180 y 270 dds de evaluación, respectivamente, realizadas dentro de la zona de investigación de Chirikyacu. En cuanto a la zona de Aucaloma, el coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,64; 0,54 y 0,37 en las tres pruebas respectivas realizadas. En ambos casos, la inclusión de un valor  $R^2$  dentro de estos rangos designados indica un fuerte ajuste del modelo. Esto implica que el modelo es capaz de dilucidar



una parte significativa de la variabilidad observada en los datos. No obstante, se podría plantear que el modelo puede no explicar adecuadamente una proporción menor de la varianza. En cuanto al Coeficiente de Variación (CV %), respecto a los 90, 180 y 270 dds la evaluación realizada en la zona de Chirikyacu arrojaron valores de 18,77; 28,92 y 30,72, respectivamente. Del mismo modo, las evaluaciones realizadas en la región de Aucasoma revelan valores respectivos de 24,61; 23,98 y 32,82. Un coeficiente de variación (CV) dentro de los rangos especificados sugiere un grado alto de variabilidad en relación con la media, lo que implica que los puntos de datos están muy dispersos y que factores externos pueden haber influido en la exactitud o la recopilación de los datos. Sin embargo, la importancia del (CV) depende de las circunstancias específicas y de los atributos del contenido sometido a examen.

#### 4.2.4. Actividad de fosfatasa

En la Tabla 17, de la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para actividad de fosfatasa en el suelo, en función de la presencia de leguminosas, se observa que no hubo diferencias significativas entre la actividad enzimática fosfatasa de las zonas de estudio (Chirikyacu y Aucasoma) ni entre las diferentes épocas de evaluación (Tabla 17, Figura 23). En la Tabla 17 para el contenido de Fosfatasa en presencia de factores leguminosas A, B y AB, se evidencian los resultados por cada zona de estudio, Chirikyacu y Aucasoma a los 90, 180 y 270 dds la evaluación, los valores de fosfatasa con ninguno de los factores A, B y AB tienen diferencias estadísticamente significativas, según Duncan nos indica que los factores leguminosas no han influenciado en el contenido de Fosfatasa en las parcelas estudiadas.

**Tabla 17.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para leguminosas, referido a fosfatasa.

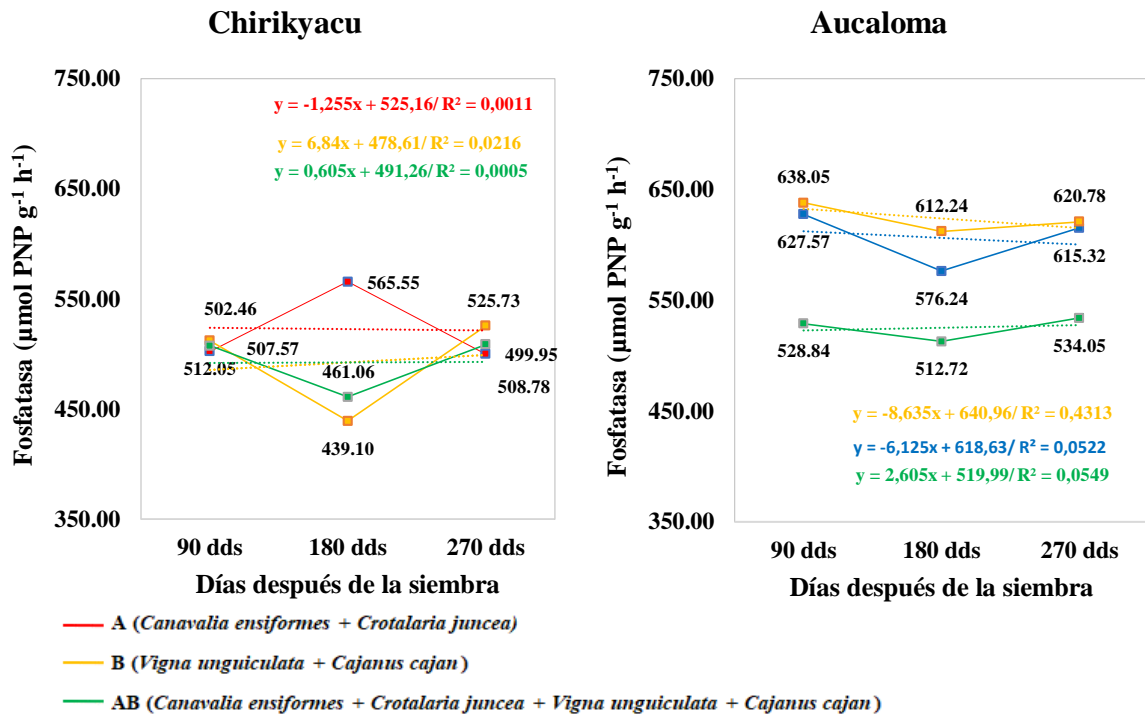
Leguminosas	Fosfatasa ( $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aucasoma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
1 A	502,46 a	565,55 a	499,95 a	627,57 a	576,24 a	615,32 a
2 B	512,05 a	439,10 a	525,73 a	638,05 a	612,24 a	620,78 a
3 AB	507,57 a	461,06 a	508,78 a	528,84 a	512,72 a	534,05 a
R2	0,63	0,76	0,60	0,66	0,67	0,68
C.V. (%)	21,59	34,46	18,70	31,67	30,95	30,99

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

A: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea*

B: *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*

AB: *Canavalia ensiformes* + *Crotalaria juncea* + *Vigna unguiculata* + *Cajanus cajan*



**Figura 23.** Actividad de fosfatasa en función a leguminosas de parcelas instaladas en Chirikyacu y Aucasoma.

A los 90 dds en la zona Chirikyacu los valores más altos de fosfatasa en unidades de  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  lo presenta el factor B y el factor AB con valores de  $512,05 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  y  $507,57 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, siendo el factor A el que obtiene el menor valor con  $502,46 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . A los 180 dds zona Chirikyacu los valores más altos se evidencian en el factor A y el factor AB, con valores de  $565,55 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  y  $461,06 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, respecto al factor B alcanza  $439,10 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , siendo el más bajo reportado en esta evaluación. A los 270 dds en la zona Chirikyacu el valor más alto corresponde al factor B con  $525,73 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , seguido del factor AB con  $508,78 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente siendo el de valor más bajo el factor A con  $499,95 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

A los 90 dds en la zona Aucasoma los valores más altos de fosfatasa en unidades de  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  lo presenta el factor B y el factor A con valores de  $638,05 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  y  $627,57 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, siendo el factor AB el que obtiene el menor valor con  $528,84 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . A los 180 dds en la zona Aucasoma los valores más altos se evidencian en el factor B y el factor A, con valores de  $612,24 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  y  $576,24 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente, respecto al factor AB alcanza  $512,72 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ,

siendo el más bajo reportado en esta evaluación. A los 270 dds en la zona Aocaloma el valor más alto corresponde al factor B con  $620,78 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , seguido del factor A con  $615,32 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente siendo el de valor más bajo el factor AB con  $534,05 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . En relación con las consideraciones presentadas por Taboada, Lavado y Zinck (2006) sobre los niveles de actividad de las fosfatasa, se propone una escala referencial. Según esta escala, valores de fosfatasa inferiores a  $150 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se clasifican como bajos, valores comprendidos entre  $140$  y  $420 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se clasifican como medios, y valores superiores a  $420 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se clasifican como altos. Es imperativo reconocer que la interpretación de los datos de actividad de las fosfatasa depende de las condiciones específicas en las que se evaluaron.

Según la referencia proporcionada, la Tabla 17 muestra valores de actividad fosfatasa que superan el criterio de referencia de  $420 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Esta suposición se hace para todos los tratamientos que incluyen los componentes de leguminosas A, B y AB. Este hallazgo indica que la actividad de la fosfatasa fue afectada consistentemente por las condiciones antes mencionadas y se encuentra en un nivel de alto. La Tabla 17 proporciona un análisis exhaustivo del impacto favorable resultante de la introducción de microorganismos ventajosos, incluyendo bacterias solubilizadoras de fosfato, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), sobre la actividad de la fosfatasa.

Es crucial resaltar que la evaluación inicial de la actividad fosfatasa se realizó antes del inicio del experimento, arrojando una medición precisa de  $401,23 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para la zona de Chirikyacu (Figura 42). Es imperativo reconocer que los resultados de las tres evaluaciones superan el valor de referencia. Este escenario sugiere que la actividad de la fosfatasa está influida por los factores A, B y AB de la leguminosa que se han instalado. La introducción de microorganismos beneficiosos, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), se asocia con un notable impacto positivo en la actividad de la fosfatasa. Además, la integración gradual del material vegetal mediante la poda contribuye a potenciar esta característica particular.

Se comprobó que la zona de Aocaloma presentaba un valor inicial de actividad fosfatasa de  $452,23 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , (Figura 42). Se ha observado que, en cada una de las tres evaluaciones, los valores superan el valor inicial antes del inicio del experimento. La observación anterior implica que los factores leguminosos tuvieron una influencia directa sobre los niveles de actividad fosfatasa en todas las parcelas analizadas en el presente estudio. La clara influencia positiva sobre la actividad fosfatasa se muestra cuando se introducen

microorganismos beneficiosos, incluyendo bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA). El impacto mencionado se intensifica además con la incorporación gradual de materia botánica mediante prácticas de recorte.

El coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,63; 0,76 y 0,60 a lo largo de las evaluaciones a los 90, 180 y 270 dds, respectivamente, realizadas dentro de la zona de investigación de Chirikyacu. En cuanto a la zona de Aocaloma, el coeficiente de determinación  $R^2$  mostró valores de 0,66; 0,67 y 0,68 en las tres evaluaciones pertinentes realizadas. En ambos casos, la inclusión de un valor  $R^2$  dentro de estos rangos designados indica un fuerte ajuste del modelo. Esto implica que el modelo es capaz de dilucidar una parte significativa de la variabilidad observada en los datos. No obstante, se podría sostener que el modelo puede no explicar adecuadamente una proporción menor de la variabilidad. En cuanto al Coeficiente de Variación (CV %), las evaluaciones a los 90, 180 y 270 dds, realizadas en la región de Chirikyacu arrojaron valores de 21,59; 34,46 y 18,70, respectivamente. Del mismo modo, las evaluaciones realizadas en la región de Aocaloma revelan valores respectivos de 31,67; 30,95 y 30,99. Cuando el coeficiente de variación (CV) se sitúa dentro de los márgenes especificados, sugiere una magnitud media, lo que indica un grado medio de precisión y coherencia en la medición. Los datos presentan un mediano grado de dispersión en torno a la media, como indica la variabilidad media observada en los resultados. Por lo tanto, una disminución del coeficiente de variación (CV) se asocia a una reducción de la variabilidad relativa, lo que conduce a una mejora de la precisión de la medición. No obstante, la importancia del (CV) depende de las circunstancias específicas de las condiciones y factores que pueden influir en las evaluaciones.

Contrariamente a todos los análisis realizados, se ha determinado que las leguminosas poseen la capacidad de mejorar la actividad fosfatasa del suelo. Esto puede atribuirse a su extensa área foliar y a su capacidad para mejorar la accesibilidad a los nutrientes, en particular al fósforo (Gómez y Lutz, 2018). Además, un estudio realizado por Almeida et al. (2023) reveló que el cultivo de *Pennisetum glaucum* (comúnmente conocido como pasto sorgo) junto con leguminosas como *C. cajan* y *V. unguiculata* tiene el potencial de mejorar el rendimiento de *Pennisetum glaucum* en zonas semiáridas. Los resultados de este estudio indican que la presencia de leguminosas de cobertura en los suelos puede mejorar potencialmente la actividad de la fosfatasa. Basándose en los hallazgos de Ku et al. (2019), se ha observado que la introducción de hongos micorrícicos arbusculares mejora varios aspectos del desarrollo de la planta, como el aumento de la altura de la planta, la mayor abundancia de brotes y la mejora de la actividad fotosintética. Además, Quintana et al. (2020) realizaron un estudio que reveló que

la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) puede mejorar el establecimiento de *Cenchrus purpureus*, comúnmente conocido como pasto bufel. La investigación mencionada anteriormente indica que la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) tiene el potencial de aumentar la actividad de la fosfatasa dentro de los sistemas de suelo a través de la facilitación de la asimilación de fósforo por las plantas.

En relación a la actividad de fosfatasa y los diferentes tratamientos, para Chirikyacu se determinó mayor actividad de esta enzima a los 90 dds respecto al tratamiento T<sub>3</sub> (IM + Humus) con 593,95  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  siendo significativo con respecto al tratamiento T<sub>5</sub> (SI) que presentó 470,57  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . En Aucasaloma el T<sub>3</sub> también presentó la mayor actividad de ureasa aunque a los 270 dds alcanzó 744,75  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , en relación al tratamiento T<sub>5</sub> que presentó 677,60  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Tabla 18, Figura 24).

En la Tabla 18 se muestra la actividad enzimática fosfatasa de acuerdo a los tratamientos evaluados T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>; se evidencia que para la zona de estudio Chirikyacu a los 180 y 270 dds los tratamientos evaluados no presentan diferencias estadísticas significativas respecto a la fosfatasa en unidades de  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , sugiere este comportamiento de los datos obtenidos que los tratamientos utilizados no han influido sobre la actividad fosfatasa.

**Tabla 18.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) de los niveles de fosfatasa.

Tratamientos	Fosfatasa ( $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )					
	Chirikyacu			Aucasaloma		
	90 dds	180 dds	270 dds	90 dds	180 dds	270 dds
T <sub>1</sub> IM	436,33 b	489,97 a	497,39 a	558,08 ab	536,60 ab	557,39 bc
T <sub>2</sub> IM+P	518,35 ab	417,39 a	467,87 a	504,06 b	445,75 b	459,72 c
T <sub>3</sub> IM+H	593,95 a	544,97 a	542,63 a	685,91 ab	665,70 a	744,75 a
T <sub>4</sub> NPK	517,60 ab	481,10 a	561,68 a	534,22 ab	513,53 ab	510,78 bc
T <sub>5</sub> SI	470,57 b	509,46 a	487,87 a	708,50 a	673,74 a	677,60 ab
R <sup>2</sup>	0,63	0,76	0,60	0,66	0,67	0,68
C.V. (%)	21,59	34,46	18,70	31,67	30,95	30,99

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.

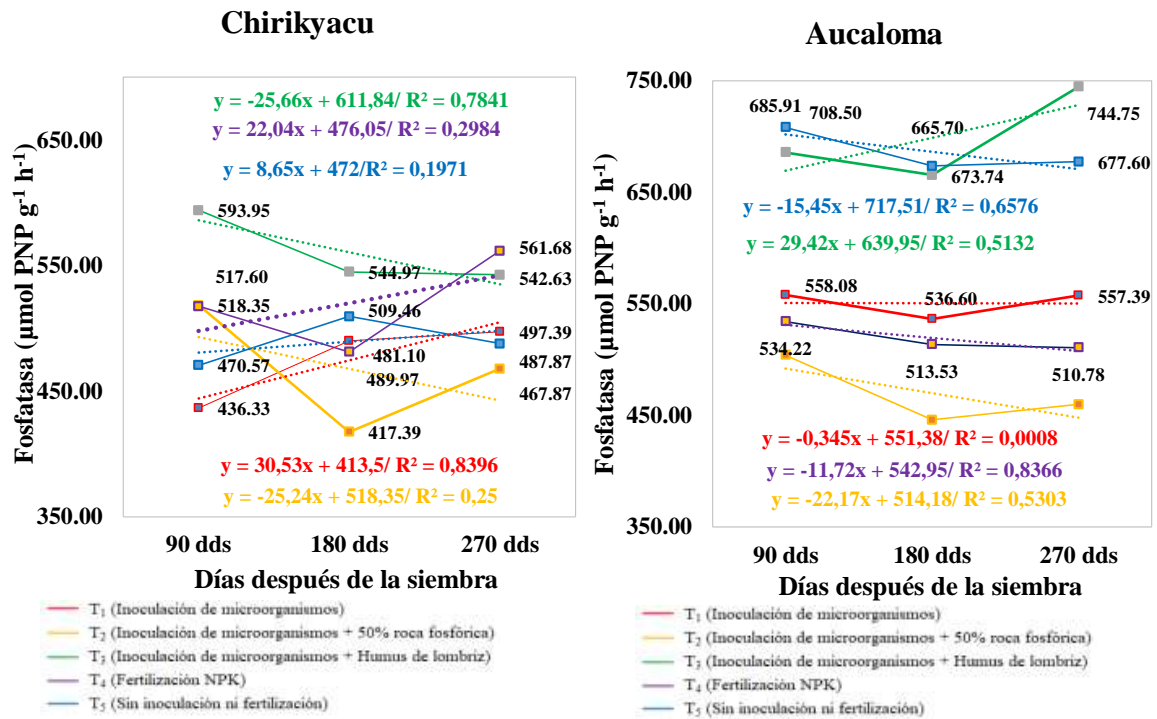
T<sub>1</sub> IM : Inoculación con microorganismos (IM)

T<sub>2</sub> IM + P: Inoculación con microorganismos más fertilización fosfatada (50 % de roca fosfórica) (IM+P)

T<sub>3</sub> IM + H: Inoculación con microorganismos más humus de lombriz (IM+H)

T<sub>4</sub> NPK : Fertilización Inorgánica (NPK)

T<sub>5</sub> SI : Sin Inoculación (SI)



**Figura 24.** Actividad de fosfatasa del suelo en los diferentes tratamientos de Chirikyacu y Aucasoma.

Respecto a los 90 dds de la evaluación de Chirikyacu si se muestra en la Tabla 18, diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se observa que el T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> no muestran diferencias estadísticas significativas con valores de fosfatasa de 436,33 y 470, 57 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, el tratamiento que mejor se comporta respecto al nivel de fosfatasa es el T<sub>3</sub>, con un valor de 593,95 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>4</sub> con valores de 518,35 y 517,60 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no presentan diferencias estadísticas significativas entre ellos pero si presentan diferencias con los demás tratamientos. La segunda zona de estudio Aucasoma en la Tabla 18 muestra las evaluaciones realizadas (90, 180 y 270 dds), se evidencia que a los 90 dds la evaluación los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> no presentan diferencias estadísticas significativas con valores que van de 558,08, 685,91 y 534,22 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, el tratamiento T<sub>2</sub> y T<sub>5</sub> si muestran diferencias estadísticas significativas con valores de 504,06 y 708,50 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Con respecto a los 180 dds en la zona Aucasoma, se evidencia que los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub> no presentan diferencias estadísticas significativas con valores de 536,60 y 513,53 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>5</sub> no difieren estadísticamente hablando y son los que mejores resultados muestran respecto al contenido de actividad fosfatasa con valores de 665,70 y 673,60 µmol PNP g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, el tratamiento T<sub>2</sub> en esta evaluación es el que se comporta con el menor valor de fosfatasa con un valor de

445,75  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . A los 270 dds en Aucaloma los tratamientos  $T_1$  y  $T_4$ , no muestran diferencias estadísticas significativas con valores de 557,39 y 510,78  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , el tratamiento  $T_3$  es el que mejor comportamiento presenta respecto a la actividad fosfatasa con un valor de 744,75  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , el tratamiento que reporta también un buen valor de actividad fosfatasa es el  $T_5$ , con un valor de 667,60  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , el  $T_2$  es el tratamiento que reporta el valor más bajo en lo que respecta a la actividad fosfatasa con un valor de 459,72  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente.

