



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RECuento DE *Azotobacter sp*
COMO BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE
CUATRO COMUNIDADES CAMPESINAS DE LA REGIÓN PUNO

TESIS

PRESENTADO POR:

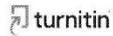
Bach. FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO - PERÚ

2024



FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RECuento DE *Azotobacter* sp COMO BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE CUAT

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:418816815

83 Páginas

Fecha de entrega
26 dic 2024, 12:45 p.m. GMT-5

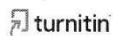
14,465 Palabras

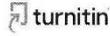
Fecha de descarga
26 dic 2024, 12:48 p.m. GMT-5

79,993 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE REPOSITORIO 15.docx

Tamaño de archivo
8.1 MB





16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

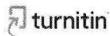
N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirán distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Blgo. Mg. Diana Elizabeth Cervero Zepeda
DOCENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS UNA PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RECuento DE *Azotobacter sp* COMO
BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES
CAMPELINAS DE LA REGIÓN PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


Dra. ROXANA DEL CARMEN MEDINA ROJAS

PRIMER MIEMBRO:


Mg. DANTE MAMANI SAIRITUPAC

SEGUNDO MIEMBRO:


Dr. LUIS ANGEL PAUCAR FLORES

DIRECTOR / ASESOR:

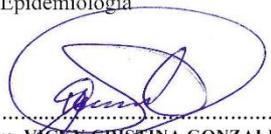

Mg. DIANA ELIZABETH CAVERO ZEGARRA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27/12/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Diagnóstico y Epidemiología




V^oB^o Dra. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN-FCCBB



DEDICATORIA

Dedico a mis queridos padres José Machaca y Victoria Villasante los cuales fueron mis primeros maestros, en reconocimiento a su abnegada ayuda, por su apoyo moral y económico que con sus sólidos principios supieron guiarme en el camino de la superación y el respeto.

A mis hermanos Huber y Marcia quienes con sus sabios consejos han sabido orientarme, por la confianza depositada en mí, que me han llenado de entusiasmo para poder determinar con éxito mis metas propuestas

Y a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional

Franklin Wilber Machaca Villasante



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Altiplano de Puno nuestra primera casa de estudios, a la Facultad de Ciencia Biológicas y a los docentes del área de Microbiología y Laboratorio Clínico, por los servicios prestados para mejorar el liderazgo en la educación y por permitirnos ser parte de una generación de gente productiva para el país.

Doy gracias a mi asesora de tesis Mg. Diana Elizabeth Cavero Zegarra, por la trasmisión de valiosos conocimientos y experiencias, así como grandes principios éticos. A la Dra. Youri Teresa Del Carpio Condori, Jefa del Laboratorio de Microbiología Clínica de la Facultad de Ciencias Biológicas – UNAP, siempre dispuesta a darme las facilidades para el uso del laboratorio durante la ejecución de ésta tesis.

A mis docentes de la Universidad quienes fueron los artífices del desarrollo de mis estudios profesionales.

Agradecer, por último, a todas las personas amigos y conocidos que contribuyeron en mi formación académica.

Franklin Wilber Machaca Villasante



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES	19
2.2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1 Caracterización química de los suelos	22
2.2.2 Caracterización física de los suelos.....	26
2.2.3 Factores que influyen en la disponibilidad de los nutrientes	29
2.2.4 Biofertilizantes en los campos de cultivo.....	32
2.2.5 <i>Azotobacter sp</i>	34



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE ESTUDIO	37
3.2	DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.3	POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA	38
3.4	VALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES DE LA REGIÓN PUNO	38
3.5	EVALUACIÓN DEL RECuento DE <i>Azotobacter sp</i> EN MUESTRAS DE SUELO DE CUATRO COMUNIDADES DE LA REGIÓN PUNO	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PARÁMETROS QUÍMICOS PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES ..	45
4.2	RECuento DE BACTERIAS BIOFERTILIZANTES <i>Azotobacter sp</i> EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES	57
V.	CONCLUSIONES	61
VI.	RECOMENDACIONES	62
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS.....	73