Para los valores que mostraron diferencias estadísticas significativas nos evidencia estadísticamente hablando que los tratamientos aplicados en esa instancia si han influido en el contenido de actividad fosfatasa, respecto a los que no muestran diferencias estadísticas significativas nos sugiere que los tratamientos aplicados no han influido en el contenido de fosfatasa. Taboada, Lavado y Zinck (2006) ofrecen una escala referencial para los niveles de actividad de la fosfatasa, como se menciona en la referencia. Basándose en la escala proporcionada, los valores de fosfatasa inferiores a 150  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se categorizan como bajos, mientras que los valores que oscilan entre 140 y 420  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se definen como medios. Además, los valores superiores a 420  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  se designan como altos. Es crucial reconocer que la interpretación de los datos de la actividad de la fosfatasa depende de las condiciones particulares en las que se evaluaron.

Enfatizando la importancia, cabe mencionar que la evaluación preliminar de la actividad de la fosfatasa se llevó a cabo antes del inicio del experimento, resultando en una determinación de 401,23  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para la zona de Chirikyacu (Figura 42). Es crucial reconocer que los resultados de las tres evaluaciones superan el punto de referencia establecido. Este escenario implica que la actividad de la fosfatasa es afectada por la aplicación de los tratamientos  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$ . Se ha comprobado que la incorporación de microorganismos benéficos, como bacterias que mejoran la solubilidad, bacterias que fijan el nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), tiene un efecto beneficioso significativo sobre la actividad de la fosfatasa. Además, la incorporación incremental de material vegetal mediante la poda sirve para aumentar este atributo específico.

La zona de Aucaloma tenía un valor inicial de actividad fosfatasa de 452,23  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , (Figura 42). Se ha observado que, en las tres evaluaciones, los valores superan el valor inicial previo al inicio del ensayo. La observación anterior sugiere que los tratamientos,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$ , ejercieron un impacto significativo sobre los niveles de actividad fosfatasa en todas las parcelas examinadas en la presente investigación. La introducción de microorganismos benéficos, como bacterias solubilizadoras, bacterias fijadoras

de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares (HMA), tiene claramente un impacto positivo en la actividad de la fosfatasa. Este impacto se ve reforzado por la inclusión progresiva de material botánico mediante el procedimiento de recorte.

El coeficiente de determinación  $R^2$  exhibió valores de 0,63; 0,76 y 0,60 a lo largo de las evaluaciones a los 90, 180 y 270 dds, respectivamente, realizadas dentro de la zona de investigación de Chirikyacu. En cuanto a la zona de Aocaloma, el coeficiente de determinación  $R^2$  exhibió valores de 0,66; 0,67 y 0,68 en las tres respectivas pruebas realizadas. En todos los casos, la presencia de un valor  $R^2$  comprendido dentro de estos límites especificados significa un ajuste sólido del modelo. Esto sugiere que el modelo es capaz de explicar una parte sustancial de la variación observada en los datos. No obstante, se podría argumentar que el modelo puede no explicar suficientemente un porcentaje menor de la variabilidad.

Los valores obtenidos para el Coeficiente de Variación (CV %) en la zona de Chirikyacu para los 90, 180 y 270 dds de las evaluaciones fueron de 21,59; 34,46 y 18,70, respectivamente. Asimismo, las evaluaciones realizadas en la región de Aocaloma arrojaron valores de 31,67; 30,95 y 30,99, respectivamente. Cuando el coeficiente de variación (CV) se sitúa dentro de los márgenes prescritos, indica un nivel sustancial de variabilidad en relación con la media. Esto significa que los puntos de los datos están muy dispersos, lo que indica que variables externas pueden haber influido en la exactitud o la recogida de los datos. No obstante, la importancia del (CV) depende del contexto y las características particulares de la información que se analiza.

El fósforo orgánico puede constituir del 4 al 90 % del fósforo total del suelo (Khan et al. 2009). Dicho fósforo puede ser liberado de compuestos orgánicos en el suelo por enzimas fosfatasa, una de ellas las fosfomonoesterasas, liberadas por microorganismos solubilizadores de fosfato (Nannipieri et al. 2011). Estas enzimas se dividen en fosfomonoesterasas ácidas y alcalinas (Jorquera et al. 2008). Como se ha determinado, los suelos en la subcuenca del Cumbaza presentan pH ácido y por tanto las que mayormente actuaron en el presente trabajo fueron las fosfatasa ácidas.

La fosfatasa es una enzima que juega un papel importante en el ciclo del fósforo, ya que cataliza la hidrólisis de los ésteres de fosfato orgánico en el suelo, liberando fosfato disponible para las plantas. Según (Sellan et al. 2020), la actividad de la fosfatasa alcalina en suelos agrícolas puede verse afectada por factores como la disponibilidad de nitrógeno y el pH del suelo. Estos autores encontraron diferencias significativas en la actividad



de la fosfatasa alcalina en función de los sistemas de uso del suelo, como los sistemas silvopastoriles y agrícolas.

Por ejemplo, Sellan et al. (2020) realizaron un análisis y caracterización de las poblaciones bacterianas solubilizadoras de fósforo en un ensayo de larga duración con diferentes secuencias de cultivo. Encontraron que diferentes sistemas de uso y manejo del suelo afectan la abundancia, actividad y composición de la comunidad microbiana del suelo. Investigación relevante es la realizada por (Lezcano et al, 2020), quienes estudiaron la actividad de la fosfatasa-alcalina y el crecimiento del arroz con la inoculación biológica y la aplicación de micronutrientes. Encontraron que la utilización de micronutrientes a base de cobalto y molibdeno promovió un mayor crecimiento de las raíces. Además, Montaña-Carrasco et al. (2017) evaluaron la producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. Encontraron que la fertilización orgánica mejoró diversos indicadores de fertilidad del suelo, lo cual sugiere que la combinación de fertilización química y orgánica puede tener un impacto positivo en la fertilidad del suelo.

Realizaron un estudio sobre el impacto de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y el pH en la descomposición de la materia orgánica y la actividad de los descomponedores en bosques tropicales de brezo. El estudio encontró que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y el pH influyeron significativamente en la descomposición de la materia orgánica y la actividad de los descomponedores en el bosque. Esta investigación proporciona información valiosa sobre los factores que afectan a la descomposición de la materia orgánica en los brezales tropicales (Sellan et al. 2020).

## V. CONCLUSIONES

1. El factor leguminosa B, aumentó el contenido de materia orgánica en Chirikyacu y Aocaloma a los 270 dds de ambas zonas, con un aumento del 2,54 y 3,26 % respectivamente. Los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> son los mejores para aumentar la cantidad de materia orgánica en Chirikyacu, con un aumento del 2,69 y 2,72 % respectivamente, y en Aocaloma con un aumento del 3,43 y 3,30 % para el tratamiento T<sub>3</sub> a los 180 y 270 dds. Todos los tratamientos tienen valores superiores a los valores iniciales de materia orgánica.
2. El factor leguminosa B aumentó el contenido de nitrógeno en ambas zonas de estudio, con un aumento del 0,127 y 0,163 % para Chirikyacu y Aocaloma respectivamente. Los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> son los mejores para aumentar la cantidad de nitrógeno en Chirikyacu y Aocaloma, mientras que el tratamiento T<sub>1</sub> también es efectivo en Aocaloma a los 180 dds. En general, todos los tratamientos tienen valores superiores a los valores iniciales de nitrógeno. Los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> han influido en el aumento del contenido de nitrógeno en la zona de Chirikyacu, mientras que para la zona de Aocaloma, el tratamiento T<sub>3</sub> y el tratamiento T<sub>1</sub> han influido de igual manera para el aumento del parámetro en mención.
3. El factor leguminosa B, ha influido en el aumento del contenido de fósforo en ambas zonas de estudio. En Chirikyacu, el factor B aumentó el contenido de fósforo en 5,34 ppm a los 270 dds, mientras que en Aocaloma aumentó en 6,71 ppm a los 90 dds. Todos los tratamientos tienen valores superiores a los valores iniciales de fósforo. Los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>2</sub> son los mejores para aumentar la cantidad de fósforo en Chirikyacu, con un aumento del 5,46 y 5,43 ppm respectivamente a los 270 dds, mientras que el tratamiento T<sub>4</sub> es el mejor para Aocaloma con un aumento del 7,31 ppm a los 90 dds. En general, los tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>4</sub> han influido en el aumento del contenido de fósforo en ambas zonas de estudio.
4. El factor leguminosa B, que es una asociación de *C. cajan* y *V. unguiculata*, ha influido en el aumento del contenido de potasio en ambas zonas de estudio. En Chirikyacu, el factor B aumentó el contenido de potasio en 121,15 ppm a los 270 dds, mientras que en Aocaloma aumentó en 130,37 ppm a los 180 dds. Todos los tratamientos tienen valores superiores a los valores iniciales de potasio. Los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> son los mejores para aumentar la cantidad de potasio en Chirikyacu, con un aumento de 130,16 y 113,93 ppm respectivamente a los 270 dds, mientras que el tratamiento T<sub>4</sub> es el mejor para Aocaloma

con un aumento de 150,48 ppm a los 180 dds. En general, los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> han influido en el aumento del contenido de potasio en ambas zonas de estudio.

5. El factor leguminosa AB, que es una asociación de *C. cajan*, *V. unguiculata*, *C. ensiformes* y *C. juncea*, ha influido en el aumento del contenido de biomasa microbiana en ambas zonas de estudio. En Chirikyacu, el factor AB aumentó el contenido de biomasa microbiana en 1 807,50  $\mu\text{g C g}^{-1}$  a los 270 dds, mientras que en Aocaloma aumentó en 1 112,36  $\mu\text{g C g}^{-1}$  a los 180 dds. Todos los tratamientos tienen valores superiores a los valores iniciales de biomasa microbiana. El tratamiento T<sub>1</sub> es el mejor para aumentar la cantidad de biomasa microbiana en ambas zonas de estudio, con un aumento de 1 442,73  $\mu\text{g C g}^{-1}$  en Chirikyacu a los 180 dds y un aumento de 2 186,16  $\mu\text{g C g}^{-1}$  en Aocaloma a los 180 dds. En general, el tratamiento T<sub>1</sub> ha influido en el aumento del contenido de biomasa microbiana en ambas zonas de estudio.
6. Se concluye que los factores leguminosos AB y A, y los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>, han influido en el aumento de la respiración basal en las zonas de Chirikyacu y Aocaloma. Los valores de respiración basal para ambos factores y tratamientos son superiores a los valores iniciales, lo que indica un aumento en la actividad biológica del suelo. En particular, los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> muestran los mejores valores de Respiración basal en ambas zonas de estudio.
7. El factor leguminosa A y el Factor B (*C. ensiformes*, *C. juncea*, *C. cajan* y *V. unguiculata*) aumentaron la actividad fosfatasa en las evaluaciones de Chirikyacu y Aocaloma. Los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>3</sub> mostraron los mejores resultados en la actividad fosfatasa en ambas zonas de estudio. También se encontró que las leguminosas y los tratamientos influyeron en las propiedades químicas del suelo, incluyendo la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Los parámetros de biomasa microbiana del suelo y respiración basal fueron buenos indicadores de calidad del suelo. En resumen, los factores leguminosa A y B y los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>3</sub> influyeron positivamente en el aumento de la actividad fosfatasa en las zonas de Chirikyacu y Aocaloma.
8. El factor leguminosa A aumentó la actividad ureasa en las evaluaciones de Chirikyacu y Aocaloma. Los tratamientos T<sub>5</sub> y T<sub>4</sub> mostraron los mejores resultados en la actividad ureasa en Chirikyacu, mientras que el tratamiento T<sub>2</sub> fue el más efectivo en Aocaloma. En resumen, los factores leguminosa A y los tratamientos T<sub>5</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>2</sub> influyeron positivamente en el aumento de la Actividad ureasa en las respectivas zonas de estudio.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Realizar la identificación molecular de los microorganismos utilizados como inoculantes además de evaluar otras características que promueven el crecimiento de las plantas.
2. Difundir la utilización de leguminosas como abonos verdes y de inoculantes de microorganismos benéficos en las diferentes áreas, especialmente de suelos degradados.
3. Usar microorganismos eficientes (ME) nativos, para recuperar suelos degradados y producir inoculantes para leguminosas de cobertura.

## VII. REFERENCIAS

- Aguilar, D. M. V., Ortega, H. N., Ramírez, A. M., Jiménez, B. V., González, S., Sánchez, G. M., ... y Rangel, J. C. B. (2021). Influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y colonización de hongos micorrízicos arbusculares en banano en dos temporadas del año. *Scientia Fungorum*, 51, e1306. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1306>
- Ahemad, M.; Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University: Science*, 26: 1-20.
- Alam, S.; Khalil, S.; Ayub, N.; Rashid, M. (2002). In vitro solubilization of inorganic phosphate-by-phosphate solubilizing microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. *Int. J. Agric. Biol*, 4: 454-458.
- Alef, K.; Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press.
- Alfonso, E. T., Juárez-López, P., Chávez-García, J. A., Alia-Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Pérez-González, J. O., ... y Rueda-Barrientos, M. C. (2021). Biofertilizantes en el crecimiento de estragón (*artemisia dracunculus* L.) en condiciones de invernadero. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.027>
- Alvaro, C. E. S., Arocena, L., Martinez, M. A., y Nudelman, N. S. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región patagonia norte, argentina. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(2), 247-257. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.06>
- Alves, A., Sene, D. W. d., Paula, G. F. d., y Demétrio, G. B. (2021). Influence of bacillus sp. on soil chemical and microbiological attributes and development of soybean and maize. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 12(3), 383-393. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2609>
- Anderson, J. P. E., y Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3), 215-221.
- Araújo, L. d. S., Cunha, P. R. d., Silveira, P. M. d., Netto, M. C. d. S., y Oliveira, F. L. P. d. (2015). Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. *Revista Ceres*, 62(5), 483-488. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201562050009>

- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., y Modzel, P. (2018). Evaluation of low-cost sensors for ambient pm2.5 monitoring. *Journal of Sensors*, 2018, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2018/5096540>
- Báez A. H.; Hernández M. C. (2016), Estudio del rendimiento de cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en diferentes épocas de siembra en Camajuaní, Cuba
- Baldivia, A. S. and Ibarra, G. R. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles De Población*, 23(93), 207-230. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.027>
- Barbosa, I. G., Santana, R. S., Mauad, M., y Garcia, R. G. (2020). Dry matter production and nitrogen, phosphorus and potassium uptake in *Crotalaria juncea* and *Crotalaria spectabilis*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5061011>
- Barrios López, L. (2017). Selección de morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la sub cuenca del Cumbaza. (Tesis). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Belo, A., Santos, E. A. d., Santos, J. E. P., Ferreira, L. C. d. S., Silva, A. M., Cecon, P. R., ... y Silva, L. O. (2007). Efeito da umidade do solo sobre a capacidade de canavalia *ensiformis* e *stizolobium aterrimum* em remediar solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, 25(2), 239-249. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582007000200002>
- Beltrán-Morales, F.A.; Garcia-Hernandez, J.L.; Ruiz-Espinoza, F.H.; Fenech-Larios, L.; Murillo-Amador, B.; Palacios Espinoza, A.; Troyo-Dieguez, E. (2009). Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage Systems. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10:487-495.
- Binder, U. (1997). Manual de leguminosas en Nicaragua. Tomo I y II (Primera Edición). PASOLAC, E.A.G.E.
- Breland, T. A. (1995). Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in spring wheat: effects on soil structure. *Soil Use and Management*, 11(4), 163-167.
- Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G., y Jenkinson, D. S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(6), 837-842.
- Buscot, F. (2005). What are Soils. In: *Micro-Organisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*, Buscot, F. and A. Varma (Eds.) Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp: 3-18.

- Buzinaro, T.N.; Barbosa, J.C.; Nahas, E. (2009). Soil microbialactivities in orchard citrus as a response to green manure cultivation. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 31: 408-415.
- Canales-Almendares, J. E., Borrego-Escalante, F., Narváez-Ortiz, W. A., González-Morales, S., y Benavides-Mendoza, A. (2021). Impacto de diferentes fertilizantes en la solución del suelo y el crecimiento de tomate. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (26), 105-117. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2941>
- Cano, M. A. (2011). A review of interaction of beneficial microorganisms in plants: Mycorrhizae, *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas* spp. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Casique Huamanguli, R. D. (2018). Solubilización de fosfatos por bacterias aisladas de la rizósfera de leguminosas de cobertura creciendo en suelos degradados de la subcuenca del Cumbaza-San Martín. (Tesis). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Catari Valencia F. J. (2005). Control del Sujo (*Imperata cylindrica*) con Cobertura Vegetal de tres Leguminosas, Método químico y Manual en Terreno no Cultivado en la Provincia Larecaja, La Paz.
- Cavalcante, V. C., Santos, V. R. d., y Neto, A. L. d. S. (2012). Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 16(5), 521-528. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662012000500008>
- Celestina, C., Hunt, J. R., Sale, P., y Franks, A. E. (2019). Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: a critical review. *Soil and Tillage Research*, 186, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.002>
- Chen, Y.P.; Rekha, P.D.; Arun, A.B.; Shen, F.T.; Lai, W.A.; Young, C.C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied soil ecology*, 34: 33-41.
- Cherr, C.M.; Scholberg, J.M.S.; McSorley, R. (2006). Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agron. J.* 98:302-319. doi:10.2134/agronj2005.0035
- Chirinos, I. and Almeida, I. (2020). Biodegradación de aceite refrigerante (éter bifenilo y bifenilo) en un suelo del orden oxisol en el municipio lagunillas del estado zulía, venezuela. *Tayacaja*, 4(2), 71-82. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i2.174>
- Colombo, J. N., Puiatti, M., Santos, R. V., Dias, L. A. d. S., y Silvestre, H. A. (2021). Successive crops of broccoli, green corn and pea after taro (*Colocasia esculenta*)-sunn hemp (*Crotalaria juncea*) consortium. *Acta Agronómica*, 69(4), 331-338. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n4.61794>

- Corona, A. M. C., Castor, J. R., Santiago, A. M., Mar, J. G., Ramirez, A. H., y Reyes, L. H. (2022). Una evaluación de un consorcio bacteriano y un aditivo rico en fosforo en la acumulación de arsénico en planta de maíz (zea mays). *Quimica Hoy*, 11(04), 30-36. <https://doi.org/10.29105/qh11.04-310>
- Cortina, J., Amat, B., Castillo, V., Fuentes, D., Maestre, F. T., Padilla, F. M., ... y Rojo, L. (2011). The restoration of vegetation cover in the semi-arid iberian southeast. *Journal of Arid Environments*, 75(12), 1377-1384. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.08.003>
- Cruz, A. C. d. R., Cruz, T. S. d., Reis, T. C., Stolben, E., y Coccozza, F. D. M. (2021). Avaliação do efeito alelopático de diferentes dosagens de extratos vegetais de crotalaria juncea/ evaluation of the allelopathic effect of different dosages of vegetable extracts from crotalaria juncea. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 40869-40881. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-513>
- Cuellar Guzman, S., Tobar Hercules, L. B., y Zelaya Alvarez, J. W. (1997). Efectividad de Leguminosas (*Stizolobium deeringianum* y *Canavalia ensiformis*) Sembrados a Diferentes Épocas y en Asocio con Maíz (*Zea mays*) para el ontrol de Malezas y eJORAMIENTO para la Fertilidad del suelo [Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/16451/1/13100165.pdf>
- Cunha, E. d. Q., Stone, L. F., Didonet, A. D., Ferreira, E. P. d. B., Moreira, J. C. F., y Leandro, W. M. (2011). Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 15(10), 1021-1029. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662011001000005>
- Dantas, R. d. A., Carmona, R., Carvalho, A. M. d., Rein, T. A., Malaquias, J. V., y Junior, J. d. D. G. d. S. (2015). Produção de matéria seca e controle de plantas daninhas por leguminosas consorciadas com cana-de-açúcar em cultivo orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(8), 681-689. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2015000800006>
- Davidson, E. A., Belk, E., y Boone, R. D. (1992). Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 101-109.
- Dev, P., Khandelwal, S., Yadav, S. C., Arya, V., Mali, H. R., Poonam, N., y Yadav, K. K. (2023). Conservation agriculture for sustainable agriculture. *International Journal of Plant y Amp; Soil Science*, 35(5), 1-11. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i52828>



- Díaz-Franco, A., Alejandro-Allende, F., Cisneros-López, M. E., Espinosa-Ramírez, M., y Ortiz-Cháirez, F. E. (2021). Fertilización biológica, orgánica y mineral reducido en soya (*glycine max* l.). *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.725>
- Díaz-Franco, A., Ortegón-Morales, A., y Garza-Cano, I. (2022). Biofertilización del cártamo (*carthamus tinctorius* l.) en condiciones restringidas de humedad en el suelo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 175. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.2.175>
- Dick, R.P.; Breackwell, D.P.; Turco, R.F. (1996). Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA. p.247-271.
- Douxchamps, S.; Rao, I.M.; Peters, M.; Van-Der-Hoek, R.; Schmidt, A.; Martens, S.; Polania, J.; Mena, M.; Binder, C.R.; Schöll, R.; Quintero, M.; Kreuzer, M.; Frossard, E.; Oberson A. (2014). Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38:25-45.
- DRASAM (2018). <http://www.agrodrasam.gob.pe/>
- Duke, J. A. (1983). *Handbook of Energy Crops*. Handbook of Energy Crops. [https://hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/dukeindex.html](https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html)
- Duval, M. E., Capurro, J. E., Galantini J. A. y Andriani, J. M. (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del suelo* 33(2): 247-261
- FAO. (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen técnico*. Roma, Italia.
- Fernández, P. H., Figueroa, O. L., Orihuela, J. A., Pérez, A. G., Mendoza, A., Fernández, A. H., y Arce, V. V. (2021). Influencia de vermicompost en el rendimiento de vitis vinifera l. cv. malbec en ica, Perú. *Idesia (Arica)*, 39(4), 121-128. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000400121>
- Ferraço, M., Belo, A. F., Madalão, J. C., Pires, F., y Filho, A. G. S. (2019). The residues of canavalia ensiformis and crotalaria juncea after phytoremediation in soil contaminated with sulfentrazone do not result in soil recontamination. *Revista Brasileira De Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 14(2), 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5638>
- Franché, C.; Lindström, K.; Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*. 321: 35-59.

- Fuentealba, M., Bahamóndez, C., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., y Latorre, C. (2021). The 2010–2020 'megadrought' drives reduction in lake surface area in the andes of central chile (32° - 36°s). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100952. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100952>
- Gabriela, D. B., Andrada, H., Valle, E. d., y Weht, C. B. D. (2020). Actividad biológica de suelos cultivados con topinambur inoculados con *azospirillum brasilense* y hongos micorrícicos. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(1), 33-41. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i1.9451>
- Gamiño, M. Á. M., Ceja, E. S. O., y Ramírez, M. E. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765-778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- García Rubido, M., Rivera Espinosa, R., Cruz Hernandez, Y., Acosta Aguiar, Y., y Ramón Cabrera, J. (2017a). Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrízico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 7-12.
- García, J. L.; Murillo, B.; Nieto, A.; Fortis, M.; Márquez, C.; Castellanos, E.; Quiñones, J; Ávila, N. (2010). Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura. *Terra Latinoam.*28(4): 391-399.
- García, M.; Treto, E.; Álvarez, M. (2001). Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Trop.* 22(4):11-16.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mendoza, J. L., y Madejón, E. (2013). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 128, 21-28.
- García-Orenes, F., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Arcenegui, V., y Caravaca, F. (2013). Soil enzymatic activities and tree biomass as indicators of soil quality changes in a degraded soil amended with treated residues. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 521-533.
- Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S., y Chaiyawannakarn, N. (2013). Implications of the biofuels policy mandate in thailand on water: the case of bioethanol. *Bioresource Technology*, 150, 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.052>

- Gomez, J. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 13. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- Gonçalves, J.R.P., J.R.A. Fontes, M.C. Dias, M.M. Rocha y F.R. Freire Filho. 2009. BRS Guariba–Nova Cultivar de Feijão-Caupi para o Estado de Amazonas. Embrapa, Comunicado Técnico 78
- Hedenec, P., Jílková, V., Lin, Q., Cajthaml, T., Filipová, A., Baldrian, P., y Frouz, J. (2019). Microbial communities in local and transplanted soils along a latitudinal gradient. *Catena*, 173, 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.043>
- Hernández, M. H., Lavalle, L. d. S. P., López, H. H. E., Benítez, R., y Aranguren, Y. (2022). Identificación y caracterización de rizobacterias nativas fijadoras de nitrógeno de capsicum sp. de la región caribe colombiana. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 13(2), 81-92. <https://doi.org/10.22490/21456453.4818>
- Hernández-Acosta, E., Trejo, D., Rivera-Fernández, A., y Ferrera-Cerrato, R. (2020). La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(3), 613-628. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.659>
- Hörmann, N. G. and Reuter, K. (2021). Thermodynamic cyclic voltammograms based on ab initio calculations: ag (111) in halide-containing solutions. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 17(3), 1782-1794. <https://doi.org/10.1021/acs.jctc.0c01116> <http://www.scielo.org.ar/pdf/recyt/n26s1/n26s1a02.pdf> [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSM\\_7c612d361ab9daff028df84fe87f5c19](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSM_7c612d361ab9daff028df84fe87f5c19) <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11592/T-935.pdf?sequence=1> <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11999/T-940.pdf> <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2585> <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4522> <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Rodríguez, E. Q., Viciado, D. O., y Calzada, K. P. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre rhizobium leguminosarum y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 20(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num2\\_art:1460](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460)
- Ianovali, D., Adams, C., Filho, A. D. P. C., y Khatounian, C. A. (2018). Produtividade agrícola e mudanças socioculturais: a agricultura quilombola no vale do ribeira-sp brasil. *Desenvolvimento E Meio Ambiente*, 49. <https://doi.org/10.5380/dma.v49i0.54697>

- Illan-Fernandez, E. J. and Romero-Díaz, A. (2022). El sellado antropogénico del suelo. análisis bibliométrico. Cuadernos Geográficos, 61(1), 107-128. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.22293>
- INFOSTAT. (2004). Manual del Usuario. 1 ed. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba-Editorial Brujas. 314 p.
- Islas, A.T.; Guijarro, K.H.; Eyherabide, M.; Rozas, H.S.; Echeverría, H.E.; Covacevich, F. (2016). Can soil properties and agricultural land use affect arbuscular mycorrhizal fungal communities indigenous from the Argentinean Pampas soils? Applied Soil Ecology, 101, 47-56.
- Ji, J., Zhang, C., Sun, Z., Wang, L., Duanmu, D., y Fan, Q. (2019). Genome editing in cowpea *vigna unguiculata* using crispr-cas9. International Journal of Molecular Sciences, 20(10), 2471. <https://doi.org/10.3390/ijms20102471>
- Jorquera, M.A.; Hernandez, M.T.; Rengel, Z.; Marschner, P.; Mora, M.D. (2008). Isolation of culturable phosphor bacteria with both phytate-mineralization and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a volcanic soil. Biol Fertil Soils 44:1025–1034.
- Junco, M. C., Silva, C. d. C. d., Carmo, C. L. D., Kotsubo, R. Y., Novaes, T. G. d., y Molina, R. d. O. (2020). Identification of potential hosts plants of cowpea aphid-borne mosaic virus. Journal of Phytopathology, 169(1), 45-51. <https://doi.org/10.1111/jph.12957>
- Kandeler, E. (2015). Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. p. 53-83. In: Eldor, P. ed. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry Fourth Edition. Academic Press-Elsevier.
- Kandeler, E.; Gerber, H. (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. Biol. Fertil. Soils 6, 68–72. doi: 10. 1007/BF00257924.
- Khan, M.S.; Zaidi, A, Wani, P.A. (2009). Role of phosphate solubilising microorganisms in sustainable agriculture. In: Lictfouse E et al (eds) Sustainable Agriculture. Springer, p 552, DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8\_34.
- Kundu, R., Dasgupta, S., Biswas, A., Bhattacharya, A., Pal, B. C., Bandyopadhyay, D., y Bhattacharya, S. (2008). *Cajanus cajan* linn. (leguminosae) prevents alcohol-induced rat liver damage and augments cytoprotective function. Journal of Ethnopharmacology, 118(3), 440-447. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.05.010>
- Lalitha, M.; Dhakshinamoorthy, M. (2014). Forms of soil potassium-a review. Agricultural Reviews, 35 (1): 64-68.

- Lei, B., Wang, J., y Yao, H. (2022). Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*, 12(2), 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223>
- Lerma, T. A., s.a.s, M., Combatt, C. E., y Palencia, M. (2018). Soil-mimicking hybrid composites based on clay, polymers and nitrogen-fixing bacteria for the development of remediation systems of degraded soil. *Journal of Science with Technological Applications*, 4, 17-27. <https://doi.org/10.34294/j.jsta.18.4.27>
- Lezcano, M. I. D., Fernández, C., Aguilera, L. A., Yubero, F., Martínez, R., y López, M. F. J. (2020). Actividad de fosfatasa-alcalina y crecimiento del arroz con inoculación biológica y micronutrientes. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11(3), 481-492. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1873>
- López, D., Gómez-Vargas, R. M., Rubiano, M. E. M., y Buitrago, R. R. B. (2018). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401-1415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1346>
- Maco, J. (2003). Zonificación ecológica económica de la región san Martín (grupo técnico de ZEE – San Martín). Gobierno Regional de San Martín – Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Macowski, D. H., Bonfim-Rocha, L., Orgeda, R., Camilo, R., y Ravagnani, M. A. (2020). Multi-objective optimization of the brazilian industrial sugarcane scenario: a profitable and ecological approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(3), 591-611. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01802-0>
- Madalão, J. C., Pires, F. R., Filho, A. C., Chagas, K., Nascimento, A. F., y Garcia, G. d. O. (2012). Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. *Revista De Ciências Agrarias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 55(4), 288-296. <https://doi.org/10.4322/rca.2012.068>
- Madrid, D. E. M. and Marrugo-Negrete, J. (2021). Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de bolívar, colombia. *Ciencia y Amp; Tecnología Agropecuaria*, 22(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num2\\_art:2272](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:2272)
- Mancero, M. Y. B., Beltran, L., y Quiroga, L. (2019). Influencia de la fertilización en la calidad del suelo de cultivo de maiz - caso loreto. *European Scientific Journal ESJ*, 15(9). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p51>

- Mancilla, A. G., Suarez, J. C., Cerrato, R. F., Guzmán, M. d. P. R., Gaytán, O. R. T., y Santos, A. C. d. (2018). Rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares asociados con chile poblano en la sierra nevada de puebla, méxico. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (20). <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1004>
- Mar Cayetano, K. C. (2022). Determinación del efecto de actividades agrícolas sobre la calidad del suelo utilizando fosfatasa ácida y ureasa como indicadores.
- Martínez, Z. Y. and González, M. J. G. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera el alacrán, colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 21-31. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.941>
- Mego, K.C.; Melgar, C.E.; Díaz, M.H.; Montejo, D.A.; Cubillas, P.R.; Sieverding, E. (2014). hongos de micorriza arbuscular en tres agroecosistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 23(2), 149-156.
- Meza, A.; Sabogal, C.; De Jong, W. (2006). *Rehabilitación de áreas degradadas en la Amazonia peruana: revision de experiencias y lecciones aprendidas* (No. Review of Forest Rehabilitation: Lessons from the Past, p. 90p). Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia.
- Ministerio de agricultura - MINAGRI (2013). Programa presupuestas multisectorial 2013 – Reducción de la degradación de los suelos agrarios.
- Montaño-Carrasco, M., Rodríguez, O. A. H., Martínez-Rosales, A., Ojeda-Barrios, D. L., Núñez-Barrios, A., y Guerrero-Prieto, V. M. (2017). Producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 317-324. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.317-324>
- Moreno-Conn, L. M., López-Casallas, M., y Barrera, M. C. (2021). Solubilización de fosfatos por bacterias del género burkholderia aisladas de oxisoles de la altillanura colombiana. *Ciencia y Amp; Tecnología Agropecuaria*, 22(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num2\\_art:1897](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1897)
- Moscoso-Vásquez, M. D., Maxi-Maxi, E. A., Martínez-Suárez, P. C., y Reivan-Ortiz, G. G. (2022). Diferencias en el comportamiento alimentario de cavia porcellus determinadas por su sexo. *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias*, XXXII (single), 1-7. <https://doi.org/10.52973/rfcfv-e32110>
- Mosquera, H. Q., Urrutia, Y. R., y Moreno, F. (2017). Efectos de la fertilización del suelo sobre el crecimiento arbóreo en bosques pluviales tropicales del chocó, colombia. *Revista De Biología Tropical*, 65(3), 1161. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29442>

- Muñoz-Gómez, F.A.; Galicia-Sarmiento, L. Humberto-Pérez. E. (2018). Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas altoandinos de Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16, 15-25. doi: <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.630>.
- Muoni, T., Koomson, E., Öborn, I., Marohn, C., Watson, C. A., Bergkvist, G., y Duncan, A. (2019). Reducing soil erosion in smallholder farming systems in east africa through the introduction of different crop types. *Experimental Agriculture*, 56(2), 183-195. <https://doi.org/10.1017/s0014479719000280>
- Nannipieri, P.; Giagnoni, L.; Landi, L.; Renella, G. (2011). Role of phosphatase enzymes in soil. In: Bunemann E, Oberson A, Frossard E (eds) *Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling*. *Soil biology*, 26. Springer, Heidelberg, p 251–244.
- Naranjo-Moran, J. A., Mora-González, A. F., Moina-Quimí, E., Ruíz-Barzola, O., Alvarado-Cadena, O., Calle-Delgado, P., y Barcos-Arias, M. S. (2022). Comportamiento en la absorción de na y pb en plantas de cucurbitáceas e inoculación de micorrizas arbusculares nativas en especie tolerante y susceptible. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 38, 407-421. <https://doi.org/10.20937/rica.54023>
- Nyamadzawo, G., Nyamugafata, P., Wuta, M., Nyamangara, J., y Chikowo, R. (2012). Infiltration and runoff losses under fallowing and conservation agriculture practices on contrasting soils, zimbabwe. *Water SA*, 38(2). <https://doi.org/10.4314/wsa.v38i2.8>
- Oporta Pichardo, E. del S., y Rivas Cáseres, A. M. (2006). Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupi rojo [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en la finca el plantel [Trabajo de diploma, Universidad Nacional Agraria]. <https://core.ac.uk/download/pdf/35165803.pdf>
- Ordoñez-Flores, J.H.; Huamán-Adriano, V. M.; Rojas-Egoavil, J.D. (2019). Establecimiento de una asociación de gramíneas y leguminosas forrajeras, sembradas con densidades dGe arveja (*Pisum sativum* L.) cv "Remate" en el Valle del Mantaro, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 383-391.
- Padrón-Rodríguez, L., Arias-Mota, R. M., Medel-Ortíz, R., y Cruz-Elizondo, Y. D. I. (2020). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y una cepa fosfato solubilizadora en *canavalia ensiformis* (fabaceae). *Botanical Sciences*, 98(2), 278-287. <https://doi.org/10.17129/botsci.2476>
- Panditharathne, D. L. D., Abeysingha, N. S., Nirmanee, K., y Mallawatantri, A. P. (2019). Application of revised universal soil loss equation (rusle) model to assess soil erosion