ÁREA: Ciencias Biomédicas

LÍNEA: Diagnóstico y Epidemiología

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 diciembre del 2024.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema del procedimiento realizado para determinar el recuento de <i>Azotobacter sp</i> en suelos.	42
Figura 2 Valores de pH en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.	46
Figura 3 Conductividad eléctrica en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.	50
Figura 4 Concentración de materia orgánica (MO) en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.	54
Figura 5 Recuento de <i>Azotobacter sp</i> ($\times 10^4$ UFC/g) en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.	58
Figura 6 Zona de muestreo comunidad Huataquita, distrito de Cabanillas, provincia de San Román, región Puno.	75
Figura 7 Zona de muestreo comunidad Querarapi, distrito de Vilquechico, provincia de Huancané, región Puno.	75
Figura 8 Zona de muestreo comunidad Mallcusuca, distrito y provincia de Moho, región Puno.	76
Figura 9 Zona de muestreo comunidad de Faón, distrito de Huata, región Puno.	76
Figura 10 Muestras de tierra pesadas y diluidas en agua destiladas para la medición de parámetros mediante equipo multiparámetro.	77
Figura 11 Medición del pH en muestras de tierra de cuatro comunidades, diluidas en agua destilada estéril, mediante el potenciómetro portátil.	77
Figura 12 Medición de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en muestras de tierra de cuatro comunidades, diluidas en agua destilada estéril, mediante el conductímetro.	78



Figura 13	Preparación de placa de Petri para colocar el medio de cultivo mineral libre de nitrógeno.	78
Figura 14	Crecimiento de bacterias <i>Azotobacter sp</i> en medios de cultivo mineral libre de nitrógeno, a partir de suelos de cuatro comunidades en la región Puno.	79
Figura 15	Tinción Gram y prueba de la catalasa en colonias de <i>Azotobacter sp.</i>	79
Figura 16	Determinación de materia orgánica (%) en muestras de tierra de cuatro comunidades de la región Puno.	80



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Clasificación de la salinidad de suelo según el tipo de conductividad eléctrica..... 23
Tabla 2	Tipos de suelo, según los valores de pH obtenidos. 25
Tabla 3	Relación entre la textura y la tasa de la infiltración. 27
Tabla 4	Efecto del contenido de materia orgánica y arcillas en la CIC de los suelos palmeros. 31
Tabla 5	Características morfológicas básicas del género <i>Azotobacter</i> 36
Tabla 6	Distribución de la colecta de muestras de tierra en cuatro comunidades. ... 38
Tabla 7	Valores de pH de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno. 45
Tabla 8	Valores de conductividad eléctrica de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno. 49
Tabla 9	Concentración de materia orgánica de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno. 53
Tabla 10	Recuento de <i>Azotobacter sp</i> en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno. 57
Tabla 11	Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de pH en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno. 73
Tabla 12	Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de conductividad eléctrica (mS/cm) en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno..... 73



Tabla 13	Análisis de varianza y prueba de Tukey de las concentraciones de materia orgánica (%) en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.....	74
Tabla 14	Análisis de varianza y prueba de Tukey de los recuentos de <i>Azotobacter sp</i> en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.....	74



ACRÓNIMOS

°C:	grados centígrados
CIC:	capacidad de intercambio catiónico
CV:	coeficiente de variabilidad
et al.:	y colaboradores
g:	gramo
mm:	milímetros
me/100 g:	miliequivalentes por 100 g
MO:	Materia orgánica
P:	probabilidad
pH:	potencial de hidrogeniones
Prom:	promedio
UFC/g:	unidades formadoras de colonia por gramo de muestra
%:	Porcentaje
dS/cm:	deciSiemens por centímetro



RESUMEN

La agricultura peruana es dependiente de los fertilizantes agroquímicos, pero su uso indiscriminado en los cultivos, origina impactos negativos en la salud pública, ante ello se plantea el uso de biofertilizantes bacterianos para generar cultivos ecológicos. El objetivo general fue: evaluar las características químicas y el recuento bacteriológico biofertilizante en suelos de cuatro comunidades campesinas de la región Puno. Los objetivos específicos fueron: evaluar los parámetros químicos pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y evaluar el recuento de bacterias biofertilizantes *Azotobacter sp* en muestras de suelo de las comunidades Huataquita (Cabanillas – San Román), Faón (Huata – Puno), Mallcusuca (Moho – Moho) y Querarapi (Vilquechico – Huancané). Se evaluaron 24 muestras de suelo, 6 en cada comunidad. La determinación del pH y la conductividad eléctrica se logró mediante el método electrométrico; la materia orgánica mediante la calcinación en horno; el recuento de *Azotobacter sp* mediante el método de recuento en placa en el medio Asbhy. Los resultados se analizaron mediante promedios, coeficiente de variación, análisis de varianza y pruebas de Tukey, con un nivel de confiabilidad del 95 %. Los resultados promedio de los parámetros evaluados fueron: el pH 7.03; la conductividad eléctrica de 16.82 dS/m, materia orgánica de 2.31 % y recuentos de *Azotobacter sp* de 3.10×10^4 UFC/g, existiendo diferencia entre zonas de estudio ($P < 0.05$). Se concluye que los suelos poseen un alto grado de salinidad debido a los elevados valores de conductividad eléctrica, los recuentos bacterianos se encuentran disminuidos a causa de bajos nivel de materia orgánica según la Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI.