- in “kalu ganga” river basin in sri lanka. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2019/4037379>
- Pardo, R. M. P., Benítez-Ríos, Y. J., y Valdés-Vargas, E. D. (2022). Ensilados de *megathyrus maximus*: efecto del horario de corte y de la inoculación microbiana. *Revista MVZ Córdoba*, 27(3), e2654. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2654>
- Pardo-Plaza, Y. J., Paolini Gómez, J. E., y Cantero-Guevara, M. E. (2018). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 17-28. doi: 10.15517/am. v29i1.30530
- Pardo-Plaza, Y.J.; Paolini-Gómez, J.E.; Cantero-Guevara, M.E. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Rev. U.D.C.A Act. y Div. Cient.* 22(1): e1144.
- Patiño-Moscoso, M. A., Vásquez, M. B., y Yzquierdo, G. A. R. (2022). Identificación de microorganismos asociados al suelo, sustrato y agua de un sistema productivo de *ylt;em ygt;cannabis sativa* *ylt;em ygt;* l. *Temas Agrarios*, 27(1), 272-286. <https://doi.org/10.21897/rta.v27i1.3111>
- Pedroza-Parga, E. H., Pedroza-Sandoval, A., Velásquez-Valle, M. A., Cohen, I. S., Trejo-Calzada, R., y Samaniego-Gaxiola, J. A. (2022). Efecto de la cobertura del suelo sobre el crecimiento y productividad del zacate buffel (*cenchrus ciliaris* l.) en suelos degradados de zonas áridas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 13(4), 866-878. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5963>
- Peña, M. A. and Peña, M. A. (2021). Assessment of the megasequía in the province of cachapoal, chile, using modis products. *Revista Geográfica De Chile Terra Australis*, 57(1). <https://doi.org/10.23854/07199562.2021571.lobos44>
- Peña, M. A. and Velásquez, F. (2022). Recent changes in the landscape structure of batuco wetland, central chile. *Revista Geográfica De Chile Terra Australis*, 58(1). <https://doi.org/10.23854/07199562.2022581.pena137>
- Peng, S.; Guo, T. y Liu, G. (2013). The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 411-417.
- Pereira, L. d. A., Dias, J. C., y Bittencourt, H. v. H. (2022). Morfogênese e rendimento forrageiro da aveia branca (avena sativa) sob fontes e níveis de fósforo. *Research, Society and Development*, 11(10), e457111032929. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32929>



- Pinzón-Espitia, O. L. and Rodríguez, J. (2022). Manejo seguro de la nutrición enteral domiciliaria. *Ciencia E Innovación en Salud*. <https://doi.org/10.17081/innosa.145>
- Prager, M.; Sanclemente, E.; Sánchez de Prager, M; gallego, J.; Ángel, D. (2012). Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Rev. Agroecología*. Murcia, España. 7:53-62.
- Prayitno, R. S., Wahyono, F., y Pangestu, E. (2018). Pengaruh suplementasi sumber protein hijauan leguminosa terhadap produksi amonia dan protein total ruminal secara in vitro. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 20(2), 116. <https://doi.org/10.25077/jpi.20.2.116-123.2018>
- Qingren, W., Li, Y., Klassen, W., y Hanlon, E. A. (2019). Crotalaria informacion básica. SUNN HEMP—A PROMISING COVER CROP IN FLORIDA. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/TR003>
- Queiroz, L. R., Galvão, J. C. C., Cruz, J. C., Oliveira, M. F. d., y Tardin, F. D. (2010). Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. *Planta Daninha*, 28(2), 263-270. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582010000200005>
- Raich, J. W., y Schlesinger, W. H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 44(2), 81-99.
- Rajtor, M.; Piotrowska-Seget, Z. (2016). Prospects for arbuscular mycorrhizal fungi (HMA) to assist in phytoremediation of soil hydrocarbon contaminants. *Chemosphere*, 162, 105-116.
- Riveline, J., Wojtusciszyn, A., Guerci, B., Alves, C., Kao, K., Xu, Y., ... y Dunn, T. W. (2022). Real world hypoglycaemia related to glucose variability and flash glucose scan frequency assessed from global freestyle libre data. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 24(11), 2102-2107. <https://doi.org/10.1111/dom.14795>
- Rodriguez Urrutia, E. A. (2000). Abonos Verdes y Cultivos de Cobertura. Sub componente de Conservación de Suelos y Agroforestería. (Primera Edición). MAG, CARE In.
- Rodríguez, B. C., Zuazo, V. H. D., Soriano, M., García-Tejero, I. F., Ruiz, B. G., y Tavira, S. C. (2022). Conservation agriculture as a sustainable system for soil health: a review. *Soil Systems*, 6(4), 87. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6040087>
- Rosa, D. M., Nóbrega, L. H. P., Mauli, M. M., Lima, G. P. d., y Pacheco, F. P. (2017). Humic substances in soil cultivated with cover crops rotated with maize and soybean. *Revista Ciência Agronômica*, 48(2). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170026>

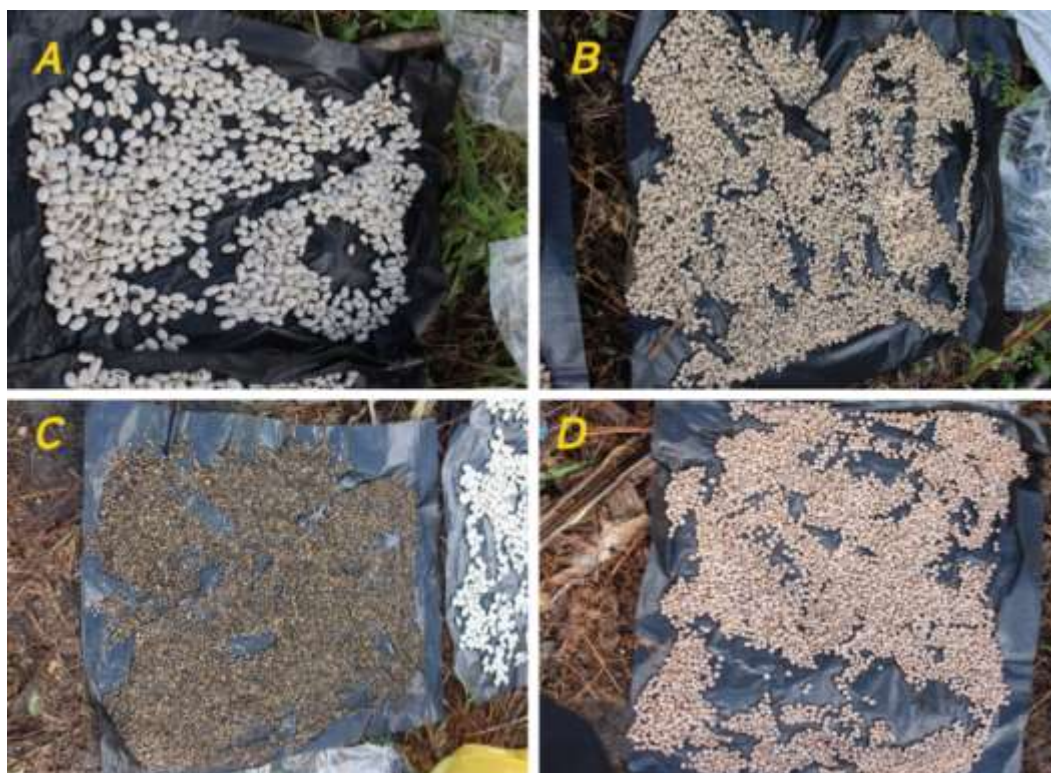
- Ruiz-Alderete, D.; Colque-Arispe, K.; Sol-Sánchez, A. (2019). Carbono de biomasa microbiana influenciada por los residuos de cinco especies de abonos verdes sobre un suelo bajo uso pecuario. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 5(10),1267-1274. DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i10.8967>.
- Sáenz-Ceja, J. E., Reyes, J. T. S., Muñoz-Flores, H. J., Rueda-Sánchez, A., Castillo-Reyes, F., y Castillo-Quiroz, D. (2022). Áreas potenciales para establecer sistemas silvopastoriles con pinus lawsonii y dos forrajes en michoacán, México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 9(3). <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3282>
- Sánchez, J. E. G., Gullón, M. I. G., Álvarez, G. H., Ruiz, J. P., Capuano, A., y Arroyo, M. d. M. D. (2020). Estudio de los efectos de diferentes opciones de fertilización y rotaciones sobre el cultivo de camelina en una región semiárida de España. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/rica.53520>
- Santana G. M.; Ascencio J. (2011), Capacidad de Crecimiento de *Crotalaria juncea* en Condiciones de Deficiencia de Fósforo. <http://ve.scielo.org/pdf/at/v61n3-4/art05.pdf>
- Sarmiento, L., Viteri, D. M., Linares-Ramírez, A. M., y González, K. (2022). Evaluación agronómica de 15 genotipos de gandul [*cajanus cajan* (L.) millsp.] en isabela y lajas, Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 105(2), 179-202. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v105i2.20079>
- Sellan, G., Thompson, J., Majalap, N., y Brearley, F. Q. (2020). Impact of soil nitrogen availability and pH on tropical heath forest organic matter decomposition and decomposer activity. *Pedobiologia*, 80, 150645. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150645>
- Senamhi, Datos Meteorológicos a Nivel Nacional, (2023)
- Setegn, S. G., Srinivasan, R., Dargahi, B., y Melesse, A. M. (2009). Spatial delineation of soil erosion vulnerability in the lake tana basin, Ethiopia. *Hydrological Processes*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/hyp.7476>
- Sethi, S.K., Sahu, J.K., y Adhikary, S.P., Microbial biofertilizers and their pilot-scale production. *Microbial Biotechnology: Progress and Trends*, 297 (2014).
- Sierra, A. R., Loaiza, D. P. B., y Peñuela, G. A. (2021). Eficiencia de un reactor sbr para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual de una industria de teñido de flores. *Revista ION*, 34(1). <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021005>
- Sousa, L. D. C. d., Medeiros, J. C., Lacerda, J. J. d. J., Rosa, J. D., Boechat, C. L., Sousa, M. d. F. V. d. Q., ... y Mafra, Á. L. (2019). Dry mass accumulation, nutrients and

- decomposition of cover plants. *Journal of Agricultural Science*, 11(5), 152. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p152>
- Stevenson, F. J. (2005). *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley and Sons, New York.
- Streese, L., Habisch, H., Deiseroth, A., Carrard, J., Infanger, D., Schmidt-Trucksäss, A., ... y Hanssen, H. (2022). Lipoprotein subclasses independently contribute to subclinical variance of microvascular and macrovascular health. *Molecules*, 27(15), 4760. <https://doi.org/10.3390/molecules27154760>
- Subler, S. y Edwards, C. (2004). Efectos del vermicompost sobre las propiedades del suelo y el crecimiento de los cultivos. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*, 68(2), 444-451.
- Tabatabai, M. A., y Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1(4), 301-307
- Tabatabai, M.A. (1982). "Soil enzymes", in *Methods of Soil Analysis*, eds R. H. Miller and D.R. Keeney (Madison, WI: American Society of Agronomy), 903–947.
- Tahiri, M., Tabyaoui, H., Tahiri, A., Hadi, H. E., Hammichi, F. E., y Achab, M. (2016). Modelling soil erosion and sedimentation in the oued haricha sub-basin (tahaddart watershed, western rif, morocco): risk assessment. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 04(01), 107-119. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.41013>
- Tamayo-Ramirez, J. F., Rojas, L. M. C., y Trujillo, A. I. U. (2022). Efecto de la concentración del potasio (k+) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de theobroma cacao l. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 121(Especial 2), 094. <https://doi.org/10.24215/16699513e094>
- Teodoro, R. B., Oliveira, F. L. d., Silva, D. M. N. d., Fávero, C., y Quaresma, M. A. L. (2011). Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do jequitinhonha. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 35(2), 635-640. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000200032>
- Ticona Mamani A. (2005). Efecto de Abono Verde en las Propiedades Fisco – Químicas del Suelo en el Canton Izozog – Santa Cruz.
- Toledo-Souza, E. D. d., Silveira, P. M. d., Junior, M. L., y Café-Filho, A. C. (2008). Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(8), 971-978. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2008000800004>

- Topçu, G. D. and Özkan, Ş. G. (2019). An alternative crop for mediterranean climatic conditions: *crotalaria juncea* L. (sunn hemp). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım Ve Doğa Dergisi*, 22(2), 339-345. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.485713>
- Torres, I. F., Bastida, F., Hernández, T., y García, C. (2015). Efectos de residuos de poda frescos y estabilizados sobre la biomasa, estructura y actividad de la comunidad microbiana del suelo en un clima semiárido. *Ecología Aplicada del Suelo*, 89, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.12.009>
- Trejo, D., Hernández-Acosta, E., Baeza-Guzmán, Y., Pérez-Toledo, G., Morgado-Viveros, E., y Banuelos, J. (2021). Efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares introducidos y nativos en seis leguminosas coberteras. *Scientia Fungorum*, 51, e1320. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1320>
- Trevisan, M. F., Silva, L. F. S. d., Fontanetti, A., Gallo, A. d. S., y Guimarães, N. d. F. (2021). Temperatura e umidade do solo no consórcio de milho com *crotalaria spectabilis* e *cajanus cajan* em sistema orgânico. *Research, Society and Development*, 10(14), e539101422443. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22443>
- Valdez-Nuñez, R.A.; Rojas-García, J.C.; Ríos-Ruiz, W.F. (2019). Microbiological indicators of tropical soils quality in ecosystems of the north-east area of Peru. *Scientia Agropecuaria* 10(2): 217 – 227.
- Valdiviezo Saavedra, L. E. (2021). Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín. (Tesis). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Valencia Frangi, J. S., Saldaña, J., Cronkleton, P., y Larson, A. (2019). Comunidad Nativa Chirikyacu: Estudio Titulación de Comunidades Nativas – Avances y Desafíos
- Vargas, L. A., Passos, A. M. A. d., y Karam, D. (2018). Allelopathic potential of cover crops in control of shrubby false buttonweed (*spermacoce verticillata*). *Planta Daninha*, 36(0). <https://doi.org/10.1590/s0100-83582018360100052>
- Velázquez, S.; Cabello, M. (2011). Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from El Palmar National Park soils. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 230-235.
- Vera, J. L., Canaza-Cayo, A. W., Barriga, P. A. B., Terroba, N., y Supo-Halanoca, F. (2022). Fertilización fosforada en el ciclo de vida, producción de forraje y semilla de trébol carretilla (*medicago hispida gaertn*) en camacani puno. *Agro Sur*, 50(2), 25-32. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2022.v50n2-03>

- Villa, P. M., Martins, S. V., Neto, S. N. d. O., Rodrigues, A. C., Hernández, E. R., y Kim, D. (2020). Policy forum: shifting cultivation and agroforestry in the amazon: premises for redd+. *Forest Policy and Economics*, 118, 102217. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102217>
- Villa, P. M., Martins, S. V., Neto, S. N. d. O., Rodrigues, A. C., Martorano, L. G., Monsanto, L. D., ... y Cancio, N. M. (2018). Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern amazon. *Forest Ecology and Management*, 430, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.014>
- Weichen, X., Wu, H., Yiyi, X., Xie, Z., Wu, S., Yao, Y., y Yang, Y. (2020). Network pharmacology-based research of active components of albiziae flos and mechanisms of its antidepressant effect. *Current Medical Science*, 40(1), 123-129. <https://doi.org/10.1007/s11596-020-2155-7>
- Zamora-Morales, B. P., Mendoza-Cariño, M., Sangerman-Jarquín, D. M., Bravo, A. N., y Quevedo-Nolasco, A. (2019). La investigación científica en México: secuestro de carbono orgánico en suelos agrícolas y de agostadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(1), 155-164. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1733>
- Zeberio, J. M. and Pérez, C. A. (2021). Rehabilitación ecológica en el noreste patagónico: supervivencia y reclutamiento de especies nativas en suelos con diferentes texturas. *Ecología Austral*, 31(3), 491-504. <https://doi.org/10.25260/ea.21.31.3.0.1511>
- Zhang, Y., Li, H., Wu, J., Zhang, Z., y Li, Y. (2017). Soil phosphatase activity and its relationship with soil nutrients in different land use types in a hilly area of the Loess Plateau, China. *Catena*, 150, 163-169.
- Zimmer, A., Rodríguez, M. K. B., Oropeza, C. J. A., León, J. P. C., y Bullard, J. R. (2018). Implementación de dos sistemas de biorremediación como estrategia para la prevención y mitigación de los efectos del drenaje ácido de roca en la cordillera blanca, Perú. *Revista De Glaciares Y Ecosistemas De Montaña*, (4). <https://doi.org/10.36580/rgem.i4.57-76>

## **ANEXOS**



**Figura 25.** Semillas instaladas: A: *Canavalia ensiformes*; B: *Vigna unguiculata* C: *Crotalaria juncea* D: *Cajanus cajan*



**Figura 26.** A: Hongos micorrízicos arbusculares; B: Semillas; C: Incorporación de HMA; D: Siembra de leguminosa



**Figura 27.** Incorporación de A: *Vigna unguiculata*; B: *Canavalia ensiformes*; C: *Cajanus cajan*; D: *Crotalaria juncea*



**Figura 28.** Imágenes de visita del Dr. Humaní verificación de ejecución del proyecto.





**Figura 29.** Imágenes de visita del Dr. Huamaní verificación de ejecución del proyecto.



**Figura 30.** Determinación de respiración basal A, B y C: Titulación; D: Captura de CO<sub>2</sub>



**Figura 31.** Determinación de biomasa microbiana A: Frascos para secado e incubado C: Estufa de secado B y D: Titulación



**Figura 32.** Determinación de ureasa A: Tubos con sedimento B y C: Centrifugación D: Lectura espectrofotómetro



**Figura 33.** Determinación de fosfatasa A: Tubos con sedimento B y C: Centrifugación D: Lectura espectrofotómetro.



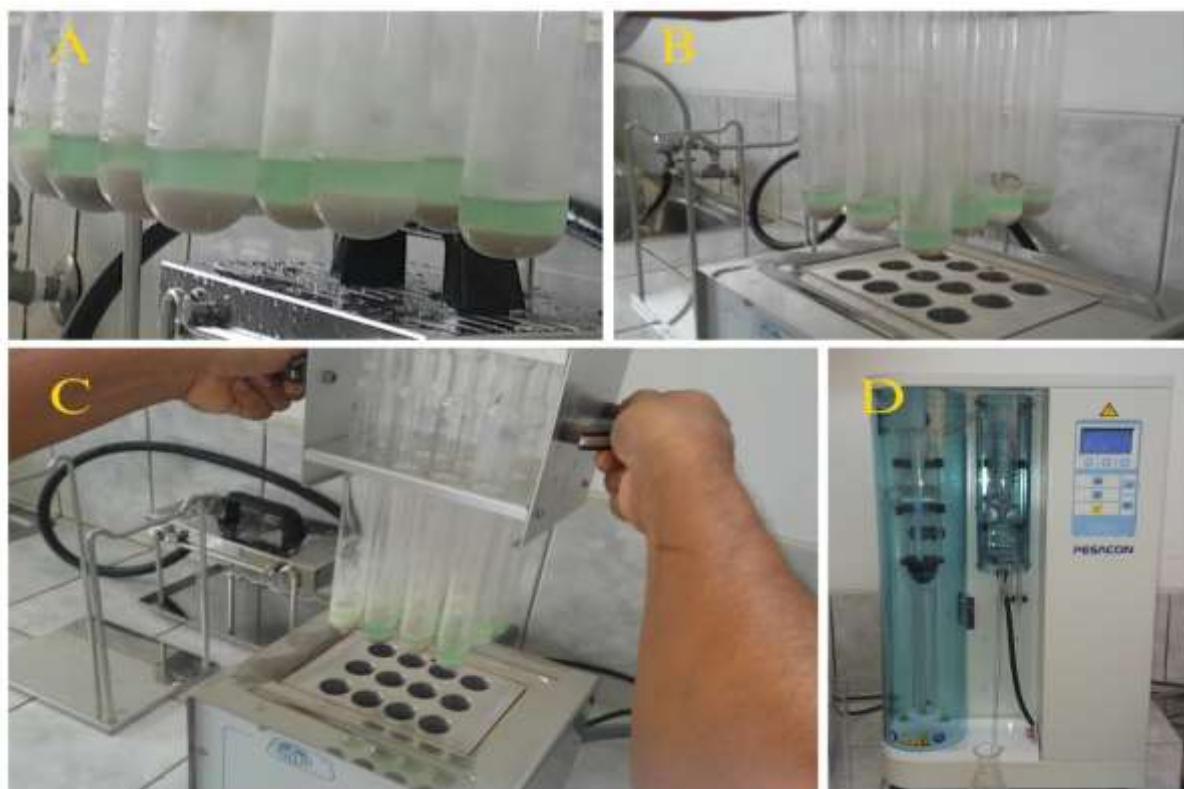
**Figura 34.** Muestras de suelos A: Muestras para determinaciones Microbiológicas; B: Muestras para análisis de suelos fisicoquímicos.



**Figura 35.** A: Determinación de pH y conductividad eléctrica; B y D: Digestores de muestras.



**Figura 36.** A: Espectrofotómetro Uv visible para fósforo: B: Determinación de textura C: Espectrofotómetro de absorción atómica determinación de (K, Ca, Mg y Na); D: Agitador por inducción de muestras.



**Figura 37.** A, B y C: Término de digestión ácida en digestor Microkjendhal; D: Destilador de nitrógeno



**Figura 38.** B: Espectrofotómetro de absorción atómica para determinación de metales (K, Ca, Mg y Na); A: Software del equipo de absorción atómica



**Figura 39.** A: Determinación de textura por Bouyoucos; B y C: Agitadores por inducción magnética.

**Tabla 19.** Análisis físicoquímico de suelos de Aucasoma, 1ra Evaluación.

Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C.E. $\mu\text{S/cm}$	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	4,94	94,90	2,79	0,13	5,69	105,36	59,60	22,40	18,00	F Arcillo Arenoso
1	1	2	5,36	70,30	3,01	0,15	6,86	117,25	61,60	20,40	18,00	F Arcillo Arenoso
1	1	3	5,12	99,20	2,86	0,14	6,56	128,65	53,50	17,50	29,00	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,28	88,20	2,78	0,13	7,86	126,36	55,50	19,00	25,50	F Arenoso
1	1	5	5,00	54,50	2,45	0,12	5,12	100,32	56,00	18,00	26,00	F Arenoso
1	2	1	5,12	74,00	3,25	0,16	6,23	122,25	60,00	29,00	11,00	F Arcillo Arenoso
1	2	2	5,25	113,80	3,12	0,15	7,35	127,25	67,60	12,40	20,00	F Arenoso
1	2	3	5,18	88,80	3,26	0,16	7,12	133,96	55,00	18,00	27,00	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,16	77,60	2,96	0,14	7,96	143,25	54,50	18,00	27,50	F Arenoso
1	2	5	5,13	53,30	3,02	0,15	5,36	98,56	53,50	27,00	19,50	F Arcillo Arenoso
1	3	1	5,16	96,70	3,12	0,15	5,89	132,25	59,60	22,40	18,00	F Arcillo Arenoso
1	3	2	5,41	68,50	3,12	0,15	7,46	132,56	60,50	19,00	20,50	F Arenoso
1	3	3	5,26	198,32	2,89	0,14	7,13	121,65	53,60	26,40	20,00	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,26	138,90	3,16	0,15	7,56	153,25	52,50	21,00	26,50	F Arcillo Arenoso
1	3	5	4,89	66,30	2,63	0,13	4,96	112,5	60,50	19,00	20,50	F Arenoso
2	1	1	5,02	71,60	2,96	0,14	6,12	137,56	49,60	22,40	28,00	F Arcillo Arenoso
2	1	2	5,23	91,30	2,96	0,14	7,46	120,25	59,50	18,50	22,00	F Arenoso
2	1	3	5,01	89,50	3,14	0,15	7,25	131,79	60,50	19,00	20,50	F Arenoso
2	1	4	5,36	102,36	2,96	0,14	6,96	158,56	53,50	22,00	24,50	F Arcillo Arenoso
2	1	5	4,86	67,10	2,89	0,14	5,12	112,36	59,60	16,40	24,00	F Arenoso
2	2	1	5,18	83,60	3,65	0,18	6,89	125,25	52,50	23,00	24,50	F Arenoso
2	2	2	5,16	97,80	3,12	0,15	7,01	130,39	57,50	16,40	26,10	F Arenoso
2	2	3	5,23	71,56	3,33	0,16	6,89	133,76	59,50	18,50	22,00	F Arenoso
2	2	4	5,26	134,70	3,35	0,16	6,98	146,25	54,50	23,00	22,50	F Arcillo Arenoso
2	2	5	5,23	91,10	3,05	0,15	5,36	102,56	69,60	16,40	14,00	F Arenoso
2	3	1	5,21	79,36	3,25	0,16	7,12	135,39	53,50	18,00	28,50	F Arenoso
2	3	2	5,36	80,40	2,96	0,14	7,59	132,36	62,60	14,40	23,00	F Arenoso
2	3	3	5,36	96,70	3,63	0,18	6,58	140,76	59,60	24,40	16,00	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,45	96,36	2,96	0,14	7,12	156,39	65,60	13,40	21,00	F Arenoso
2	3	5	4,97	80,40	2,78	0,13	6,12	96,56	53,50	18,00	28,50	F Arenoso
3	1	1	5,12	96,30	3,12	0,15	6,89	137,36	59,60	24,40	16,00	F Arcillo Arenoso
3	1	2	5,19	97,50	3,02	0,15	7,19	139,36	48,50	22,50	29,00	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,16	87,50	3,23	0,16	6,45	99,63	52,50	24,50	23,00	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,41	89,30	3,03	0,15	7,15	158,36	55,00	23,00	22,00	F Arcillo Arenoso
3	1	5	4,96	73,56	2,45	0,12	6,53	99,56	53,60	26,40	20,00	F Arcillo Arenoso
3	2	1	5,03	102,60	3,35	0,16	5,98	144,36	59,60	16,40	24,00	F Arenoso
3	2	2	5,32	83,60	3,14	0,15	6,68	101,76	51,50	23,00	25,50	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,16	143,10	3,35	0,16	6,89	102,36	51,60	26,40	22,00	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,26	86,60	3,45	0,17	7,36	165,36	54,00	21,00	25,00	F Arcillo Arenoso
3	2	5	5,19	70,90	3,14	0,15	6,58	114,2	53,50	27,00	19,50	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,09	71,40	3,54	0,17	6,02	100,36	60,50	19,00	20,50	F Arenoso
3	3	2	5,24	104,23	3,14	0,15	7,12	118,65	52,50	21,00	26,50	F Arcillo Arenoso
3	3	3	5,42	86,30	3,45	0,17	6,74	123,36	53,50	27,00	19,50	F Arcillo Arenoso
3	3	4	5,36	86,32	3,02	0,15	6,86	117,06	55,50	19,00	25,50	F Arenoso
3	3	5	5,1	90,35	3,03	0,15	5,96	100,35	54,00	21,00	25,00	F Arcillo Arenoso

**Tabla 20.** Análisis físicoquímico de suelos de Aucaloma, 2da Evaluación,

Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C,E, $\mu\text{S/cm}$	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	4,85	96,20	2,89	0,14	4,36	112,00	61,00	23,50	15,50	F Arcillo Arenoso
1	1	2	5,38	72,00	3,12	0,16	6,23	121,00	62,00	22,00	16,00	F Arcillo Arenoso
1	1	3	5,18	100,00	3,25	0,16	5,89	130,50	53,50	19,50	27,00	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,28	87,00	2,89	0,14	6,89	131,25	54,50	21,20	24,30	F Arenoso
1	1	5	4,86	56,25	2,32	0,12	4,63	113,00	56,00	19,50	24,50	F Arenoso
1	2	1	5,15	76,00	3,35	0,17	4,96	125,00	58,00	27,50	14,50	F Arcillo Arenoso
1	2	2	5,26	115,20	3,15	0,16	7,35	123,60	65,00	13,50	21,50	F Arenoso
1	2	3	5,18	96,00	3,36	0,17	6,23	133,96	56,50	19,50	24,00	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,24	79,56	2,56	0,13	6,23	146,25	54,50	17,50	28,00	F Arenoso
1	2	5	5,01	54,00	2,96	0,15	4,89	100,50	53,60	28,50	17,90	F Arcillo Arenoso
1	3	1	5,18	98,50	3,20	0,16	5,23	136,00	62,00	23,50	14,50	F Arcillo Arenoso
1	3	2	5,42	69,20	3,18	0,16	7,25	135,00	61,00	18,50	20,50	F Arenoso
1	3	3	5,26	185,40	3,12	0,16	6,25	121,65	54,50	25,50	20,00	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,26	139,00	3,12	0,16	6,25	163,35	54,50	22,00	23,50	F Arcillo Arenoso
1	3	5	4,86	65,32	2,75	0,14	5,12	113,00	61,20	20,50	18,30	F Arenoso
2	1	1	5,12	73,20	3,12	0,16	5,63	135,00	51,00	23,00	26,00	F Arcillo Arenoso
2	1	2	5,26	93,00	3,10	0,16	7,45	124,20	58,50	19,00	22,50	F Arenoso
2	1	3	5,10	92,30	3,25	0,16	5,85	135,00	61,00	21,23	17,80	F Arenoso
2	1	4	5,38	112,00	3,15	0,16	5,96	163,00	54,40	23,50	22,10	F Arcillo Arenoso
2	1	5	4,86	68,00	2,96	0,15	4,89	114,00	60,23	16,00	23,80	F Arenoso
2	2	1	5,19	84,20	3,70	0,19	5,24	128,20	53,00	23,00	24,00	F Arenoso
2	2	2	5,18	96,32	3,13	0,16	7,12	132,50	61,00	17,00	22,00	F Arenoso
2	2	3	5,21	76,00	3,42	0,17	6,12	134,50	62,50	19,50	18,00	F Arenoso
2	2	4	5,30	145,00	3,30	0,17	6,12	152,00	55,00	24,50	20,50	F Arcillo Arenoso
2	2	5	5,12	89,00	3,10	0,16	5,12	118,00	65,20	16,00	18,80	F Arenoso
2	3	1	5,28	81,23	3,30	0,17	5,36	136,25	52,50	19,00	28,50	F Arenoso
2	3	2	5,41	82,00	3,10	0,16	7,32	135,00	60,00	15,50	24,50	F Arenoso
2	3	3	5,38	100,20	3,78	0,19	6,21	142,00	61,00	26,00	13,00	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,46	98,23	3,10	0,16	6,89	156,00	63,20	15,50	21,30	F Arenoso
2	3	5	4,56	85,00	2,86	0,14	5,36	112,00	54,50	17,50	28,00	F Arenoso
3	1	1	5,16	98,23	3,20	0,16	6,12	139,20	61,00	26,00	13,00	F Arcillo Arenoso
3	1	2	5,20	98,00	3,15	0,16	6,87	136,00	56,00	23,50	20,50	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,17	89,23	3,50	0,18	6,32	100,36	61,00	25,50	13,50	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,41	93,23	3,12	0,16	6,32	160,00	56,20	24,50	19,30	F Arcillo Arenoso
3	1	5	4,89	75,00	2,56	0,13	5,86	110,00	54,50	27,45	18,10	F Arcillo Arenoso
3	2	1	5,12	105,20	3,45	0,17	5,63	146,00	60,00	15,50	24,50	F Arenoso
3	2	2	5,23	85,23	3,15	0,16	6,56	123,00	53,00	24,50	22,50	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,16	147,30	3,56	0,18	6,45	112,00	62,50	27,50	10,00	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,26	87,00	3,50	0,18	6,56	163,00	55,00	23,50	21,50	F Arcillo Arenoso
3	2	5	4,86	75,00	3,12	0,16	6,12	117,00	53,00	26,00	21,00	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,13	75,00	3,60	0,18	5,89	112,30	58,00	21,00	21,00	F Arenoso
3	3	2	5,28	112,00	3,18	0,16	6,89	121,30	53,50	20,00	26,50	F Arcillo Arenoso
3	3	3	5,30	89,36	3,65	0,18	6,12	136,00	61,50	28,50	10,00	F Arcillo Arenoso
3	3	4	5,23	88,00	3,12	0,16	6,90	119,50	56,00	21,20	22,80	F Arenoso
3	3	5	5,12	85,00	3,15	0,16	6,13	102,50	55,00	21,00	24,00	F Arcillo Arenoso



**Tabla 21.** Análisis físicoquímico de suelos de Aucasoma, 3ra Evaluación,

Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C,E, $\mu\text{S}/\text{cm}$	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	5,12	95,07	3,00	0,15	5,23	61,92	60,00	23,00	17,00	F Arcillo Arenoso
1	1	2	5,39	70,47	3,12	0,16	6,20	62,92	62,00	21,00	17,00	F Arcillo Arenoso
1	1	3	5,10	99,37	2,40	0,12	6,35	55,92	54,00	18,00	28,00	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,26	88,37	3,30	0,17	7,25	54,12	54,50	21,00	24,50	F Arenoso
1	1	5	4,86	56,20	2,30	0,12	4,86	110,30	56,50	19,50	24,00	F Arenoso
1	2	1	5,23	74,17	3,25	0,16	5,63	58,42	56,50	28,00	15,50	F Arcillo Arenoso
1	2	2	5,32	114,00	3,23	0,16	6,86	61,92	68,00	13,00	19,00	F Arenoso
1	2	3	5,16	88,97	3,30	0,17	7,10	62,92	56,00	20,00	24,00	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,23	77,77	3,12	0,16	7,63	56,42	54,50	18,00	27,50	F Arenoso
1	2	5	5,10	50,23	2,96	0,15	5,12	55,42	53,50	27,00	19,50	F Arcillo Arenoso
1	3	1	5,12	96,87	3,00	0,15	5,30	62,92	61,00	23,00	16,00	F Arcillo Arenoso
1	3	2	5,48	68,67	3,30	0,17	6,50	59,92	61,00	20,00	19,00	F Arenoso
1	3	3	5,28	198,50	3,30	0,17	6,59	63,15	54,00	27,00	19,00	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,30	139,10	3,15	0,16	7,45	56,92	52,20	19,00	28,80	F Arcillo Arenoso
1	3	5	4,78	63,25	2,50	0,13	4,60	62,92	61,00	20,00	19,00	F Arenoso
2	1	1	5,13	71,77	2,85	0,14	5,80	52,92	51,00	23,50	25,50	F Arcillo Arenoso
2	1	2	5,42	91,47	3,15	0,16	6,50	64,92	60,00	19,00	21,00	F Arenoso
2	1	3	5,14	89,67	3,40	0,17	6,56	64,42	61,00	20,50	18,50	F Arenoso
2	1	4	5,24	102,50	3,30	0,17	6,85	66,42	54,50	23,50	22,00	F Arcillo Arenoso
2	1	5	4,85	65,50	2,80	0,14	5,10	63,42	61,50	17,00	21,50	F Arenoso
2	2	1	5,21	83,77	3,56	0,18	6,12	54,92	53,00	24,00	23,00	F Arenoso
2	2	2	5,23	97,97	3,25	0,16	6,50	50,92	58,00	18,00	24,00	F Arenoso
2	2	3	5,28	71,73	3,15	0,16	7,00	55,42	61,23	19,00	19,80	F Arenoso
2	2	4	5,21	134,90	3,45	0,17	6,50	58,42	55,00	22,50	22,50	F Arcillo Arenoso
2	2	5	5,12	90,23	2,96	0,15	5,23	72,42	70,50	18,00	11,50	F Arenoso
2	3	1	5,23	79,53	3,30	0,17	7,15	56,12	54,20	21,00	24,80	F Arenoso
2	3	2	5,38	80,57	3,30	0,17	6,89	102,72	63,00	15,00	22,00	F Arenoso
2	3	3	5,40	96,87	3,80	0,19	6,35	53,92	62,50	25,00	12,50	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,24	96,53	3,30	0,17	7,00	57,12	64,50	14,00	21,50	F Arenoso
2	3	5	4,90	78,23	2,68	0,13	6,00	55,92	54,00	19,50	26,50	F Arenoso
3	1	1	5,18	96,47	3,20	0,16	6,50	61,92	60,00	25,00	15,00	F Arcillo Arenoso
3	1	2	5,23	97,67	3,12	0,16	7,20	119,61	49,00	23,00	28,00	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,25	87,67	3,36	0,17	6,12	55,42	53,50	25,00	21,50	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,36	89,47	3,16	0,16	7,00	118,02	56,50	24,50	19,00	F Arcillo Arenoso
3	1	5	4,92	72,30	2,50	0,13	6,40	56,42	54,50	27,00	18,50	F Arcillo Arenoso
3	2	1	5,13	102,80	3,45	0,17	6,20	61,92	60,00	18,00	22,00	F Arenoso
3	2	2	5,42	83,77	3,30	0,17	6,56	55,92	52,00	23,50	24,50	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,21	143,30	3,45	0,17	6,78	127,32	52,00	26,00	22,00	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,28	86,77	3,30	0,17	7,20	101,28	55,20	22,50	22,30	F Arcillo Arenoso
3	2	5	5,10	70,25	3,10	0,16	6,23	55,92	54,00	28,00	18,00	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,19	71,57	3,60	0,18	5,69	69,92	61,00	20,00	19,00	F Arenoso
3	3	2	5,31	104,40	3,25	0,16	7,00	57,92	53,00	23,00	24,00	F Arcillo Arenoso
3	3	3	5,23	86,47	3,50	0,18	6,50	144,21	53,50	27,00	19,50	F Arcillo Arenoso
3	3	4	5,24	86,49	3,40	0,17	6,45	114,23	56,20	20,50	23,30	F Arenoso
3	3	5	5,12	89,23	2,86	0,14	6,00	57,42	55,50	22,00	22,50	F Arcillo Arenoso

**Tabla 22.** Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 1ra Evaluación,

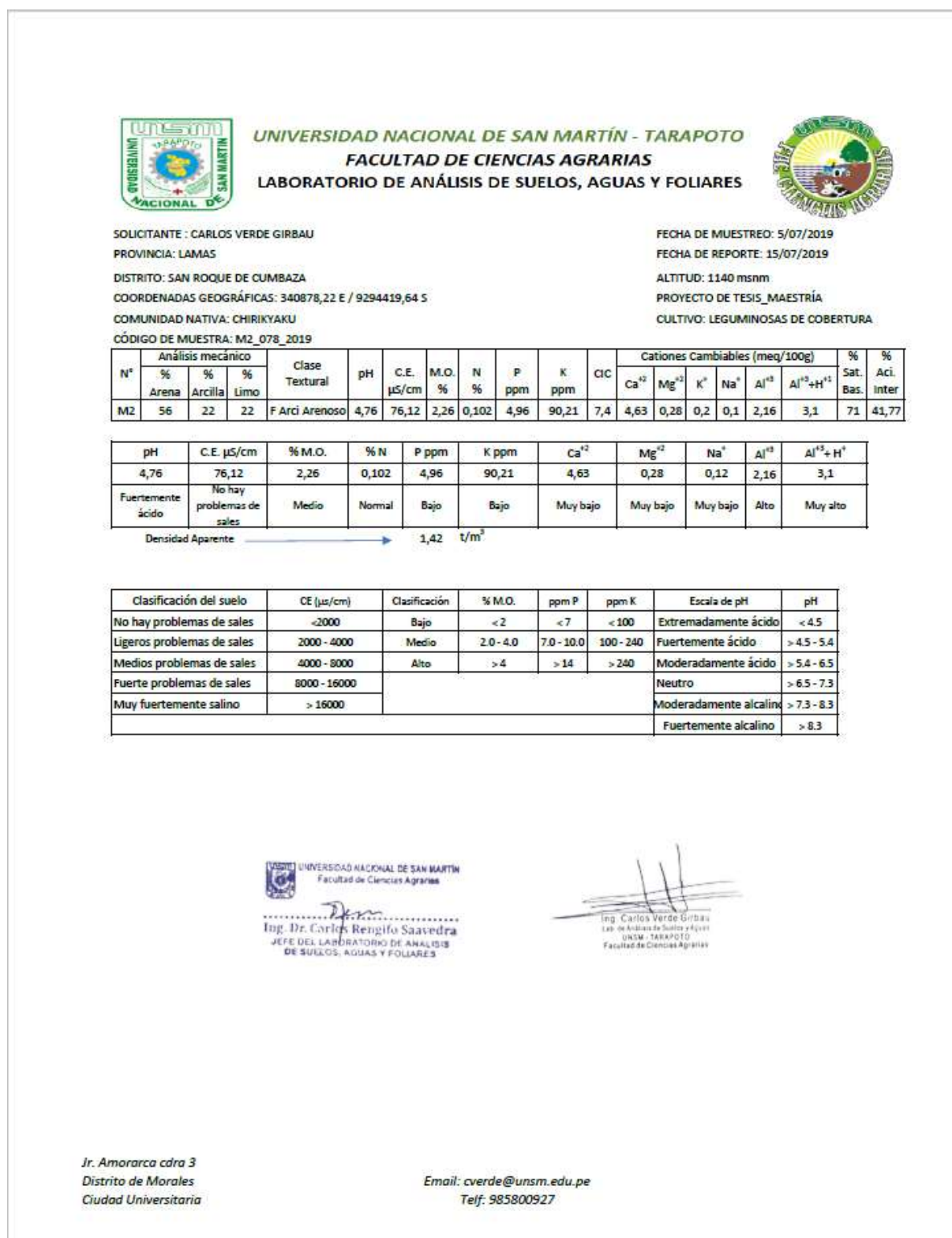
Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C,E, $\mu\text{S/cm}$	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	5,40	71,12	1,96	0,10	5,36	119,36	79,20	19,00	1,80	F Arenoso
1	1	2	5,18	91,00	2,56	0,13	5,12	106,30	58,50	31,50	10,00	F Arcillo Arenoso
1	1	3	4,96	86,23	2,36	0,12	5,68	123,25	65,50	30,20	4,30	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,36	108,00	2,14	0,11	5,24	94,23	63,50	33,20	3,30	F Arcillo Arenoso
1	1	5	4,85	112,00	1,96	0,10	4,23	85,12	58,00	18,50	23,50	F Arenoso
1	2	1	5,23	114,20	2,13	0,11	4,52	97,80	69,00	12,00	19,00	F Arenoso
1	2	2	5,23	87,00	2,45	0,12	5,10	115,24	56,50	30,50	13,00	F Arcillo Arenoso
1	2	3	5,23	89,25	2,58	0,13	5,45	101,50	64,23	32,50	3,27	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,25	115,00	2,58	0,13	5,23	100,00	60,25	35,00	4,75	F Arcillo Arenoso
1	2	5	4,63	100,30	1,86	0,09	4,25	92,36	56,36	19,00	24,60	F Arenoso
1	3	1	5,12	76,23	2,14	0,11	4,36	90,36	63,50	18,50	18,00	F Arenoso
1	3	2	5,34	76,00	2,10	0,11	5,23	121,50	60,00	26,50	13,50	F Arcillo Arenoso
1	3	3	4,85	100,30	2,46	0,12	5,25	84,60	66,58	28,00	5,42	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,24	87,00	2,58	0,13	4,96	120,00	59,50	30,00	10,50	F Arcillo Arenoso
1	3	5	4,78	90,56	2,10	0,11	4,12	74,00	63,20	18,00	18,80	F Arenoso
2	1	1	4,96	115,00	1,96	0,10	4,12	121,00	64,00	15,00	21,00	F Arenoso
2	1	2	5,36	72,00	2,10	0,11	5,24	102,25	63,50	23,20	13,30	F Arcillo Arenoso
2	1	3	4,69	88,56	2,68	0,13	5,23	65,80	69,00	25,00	6,00	F Arcillo Arenoso
2	1	4	5,20	79,00	2,67	0,13	5,02	97,00	63,00	33,00	4,00	F Arcillo Arenoso
2	1	5	4,85	83,25	2,15	0,11	4,58	76,00	60,23	18,53	21,20	F Arenoso
2	2	1	5,23	108,00	2,53	0,13	5,12	78,00	59,00	16,50	24,50	F Arenoso
2	2	2	5,25	106,00	2,30	0,12	5,25	123,00	65,00	19,50	15,50	
2	2	3	5,12	64,23	2,47	0,12	5,14	96,35	59,50	28,00	12,50	F Arcillo Arenoso
2	2	4	5,10	65,36	2,48	0,12	5,32	65,00	62,50	19,00	18,50	F Arenoso
2	2	5	4,56	103,00	1,96	0,10	4,30	102,36	68,52	17,50	14,00	F Arenoso
2	3	1	5,10	63,25	2,36	0,12	5,25	100,00	59,50	18,00	22,50	F Arenoso
2	3	2	5,36	84,00	1,96	0,10	5,36	65,00	66,50	18,00	15,50	
2	3	3	5,14	71,25	2,69	0,13	5,24	75,25	58,56	26,30	15,10	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,16	66,25	2,65	0,13	5,36	121,00	60,25	17,50	22,30	F Arenoso
2	3	5	4,35	76,00	2,20	0,11	4,12	80,32	56,00	21,50	22,50	F Arcillo Arenoso
3	1	1	4,63	73,25	2,41	0,12	4,63	92,00	63,00	16,50	20,50	F Arenoso
3	1	2	5,25	83,25	1,85	0,09	5,45	86,00	68,50	22,00	9,50	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,23	90,36	2,45	0,12	4,78	117,45	64,50	32,50	3,00	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,18	75,40	2,36	0,12	5,25	98,36	61,30	19,00	19,70	F Arenoso
3	1	5	5,10	105,00	2,18	0,11	4,36	79,00	59,00	32,00	9,00	F Arcillo Arenoso
3	2	1	4,32	93,25	2,35	0,12	4,74	115,25	63,00	18,00	19,00	F Arenoso
3	2	2	5,34	109,50	2,03	0,10	5,36	74,00	65,00	25,00	10,00	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,14	101,60	2,36	0,12	5,12	118,32	62,20	35,00	2,80	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,20	109,00	2,69	0,13	4,96	81,25	56,32	18,50	25,20	F Arenoso
3	2	5	5,02	65,00	2,21	0,11	4,63	78,00	62,00	26,50	11,50	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,13	115,40	2,14	0,11	4,36	82,50	64,50	19,00	16,50	F Arenoso
3	3	2	5,12	111,30	2,45	0,12	5,34	65,00	62,00	28,56	9,44	F Arcillo Arenoso
3	3	3	4,86	96,00	2,58	0,13	4,56	70,25	60,30	35,60	4,10	F Arcillo Arenoso
3	3	4	4,96	99,00	2,58	0,13	5,17	89,65	56,25	16,50	27,30	F Arenoso
3	3	5	5,16	84,00	1,96	0,10	5,12	99,23	60,00	23,00	17,00	F Arcillo Arenoso

**Tabla 23.** Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 2da Evaluación,

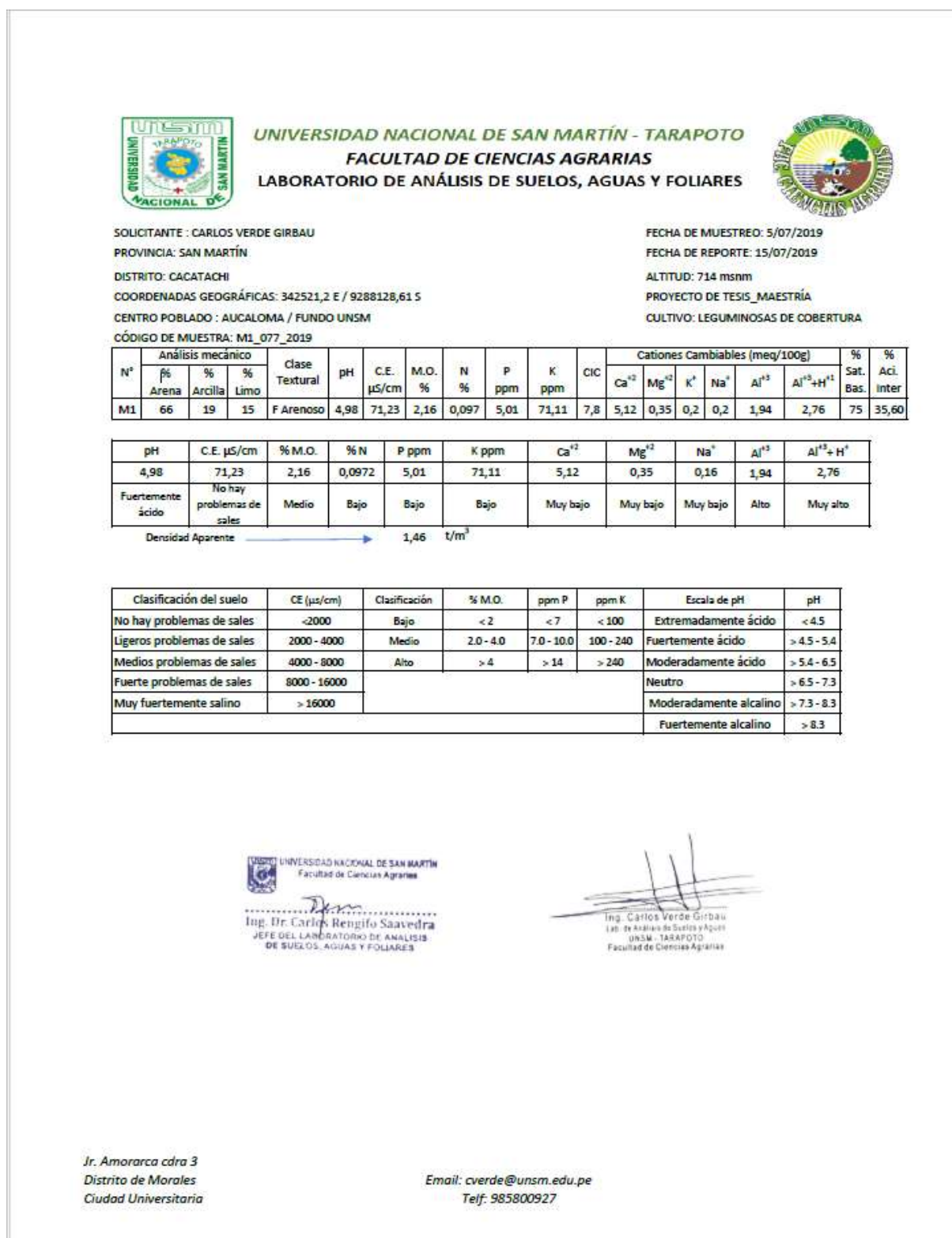
Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C,E, $\mu\text{S}/\text{cm}$	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	5,36	121,50	2,12	0,11	5,36	71,20	58,50	17,50	24,00	F Arenoso
1	1	2	5,23	108,00	2,63	0,13	5,20	75,23	59,00	23,56	17,40	F Arcillo Arenoso
1	1	3	5,12	119,50	2,45	0,12	5,71	104,25	52,30	31,25	16,50	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,41	72,00	2,23	0,11	5,36	116,25	59,36	25,50	15,10	F Arcillo Arenoso
1	1	5	4,96	101,00	2,12	0,11	4,89	82,25	53,25	17,32	29,40	F Arenoso
1	2	1	5,45	84,53	2,25	0,11	5,12	129,30	60,30	15,23	24,50	F Arenoso
1	2	2	5,28	120,00	2,53	0,13	5,23	92,30	56,32	30,50	13,20	F Arcillo Arenoso
1	2	3	5,32	103,50	2,60	0,13	5,63	111,25	56,30	33,50	10,20	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,36	111,00	2,60	0,13	5,32	107,25	58,20	36,00	5,80	F Arcillo Arenoso
1	2	5	5,10	11,25	2,13	0,11	4,68	110,25	54,25	16,36	29,40	F Arenoso
1	3	1	5,69	80,36	2,32	0,12	5,13	119,23	63,50	15,25	21,30	F Arenoso
1	3	2	5,36	78,20	2,30	0,12	5,34	130,20	61,25	28,53	10,20	F Arcillo Arenoso
1	3	3	5,32	117,20	2,32	0,12	5,32	132,00	62,12	29,00	8,88	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,23	119,40	2,45	0,12	5,12	131,25	56,32	32,00	11,70	F Arcillo Arenoso
1	3	5	5,20	113,50	2,32	0,12	4,52	74,25	60,23	15,25	24,50	F Arenoso
2	1	1	5,12	117,50	2,10	0,11	4,36	122,25	68,25	14,25	17,50	F Arenoso
2	1	2	5,38	82,30	2,25	0,11	5,36	127,10	64,00	31,25	4,75	F Arcillo Arenoso
2	1	3	5,12	72,12	2,74	0,14	5,60	75,20	65,50	27,50	7,00	F Arcillo Arenoso
2	1	4	5,34	74,25	2,70	0,14	5,13	80,23	60,25	34,50	5,25	F Arcillo Arenoso
2	1	5	5,12	107,50	2,25	0,11	4,60	104,23	52,36	17,20	30,40	F Arenoso
2	2	1	5,36	97,00	2,45	0,12	5,20	112,36	71,23	15,36	13,40	F Arenoso
2	2	2	5,28	100,20	2,35	0,12	5,36	89,25	63,20	18,23	18,60	F Arenoso
2	2	3	5,23	102,30	2,54	0,13	5,23	77,00	62,30	29,30	8,40	F Arcillo Arenoso
2	2	4	5,24	125,30	2,65	0,13	5,45	113,25	59,36	13,50	27,10	F Arenoso
2	2	5	4,62	113,30	2,21	0,11	4,56	92,25	62,30	19,00	18,70	F Arenoso
2	3	1	5,25	121,00	2,53	0,13	5,32	77,12	72,30	14,20	13,50	F Arenoso
2	3	2	5,24	10,20	2,12	0,11	5,45	124,10	68,50	16,32	15,20	F Arenoso
2	3	3	5,21	70,25	2,63	0,13	5,36	117,00	60,23	31,20	8,57	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,18	11,23	2,78	0,14	5,50	100,23	58,36	15,36	26,30	F Arenoso
2	3	5	4,85	78,00	2,36	0,12	4,20	85,25	60,23	20,30	19,50	F Arcillo Arenoso
3	1	1	5,12	90,00	2,47	0,12	4,96	127,40	63,00	16,00	21,00	F Arenoso
3	1	2	5,30	87,00	2,13	0,11	5,45	114,25	66,30	25,30	8,40	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,36	71,23	2,53	0,13	4,96	94,25	61,20	32,56	6,24	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,21	127,00	2,45	0,12	5,32	115,23	57,00	18,00	25,00	F Arenoso
3	1	5	5,13	112,60	2,25	0,11	4,56	105,00	58,60	30,20	11,20	F Arcillo Arenoso
3	2	1	5,13	127,60	2,53	0,13	5,12	84,50	60,20	15,28	24,50	F Arenoso
3	2	2	5,24	78,00	2,14	0,11	5,45	116,30	64,20	26,50	9,30	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,34	85,20	2,56	0,13	5,20	98,00	60,23	32,50	7,27	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,32	127,00	2,85	0,14	5,12	114,23	56,32	17,56	26,10	F Arenoso
3	2	5	5,32	100,40	2,30	0,12	5,10	84,25	57,25	25,00	17,80	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,14	118,20	2,20	0,11	4,87	144,23	65,23	20,00	14,80	F Arenoso
3	3	2	5,23	100,00	2,56	0,13	5,36	106,25	59,20	30,25	10,60	F Arcillo Arenoso
3	3	3	5,24	116,00	2,60	0,13	4,78	96,32	58,25	37,00	4,75	F Arcillo Arenoso
3	3	4	5,10	85,25	2,63	0,13	5,23	103,25	54,25	15,23	30,50	F Arenoso
3	3	5	5,23	130,30	2,10	0,11	5,20	123,00	56,32	22,00	21,70	F Arcillo Arenoso

**Tabla 24.** Análisis físicoquímico de suelos de Chirikyacu, 3ra Evaluación,

Inóculo /Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	pH	C,E, $\mu$ S/cm	MO %	N %	P ppm	K ppm	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
1	1	1	5,41	132,30	2,23	0,11	5,46	143,25	61,50	15,50	23,00	F Arenoso
1	1	2	5,42	93,00	2,50	0,13	5,32	95,63	50,36	29,35	20,30	F Arcillo Arenoso
1	1	3	5,30	119,20	2,65	0,13	5,85	101,23	59,23	30,25	10,50	F Arcillo Arenoso
1	1	4	5,60	133,50	2,41	0,12	5,32	99,36	56,80	32,25	11,00	F Arcillo Arenoso
1	1	5	5,25	116,30	2,14	0,11	5,12	86,52	56,36	16,50	27,10	F Arenoso
1	2	1	5,50	138,50	2,35	0,12	5,23	98,65	60,00	13,50	26,50	F Arenoso
1	2	2	5,42	119,00	2,45	0,12	5,36	102,52	58,23	25,23	16,50	F Arcillo Arenoso
1	2	3	5,36	131,30	2,74	0,14	5,76	145,36	62,00	25,80	12,20	F Arcillo Arenoso
1	2	4	5,50	126,30	2,65	0,13	5,42	126,52	61,25	29,50	9,25	F Arcillo Arenoso
1	2	5	5,26	126,30	2,25	0,11	5,13	143,25	59,20	15,50	25,30	F Arenoso
1	3	1	5,68	112,40	2,41	0,12	5,24	88,65	63,20	14,56	22,20	F Arenoso
1	3	2	5,50	112,00	2,56	0,13	5,38	97,56	63,20	26,30	10,50	F Arcillo Arenoso
1	3	3	5,23	120,40	2,52	0,13	5,45	143,25	63,50	32,50	4,00	F Arcillo Arenoso
1	3	4	5,42	141,00	2,53	0,13	5,21	142,12	59,25	28,50	12,30	F Arcillo Arenoso
1	3	5	5,36	125,50	2,20	0,11	5,14	133,25	61,23	14,25	24,50	F Arenoso
2	1	1	5,32	132,10	2,32	0,12	4,89	89,56	65,23	16,36	18,40	F Arenoso
2	1	2	5,36	109,30	2,36	0,12	5,41	90,36	56,32	32,00	11,70	F Arcillo Arenoso
2	1	3	5,36	141,30	2,80	0,14	5,75	141,25	62,25	32,25	5,50	F Arcillo Arenoso
2	1	4	5,46	125,00	2,80	0,14	5,23	108,45	58,23	26,50	15,30	F Arcillo Arenoso
2	1	5	5,38	141,40	2,13	0,11	4,96	91,00	54,00	16,00	30,00	F Arenoso
2	2	1	5,52	101,30	2,56	0,13	5,45	101,23	68,20	17,25	14,60	F Arenoso
2	2	2	5,38	89,56	2,63	0,13	5,42	140,12	58,23	15,30	26,50	F Arenoso
2	2	3	5,41	141,30	2,63	0,13	5,36	124,56	63,00	33,50	3,50	F Arcillo Arenoso
2	2	4	5,46	123,00	2,85	0,14	5,50	144,25	52,12	18,00	29,90	F Arenoso
2	2	5	5,12	137,50	2,10	0,11	4,96	113,00	63,20	16,36	20,40	F Arenoso
2	3	1	5,42	134,30	2,63	0,13	5,42	108,54	65,20	15,63	19,20	F Arenoso
2	3	2	5,42	131,70	2,45	0,12	5,50	115,25	52,10	14,52	33,40	F Arenoso
2	3	3	5,36	100,20	2,74	0,14	5,42	119,65	59,32	32,00	8,68	F Arcillo Arenoso
2	3	4	5,36	145,30	2,80	0,14	5,32	91,25	56,36	14,50	29,10	F Arenoso
2	3	5	5,23	136,50	2,13	0,11	4,63	123,25	59,25	26,00	14,80	F Arcillo Arenoso
3	1	1	5,36	114,30	2,52	0,13	5,12	138,56	63,20	17,00	19,80	F Arenoso
3	1	2	5,52	125,40	2,32	0,12	5,46	142,32	63,20	31,50	5,30	F Arcillo Arenoso
3	1	3	5,48	126,30	2,63	0,13	5,12	136,25	63,20	33,20	3,60	F Arcillo Arenoso
3	1	4	5,48	123,60	2,65	0,13	5,42	143,25	56,28	16,50	27,20	F Arenoso
3	1	5	5,36	141,30	2,14	0,11	4,67	125,85	56,32	25,50	18,20	F Arcillo Arenoso
3	2	1	5,30	99,36	2,53	0,13	5,18	107,45	60,23	16,25	23,50	F Arenoso
3	2	2	5,38	115,30	2,41	0,12	5,56	145,36	62,25	32,50	5,25	F Arcillo Arenoso
3	2	3	5,50	109,20	2,74	0,14	5,32	122,35	59,25	31,25	9,50	F Arcillo Arenoso
3	2	4	5,50	113,30	2,98	0,15	5,23	88,36	62,20	14,50	23,30	F Arenoso
3	2	5	5,56	114,40	2,20	0,11	5,23	114,23	56,25	23,50	20,30	F Arcillo Arenoso
3	3	1	5,30	88,25	2,30	0,12	5,16	110,25	64,23	18,50	17,30	F Arenoso
3	3	2	5,42	109,60	2,65	0,13	5,45	96,25	61,25	29,50	9,25	F Arcillo Arenoso
3	3	3	5,40	125,30	2,74	0,14	5,12	137,58	61,25	32,50	6,25	F Arcillo Arenoso
3	3	4	5,30	105,50	2,78	0,14	5,32	128,56	62,25	15,50	22,30	F Arenoso
3	3	5	5,52	118,30	2,23	0,11	5,32	142,36	54,25	20,50	25,30	F Arcillo Arenoso



**Figura 40.** Análisis inicial de caracterización de suelos Chirikyaku.



**Figura 41.** Análisis inicial de caracterización de suelos Aucaloma.

**Tabla 25.** Análisis de respiración basal de suelos de Chirikyacu y Aucaloma,

Respiración basal de suelo			Chirikyacu (C-CO <sub>2</sub> mg Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )			Aucaloma(C-CO <sub>2</sub> mg Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )		
Inoculo/ Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	1ra eval	2da eval	3ra eval	1ra eval	2da eval	3ra eval
1	1	1	8,96	9,40	10,99	10,43	10,72	10,04
1	1	2	8,76	9,38	11,96	10,80	10,99	10,38
1	1	3	10,96	11,34	11,89	9,84	10,71	10,96
1	1	4	10,55	11,10	11,94	9,59	10,21	9,70
1	1	5	9,79	10,46	10,34	10,19	10,23	9,73
1	2	1	9,46	10,01	12,25	10,24	9,69	8,87
1	2	2	9,62	10,20	11,28	9,71	9,88	9,52
1	2	3	11,73	11,67	11,13	9,47	10,34	9,74
1	2	4	9,97	10,74	10,56	10,54	10,46	9,93
1	2	5	10,26	10,55	11,53	10,17	10,54	10,49
1	3	1	11,28	11,40	11,87	10,41	11,46	11,15
1	3	2	9,97	10,03	11,96	10,19	10,80	9,97
1	3	3	11,76	11,75	11,11	11,51	11,62	10,97
1	3	4	10,07	10,25	10,76	11,06	11,38	10,98
1	3	5	10,15	10,27	11,45	8,81	9,38	9,73
2	1	1	10,76	10,95	11,48	10,26	10,35	9,47
2	1	2	9,41	9,33	10,98	9,84	10,58	10,12
2	1	3	11,40	11,85	10,38	11,05	11,51	11,02
2	1	4	10,33	10,41	10,53	10,38	11,15	10,34
2	1	5	11,16	11,41	11,33	10,45	10,82	10,25
2	2	1	9,52	9,71	10,76	10,73	11,47	10,62
2	2	2	9,64	9,75	9,63	9,95	10,55	9,90
2	2	3	10,08	10,46	12,30	10,75	11,48	11,21
2	2	4	10,44	11,12	10,59	10,05	10,48	9,72
2	2	5	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
2	3	1	9,71	10,09	11,96	11,00	11,34	11,35
2	3	2	9,72	9,93	11,18	10,80	11,73	11,25
2	3	3	9,69	10,11	11,39	11,39	11,84	10,97
2	3	4	9,71	10,37	10,62	9,20	10,05	9,29
2	3	5	9,66	9,61	11,51	10,59	10,96	10,35
3	1	1	9,18	9,90	12,31	11,05	11,59	10,75
3	1	2	10,30	10,87	10,63	11,06	11,57	11,54
3	1	3	9,98	10,54	11,74	11,61	12,08	11,28
3	1	4	9,91	10,41	10,69	10,03	10,68	10,50
3	1	5	10,46	11,13	11,54	10,09	10,30	9,58
3	2	1	9,17	9,67	10,34	11,13	11,50	10,97
3	2	2	8,20	8,65	11,55	12,06	12,52	11,71
3	2	3	8,93	9,19	11,50	10,77	11,46	10,60
3	2	4	10,02	10,69	11,17	11,99	12,33	11,62
3	2	5	10,18	10,23	11,51	9,29	10,02	9,31
3	3	1	10,30	9,96	10,27	11,85	12,17	12,29
3	3	2	11,88	9,78	11,29	10,66	11,39	10,53
3	3	3	8,81	9,24	11,09	11,65	12,50	11,54
3	3	4	9,64	10,40	11,95	10,31	10,81	10,02
3	3	5	9,62	10,37	10,34	10,35	11,23	10,50

Tabla 26. Análisis de biomasa microbiana de Chirikyacu y Aucasoma,

Biomasa microbiana de suelos			Chirikyacu ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ )			Aucasoma ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ )		
Inoculo/ Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	1ra eval	2da eval	3ra eval	1ra eval	2da eval	3ra eval
1	1	2	1 842,66	667,98	1 675,80	1 701,47	1 834,84	1 782,95
1	1	2	781,82	99,33	1 695,89	1 111,62	1 060,28	938,63
1	1	3	789,07	1 14,96	1 622,79	1 500,02	1 573,12	1 452,58
1	1	4	1 392,87	784,61	1 876,14	1 333,72	1 358,28	1 075,35
1	1	5	1 131,15	496,66	1 161,29	1 500,02	1 641,20	1 501,69
1	2	1	1 553,03	763,40	1 573,12	1 808,62	2 022,90	1 849,91
1	2	2	1 694,22	617,75	1 608,28	1 598,23	1 678,59	1 618,32
1	2	3	1 017,31	369,98	1 462,07	1 714,31	1 798,57	1 656,83
1	2	4	1 242,76	840,41	895,10	1 950,36	1 990,54	1 737,74
1	2	5	1 843,77	220,98	1 712,63	1 581,49	1 729,93	1 546,34
1	3	1	698,67	137,84	1 830,38	1 656,27	1 783,50	1 622,79
1	3	2	1 054,70	698,11	1 174,12	1 778,48	1 800,80	1 608,28
1	3	3	1 767,32	1 781,27	1 646,22	1 929,15	1 960,40	1 772,34
1	3	4	1 390,08	1 390,64	1 320,33	1 637,85	1 644,55	1 508,95
1	3	5	1 335,40	658,49	2 017,32	1 650,69	1 726,03	1 575,35
2	1	1	1 611,07	434,72	1 810,85	1 933,06	1 969,89	1 800,24
2	1	2	1 443,66	1 194,77	830,93	1 846,00	1 918,55	1 746,11
2	1	3	1 185,84	967,65	541,86	2 262,86	2 257,84	2 097,68
2	1	4	326,45	902,35	484,38	2 553,60	2 539,65	2 387,31
2	1	5	1 130,04	575,34	904,03	2 564,20	2 552,49	2 400,14
2	2	1	1 575,35	992,20	1 146,78	1 885,63	1 882,28	1 734,95
2	2	2	837,06	1 409,06	385,61	2 222,68	2 200,36	2 011,18
2	2	3	120,54	914,07	314,18	2 640,66	2 649,03	2 512,31
2	2	4	830,37	179,69	1 265,08	2 849,92	2 913,54	2 772,35
2	2	5	698,67	196,43	698,67	363,84	531,26	531,26
2	3	1	1 520,11	1 098,79	1 277,92	1 749,46	1 707,61	1 879,49
2	3	2	125,56	1 097,67	136,72	1 843,77	1 890,09	1 767,88
2	3	3	1 170,77	1 193,09	373,33	2 673,02	2 704,27	2 560,86
2	3	4	1 461,51	480,47	997,22	2 697,58	2 748,36	2 617,22
2	3	5	854,92	657,93	1 545,22	2 530,72	2 638,98	2 704,83
3	1	1	710,95	742,75	1 167,98	2 626,71	2 697,58	2 487,75
3	1	2	405,70	1 074,23	1 034,61	2 112,19	2 207,62	2 067,55
3	1	3	1 415,20	923,56	744,43	793,54	828,69	656,26
3	1	4	749,45	721,55	702,02	762,84	762,84	557,48
3	1	5	1 059,16	597,66	625,01	84,26	84,26	41,30
3	2	1	401,79	499,45	1 292,98	2 707,62	2 738,31	2 429,72
3	2	2	833,72	635,61	943,65	776,79	766,75	584,27
3	2	3	920,77	591,52	842,09	573,11	555,81	430,25
3	2	4	246,65	535,16	835,95	783,49	824,23	702,02
3	2	5	590,41	571,99	739,96	666,86	726,57	768,42
3	3	1	1 523,46	428,58	1 208,72	3 008,96	3 038,54	2 901,82
3	3	2	1 241,64	680,25	1 240,53	488,29	464,29	320,32
3	3	3	232,15	907,93	448,11	1 198,68	1 224,90	1 053,03
3	3	4	7,81	667,98	621,10	666,86	749,45	584,83
3	3	5	1 141,75	760,61	959,27	1 006,71	1 030,70	961,51



**Tabla 27.** Análisis de fosfatasa de suelos de Chirikyacu y Aucaloma,

Actividad de fosfatasa de suelos			Chirikyacu ( $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )			Aucaloma ( $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )		
Inoculo/ Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	1ra eval	2da eval	3ra eval	1ra eval	2da eval	3ra eval
1	1	1	313,00	84,43	443,95	341,10	344,43	458,71
1	1	2	511,10	224,43	436,33	668,24	165,86	164,43
1	1	3	723,00	251,57	427,29	580,14	439,67	732,05
1	1	4	841,10	295,38	569,19	385,86	378,71	387,76
1	1	5	641,10	417,29	534,43	591,57	595,86	593,48
1	2	1	331,10	134,43	520,62	341,10	338,71	353,00
1	2	2	573,00	166,33	485,38	182,05	166,81	211,57
1	2	3	772,05	243,48	428,24	743,00	766,81	894,90
1	2	4	496,81	292,05	485,38	464,90	506,33	489,67
1	2	5	471,10	342,52	362,05	409,19	409,67	341,10
1	3	1	460,14	135,86	450,62	268,71	261,57	269,19
1	3	2	619,19	247,76	462,52	544,43	504,43	582,05
1	3	3	553,00	190,14	632,52	661,57	610,62	725,86
1	3	4	603,95	309,19	329,19	488,24	463,48	508,24
1	3	5	488,71	260,14	427,76	621,57	621,57	732,05
2	1	1	463,48	654,43	440,62	488,71	470,14	466,33
2	1	2	490,62	715,38	372,05	480,62	473,48	450,14
2	1	3	604,90	641,10	364,90	886,81	923,00	1061,10
2	1	4	435,38	976,33	594,90	517,29	557,76	527,76
2	1	5	418,71	904,90	421,10	355,86	350,62	350,62
2	2	1	498,71	723,00	741,57	344,90	306,81	317,76
2	2	2	623,48	186,81	393,00	511,10	527,76	539,67
2	2	3	694,43	330,62	490,62	738,71	673,00	721,57
2	2	4	466,33	491,10	644,43	603,00	600,62	582,05
2	2	5	498,24	339,67	484,43	1014,43	874,43	876,81
2	3	1	468,24	622,52	455,86	482,05	450,14	446,81
2	3	2	698,71	646,33	501,57	327,76	413,48	354,43
2	3	3	456,33	683,48	650,14	223,95	361,57	328,24
2	3	4	441,10	402,05	754,90	333,95	323,48	336,33
2	3	5	635,86	804,43	451,10	668,71	639,19	653,48
3	1	1	304,43	606,81	557,76	1062,52	1090,62	1118,24
3	1	2	311,10	613,48	562,05	625,38	608,24	650,62
3	1	3	513,95	1183,95	503,95	1060,14	893,00	919,19
3	1	4	563,48	490,14	612,05	450,62	435,38	438,71
3	1	5	401,57	420,62	658,71	918,71	916,81	910,62
3	2	1	696,33	823,95	443,95	910,14	837,29	830,14
3	2	2	300,62	463,95	457,76	736,81	709,67	738,71
3	2	3	585,86	822,05	707,76	743,95	783,00	781,57
3	2	4	438,71	735,38	697,76	1083,95	993,95	999,19
3	2	5	233,95	491,10	543,00	743,48	688,71	723,95
3	3	1	391,57	623,95	421,57	782,52	729,67	756,33
3	3	2	537,29	492,05	540,14	460,14	442,05	445,86
3	3	3	442,05	555,38	678,24	534,90	540,62	538,24
3	3	4	371,57	338,24	457,29	480,14	362,05	327,29
3	3	5	445,86	604,43	508,24	1053,00	966,81	1006,33

**Tabla 28.** Análisis de ureasa de suelos de Chirkyacu y Aucaloma,

Actividad de ureasa de suelos			Chirkyacu ( $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )			Aucaloma ( $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )		
Inoculo/ Enmienda	Leguminosas	Tratamientos	1ra eval	2da eval	3ra eval	1ra eval	2da eval	3ra eval
1	1	1	511,10	373,00	632,05	625,38	607,29	466,81
1	1	2	579,19	353,00	651,57	876,81	752,52	600,14
1	1	3	602,05	403,48	323,00	457,29	603,95	447,29
1	1	4	600,62	745,38	601,10	436,33	413,00	445,38
1	1	5	645,86	493,00	563,48	470,62	361,57	398,24
1	2	1	515,86	490,14	557,29	490,14	466,33	579,19
1	2	2	333,95	396,33	639,19	677,29	623,00	723,48
1	2	3	484,90	424,43	337,76	344,43	368,71	354,90
1	2	4	456,33	963,95	356,33	404,43	429,67	393,00
1	2	5	592,52	409,19	506,81	364,43	554,90	637,76
1	3	1	403,95	311,57	503,48	730,14	817,29	735,86
1	3	2	597,29	435,38	408,71	679,67	702,52	653,95
1	3	3	465,86	361,10	325,38	532,52	513,00	335,86
1	3	4	599,19	502,52	513,95	526,33	517,76	464,90
1	3	5	563,95	494,90	674,43	569,67	448,24	584,43
2	1	1	427,76	483,00	474,43	611,10	611,10	573,48
2	1	2	368,71	450,62	495,38	623,48	482,52	738,24
2	1	3	477,29	413,95	387,76	719,19	577,76	616,33
2	1	4	413,00	512,05	508,71	350,62	198,24	324,90
2	1	5	378,71	459,19	613,95	449,67	450,14	477,76
2	2	1	477,29	395,86	419,19	493,95	489,19	493,00
2	2	2	820,62	502,05	486,33	885,86	548,24	402,05
2	2	3	513,48	260,14	586,33	501,10	821,57	896,33
2	2	4	442,05	397,76	363,48	637,76	588,71	588,71
2	2	5	438,71	370,62	668,71	384,43	417,76	487,29
2	3	1	426,33	466,81	531,57	606,81	527,76	549,67
2	3	2	399,19	446,33	549,67	931,10	611,10	765,38
2	3	3	492,05	428,71	445,38	896,33	475,38	737,76
2	3	4	527,76	588,71	535,86	350,62	339,19	330,14
2	3	5	446,33	414,90	425,86	165,38	361,57	151,10
3	1	1	399,19	340,14	426,81	713,00	847,76	742,05
3	1	2	583,95	330,14	593,00	606,81	596,33	583,00
3	1	3	542,05	663,48	873,95	612,52	544,90	659,19
3	1	4	607,76	850,14	955,38	758,24	714,43	786,81
3	1	5	484,90	473,95	963,95	615,86	480,14	573,48
3	2	1	385,38	449,67	399,67	417,76	418,24	332,05
3	2	2	556,81	873,48	534,43	732,05	585,86	592,52
3	2	3	492,05	730,62	844,90	454,90	408,24	324,43
3	2	4	571,10	706,33	936,33	530,14	440,62	608,71
3	2	5	637,76	593,48	931,10	558,24	758,71	665,38
3	3	1	637,76	421,57	468,71	561,10	523,00	576,33
3	3	2	554,90	875,86	649,67	639,67	508,24	561,57
3	3	3	702,52	646,81	935,38	586,33	505,86	573,00
3	3	4	559,19	339,19	808,24	208,24	353,00	135,86
3	3	5	756,81	606,33	432,05	482,05	535,86	663,48



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE SUELOS



SOLICITANTE : CARLOS VERDE GIRBAU

PROVINCIA: SAN MARTÍN

DISTRITO: CACATACHI

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 342521,2 E / 9288128,61 S

CENTRO POBLADO : AUCALOMA / FUNDO UNSM

FECHA DE MUESTREO: 5/07/2019

FECHA DE REPORTE: 15/07/2019

ALTITUD: 714 msnm

PROYECTO DE TESIS \_MAESTRÍA

PROVINCIA: LAMAS

DISTRITO: SAN ROQUE DE CUMBAZA

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 340878,22 E / 9294419,64 S

COMUNIDAD NATIVA: CHIRIKYAKU

FECHA DE MUESTREO: 23/06/2019


FECHA DE REPORTE: 8/07/2019

ALTITUD: 1140 msnm

PROYECTO DE TESIS \_MAESTRÍA

INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS - DETERMINACIÓN INICIAL		
DETERMINACIÓN	ZONA AUCALOMA	ZONA CHIRIKYAKU
Respiración Basal ( $C-CO_2$ mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	7,21	8,76
Biomasa Microbiana ( $\mu$ gC. g <sup>-1</sup> )	1112,36	752,52
Actividad Enzimática Fósfatasa ( $\mu$ molPNP. g <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> )	452,23	401,23
Actividad Enzimática Ureasa ( $\mu$ mol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . g <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> )	375,36	396,32

ESCALAS DE INTERPRETACION				
NIVELES	Respiración Basal ( $C-CO_2$ mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Biomasa microbiana ( $\mu$ gC. g <sup>-1</sup> )	Actividad Fosfatasa ( $\mu$ molPNP. g <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> )	Actividad Ureasa ( $\mu$ mol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . g <sup>-1</sup> . h <sup>-1</sup> )
Bajo	< 10	< 200	< 150	< 300
Medio	10 --- 20	200 --- 1000	150 --- 420	300 --- 500
Alto	> 20	> 1500	> 420	> 500

  
 Ing. MSc. José Carlos Rojas Garcia  
 Analista de suelos

Lab. Microbiología de Suelos - UNSM

Jr. Amorarca cdra 3  
 Distrito de Morales  
 Ciudad Universitaria

Figura 42. Análisis inicial Indicadores de calidad de suelos.

**Tabla 29.** Análisis de varianza para % materia orgánica zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,09	0,0505	0,06	0,0997	0,1	<0,0001
Inóculo	2	0,02	0,0390	0,03	0,0792	0,04	0,0028
Leguminosas	2	0,03	0,0261	0,03	0,0878	0,04	0,0026
Leguminosas + Inóculo	4	0,003	0,9912	0,01	0,9478	0,001	0,9910
Tratamientos	4	0,38	0,0002	0,22	0,0008	0,44	<0,0001
Tratamientos + Leguminosas	8	0,02	0,8993	0,01	0,9269	0,01	0,8583
Error	24	0,04		0,03		0,02	
Total	44						

**Tabla 30.** Análisis de varianza para % materia orgánica zona Aucaloma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,12	0,0004	0,15	0,0003	0,17	0,0003
Inóculo	2	0,18	0,0063	0,27	0,0021	0,22	0,0092
Leguminosas	2	0,41	0,0013	0,2	0,0039	0,29	0,0058
Leguminosas + Inóculo	4	0,01	0,8861	0,01	0,9358	0,01	0,8670
Tratamientos	4	0,25	0,0001	0,42	<0,0001	0,49	<0,0001
Tratamientos + Leguminosas	8	0,02	0,5888	0,03	0,4350	0,05	0,2578
Error	24	0,03		0,03		0,04	
Total	44						

**Tabla 31.** Análisis de varianza para % de nitrógeno zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,0002	0,0505	0,0001	0,0997	0,0003	<0,0001
Inóculo	2	0,00006	0,0390	7E-05	0,0792	9E-05	0,0028
Leguminosas	2	7E-05	0,0261	7E-05	0,0878	1E-04	0,0026
Leguminosas + Inóculo	4	7E-06	0,9912	1E-05	0,9478	3E-06	0,9910
Tratamientos	4	0,0010	0,0002	0,0006	0,0008	0,0011	<0,0001
Tratamientos + Leguminosas	8	5E-05	0,8993	3E-05	0,9269	2E-05	0,8583
Error	24	0,0001		8E-05		4E-05	
Total	44						

**Tabla 32.** Análisis de varianza para % de nitrógeno zona Aucasoma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0005	<b>0,0003</b>
Inóculo	2	0,0005	0,0063	0,0007	0,0021	0,0006	0,0101
Leguminosas	2	0,001	0,0013	0,0005	0,0039	0,0008	0,0065
Leguminosas + Inóculo	4	2E-05	0,8861	2E-05	0,9358	3E-05	0,8478
Tratamientos	4	0,0006	0,0001	0,0011	<0,0001	0,0013	<0,0001
Tratamientos + Leguminosas	8	6E-05	0,5888	9E-05	0,4350	0,0001	0,2544
Error	24	7E-05		8E-05		1E-04	
Total	44						

**Tabla 33.** Análisis de varianza para ppm de fósforo zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,2700	0,0297	0,16	0,0571	0,08	<b>0,1</b>
Inóculo	2	0,01	0,9027	0,03	0,565	0,05	0,2015
Leguminosas	2	0,01	0,9283	0,02	0,6741	0,02	0,4123
Leguminosas + Inóculo	4	0,11	0,4714	0,05	0,6366	0,02	0,7558
Tratamientos	4	1,2100	0,0001	0,67	0,0003	0,29	<b>0,001</b>
Tratamientos + Leguminosas	8	0,02	0,9975	0,03	0,9437	0,02	0,8943
Error	24	0,12		0,08		0,04	
Total	44						

**Tabla 34.** Análisis de varianza para ppm de fósforo zona Aucasoma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,8900	0,0034	1,05	0,0001	0,84	<b>0,0033</b>
Inóculo	2	0,04	0,8242	0,82	0,0199	0,45	0,3811
Leguminosas	2	0,04	0,8474	0,26	0,1166	0,13	0,7243
Leguminosas + Inóculo	4	0,21	0,5579	0,07	0,8442	0,36	0,2631
Tratamientos	4	4,1000	<0,0001	4,57	<0,0001	3,41	<0,0001
Tratamientos + Leguminosas	8	0,05	0,9919	0,03	0,9919	0,07	0,9724
Error	24	0,27		0,19		0,26	
Total	44						

**Tabla 35.** Análisis de varianza para ppm de potasio zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	326,31	0,5162	285,44	0,8124	501,68	<b>0,1882</b>
Inóculo	2	624,52	0,0154	293,80	0,5758	565,21	0,5296
Leguminosas	2	294,69	0,0534	444,67	0,4559	118,81	0,8595
Leguminosas + Inóculo	4	44,3	0,9689	462,19	0,3826	755,48	0,1001
Tratamientos	4	266,07	0,5391	351,51	0,5187	534,33	<b>0,2193</b>
Tratamientos + Leguminosas	8	430,79	0,2949	122,14	0,9631	438,29	0,3031
Error	24	334,01		422,96		344,35	
Total	44						

**Tabla 36.** Análisis de varianza para ppm de potasio zona Aucaloma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	542,24	0,0068	447,29	0,0031	481,79	<b>0,698</b>
Inóculo	2	346,21	0,4263	297,70	0,3658	2271,3	0,0033
Leguminosas	2	7,56	0,9772	16,09	0,9329	151,77	0,2289
Leguminosas + Inóculo	4	325,69	0,1712	227,83	0,1871	69,61	0,9761
Tratamientos	4	2099,9	<0,0001	1767,9	<0,0001	419,02	<b>0,606</b>
Tratamientos + Leguminosas	8	54,35	0,9616	41,94	0,9549	354,4	0,7813
Error	24	185,69		135,52		607,17	
Total	44						

**Tabla 37.** Análisis de varianza para biomasa microbiana zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	220 058,6	0,6677	138250,25	0,3858	364222,43	<b>0,0057</b>
Inóculo	2	1089617,7	0,0493	126008,21	0,4483	2325352,5	0,0004
Leguminosas	2	43480,5	0,7697	192311,59	0,3253	28038,06	0,3985
Leguminosas + Inóculo	4	155472,36	0,6787	127654,88	0,4068	24003,51	0,9371
Tratamientos	4	241782,4	0,4768	173662,88	0,2589	413676,94	<b>0,0242</b>
Tratamientos + Leguminosas	8	68244,59	0,9744	115386,8	0,5024	103368,2	0,5684
Error	24	267219,62		122638,18		121376,87	
Total	44						

**Tabla 38.** Análisis de varianza para biomasa microbiana zona Aucasaloma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	606446,5	0,3751	607450,85	0,3882	626130,17	0,2857
Inóculo	2	3458415,2	0,0038	3459741,6	0,0051	3752933,3	0,0043
Leguminosas	2	104361,91	0,4688	87059,78	0,5689	139027,25	0,4292
Leguminosas + Inóculo	4	113302,44	0,9285	133616,67	0,9084	132062,04	0,8957
Tratamientos	4	765206,6	0,2515	771726,81	0,2550	708762,33	0,2522
Tratamientos + Leguminosas	8	186167,3	0,9363	179255,05	0,9452	171923,1	0,9371
Error	24	531459,57		540263,07		493070,61	
Total	44						

**Tabla 39.** Análisis de varianza para respiración basal zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,76	0,2480	0,71	0,0913	0,29	0,9435
Inóculo	2	0,77	0,5658	0,94	0,3557	0,74	0,2317
Leguminosas	2	0,56	0,6516	0,70	0,4411	0,19	0,6124
Leguminosas + Inóculo	4	1,17	0,1192	0,70	0,1730	0,35	0,6672
Tratamientos	4	0,59	0,4074	1,28	0,0305	0,32	0,7015
Tratamientos + Leguminosas	8	0,69	0,3357	0,37	0,5204	0,15	0,9747
Error	24	0,57		0,40		0,58	
Total	44						

**Tabla 40.** Análisis de varianza para respiración basal zona Aucasaloma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	0,69	0,1516	0,85	0,0337	0,76	0,1092
Inóculo	2	2,11	0,0086	3,18	0,0137	1,94	0,0264
Leguminosas	2	0,22	0,2418	0,74	0,1311	0,88	0,0901
Leguminosas + Inóculo	4	0,11	0,9115	0,21	0,7043	0,19	0,7930
Tratamientos	4	1,25	0,0486	1,65	0,0096	1,23	0,0531
Tratamientos + Leguminosas	8	0,47	0,4289	0,21	0,8037	0,49	0,4041
Error	24	0,45		0,39		0,45	
Total	44						

**Tabla 41.** Análisis de varianza para actividad enzimática ureasa zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	12410,97	0,2708	34302,38	0,1297	36326,33	0,3554
Inóculo	2	34560,2	0,3676	96668,27	0,0988	229153,1	0,0019
Leguminosas	2	4911,38	0,8382	8582,74	0,7018	12321,92	0,2115
Leguminosas + Inóculo	4	26612	0,05	22155,75	0,4046	5245,12	0,9523
Tratamientos	4	9607,68	0,4259	52713,44	0,0704	31978,65	0,4132
Tratamientos + Leguminosas	8	3049,69	0,9513	22008,6	0,4357	11835,17	0,9206
Error	24	9588,16		21191,37		31120,12	
Total	44						

**Tabla 42.** Análisis de varianza para actividad enzimática ureasa zona Aucaloma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	40685,91	0,0393	22639,96	0,2161	22018,54	0,7901
Inóculo	2	3110,84	0,8906	10924,98	0,7242	5188,33	0,8342
Leguminosas	2	18466,5	0,5456	4309,95	0,8749	6329,3	0,8033
Leguminosas + Inóculo	4	26092,09	0,2751	31195,06	0,1391	27338,01	0,4973
Tratamientos	4	119687,20	0,0013	40651,13	0,0688	35567,12	0,3662
Tratamientos + Leguminosas	8	23430,79	0,326	16868,07	0,4348	20714,39	0,7224
Error	24	19097,29		16218,01		31491,61	
Total	44						

**Tabla 43.** Análisis de varianza para actividad enzimática fosfatasa zona Chirikyacu

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	24732,44	0,0461	105582,2	0,0013	16208,88	0,0909
Inóculo	2	61696,73	0,0454	696165,20	0,0261	35183,96	0,1941
Leguminosas	2	345,14	0,9599	68470,89	0,4383	2574,46	0,8372
Leguminosas + Inóculo	4	8348,73	0,6022	67073,47	0,0813	13853,89	0,2298
Tratamientos	4	31775,31	0,0581	19669,17	0,6034	13833,14	0,2304
Tratamientos + Leguminosas	8	26258,61	0,066	29425,06	0,4359	17239,09	0,1101
Error	24	11998,07		28337,62		9152,9	
Total	44						



**Tabla 44.** Análisis de varianza para actividad enzimática fosfatasa zona Aucasoma

Fuentes de variabilidad	gl	90 dds		180 dds		270 dds	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
Modelo	20	83205,20 365409,0	0,0255	76632,19 341805,8	0,0174	87262,27	<b>0,0909</b>
Inóculo	2	3	0,0306	4	0,0283	276266,3	0,1941
Leguminosas	2	54456,89	0,3446	38089,82	0,4156	35390,67	0,8372
Leguminosas + Inóculo	4	38708,87	0,3891	34551,83	0,3695	43593,34	0,2298
Tratamientos	4	77456,22	0,1046	89143,48	0,0436	125850,4	<b>0,2304</b>
Tratamientos + Leguminosas	8	44963,98	0,313	34758,90	0,3802	55519,58	0,1101
Error	24	35895,26		30799,72		33440,15	
Total	44						