Palabras clave: *Azotobacter*, Bacterias, Biofertilizantes, Número más probable, Parámetros fisicoquímicos, Suelo.



ABSTRACT

Peruvian agriculture is dependent on agrochemical fertilizers, but their indiscriminate use in crops causes negative impacts on public health, and in view of this, the use of bacterial biofertilizers to generate organic crops is proposed. The general objective was: to evaluate the chemical characteristics and the bacteriological count of biofertilizer in soils of four peasant communities in the Puno region. The specific objectives were: to evaluate the chemical parameters pH, electrical conductivity, organic matter and to evaluate the count of biofertilizer bacteria *Azotobacter sp* in soil samples from the Huataquita (Cabanillas - San Román), Faón (Huata - Puno), Mallcusuca (Moho - Moho) and Querarapi (Vilquechico - Huancané) communities. 24 soil samples were evaluated, 6 in each community. The determination of pH and electrical conductivity was achieved by the electrometric method; organic matter by calcination in an oven; the count of *Azotobacter sp* by the plate count method in the Asbhy medium. The results were analyzed using averages, coefficient of variation, analysis of variance and Tukey tests, with a reliability level of 95 %. The average results of the parameters evaluated were: pH 7.03; electrical conductivity of 16.82 dS/m, organic matter of 2.31% and *Azotobacter sp* counts of 3.10×10^4 CFU/g, with a difference between study areas ($P < 0.05$). It is concluded that the soils have a high degree of salinity due to the high values of electrical conductivity, the bacterial counts are decreased due to low levels of organic matter according to the Classification of Lands by their Capacity for Major Use Supreme Decree No. 005-2022-MIDAGRI.

Keywords: *Azotobacter*, Bacteria, Biofertilizers, Most probable number, Physicochemical parameters, Soil.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), el Perú es el segundo país latinoamericano y del Caribe que importa fertilizantes de Rusia, siendo superado solo por Honduras, que en las últimas semanas su producción ha sido mermada a causa del conflicto bélico. Por su parte Rusia desde el mes de octubre del año 2021 disminuyó totalmente las exportaciones de urea por amenazas internas de padecer el riesgo de seguridad alimentaria. En el Perú actualmente hay un déficit de 180 mil toneladas de urea, poniendo en peligro la campaña agrícola 2022 – 2023, que iniciará en el mes de agosto, dicha escases se agudizó y se constituye en uno de los principales problemas que enfrentan muchos países del mundo, que podría afectar a aproximadamente 500 mil agricultores de arroz, maíz, papas y otros cultivos.

En la región Puno, es masiva la adquisición y la aplicación de la urea para la fertilización de los suelos, originando problemas de degradación y salinización de los mismos, disminuyendo la producción de los cultivos. Las comunidades elegidas para el presente estudio fueron Huataquita ubicado en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román, Faón en el distrito de Huata, provincia de Puno, Mallcusuca en el distrito y provincia de Moho y Querarapi en el distrito de Vilquechico, provincia de Huancané, todas ellas presentaron cultivos anteriores de papa, oca, habas, entre otros, que varían año a año tendiendo a la disminución de sus cosechas, producto fundamentalmente debido a las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de sus suelos, para ello se investigó si los factores edafológicos como el pH, la conductividad eléctrica, en contenido de materia orgánica influyen en los recuentos de bacterias *Azotobacter sp.*



Ante ello en algunas provincias de la región Puno diversos estudios como los reportados por Goitia (2014), Llanos (2017), Mamani (2018), entre otras investigaciones, reportaron la presencia de bacterias diazótrofes fijadoras de nitrógeno de vida libre como *Azotobacter spp* y bacterias solubilizadoras de fosfatos como *Bacillus sp*. Estos resultados indicaron la presencia de bacterias biofertilizantes y su potencial aplicación en la producción de los cultivos andinos debido a las bondades ecológicas que otorgan.

Las poblaciones bacterianas del suelo se encuentran dentro de la interacción del desarrollo de las plantas y la calidad del suelo, asegurando la estabilidad y la productividad de los agroecosistemas y ecosistemas naturales. El estudio de bacterias biofertilizantes poseen mucho interés para ser explotadas como una biotecnología de bajo costo e impacto para lograr prácticas agro – tecnológicas sustentables y amigables con el ambiente (Richardson et al., 2009). La calidad de un suelo es aquella propiedad utilizada para sostener la productividad vegetal y animal, que contribuirá con la salud humana y la habitabilidad, y está influenciada por los microorganismos y relacionados con su biodiversidad, por tanto, puede ser considerado como indicador temprano y de mucha sensibilidad de la degradación o empobrecimiento de un suelo (Abril, 2003).

La biodiversidad microbiana de un suelo cumple con los roles del ciclado de nutrientes, regulación de los procesos hidrológicos locales, control del microclima local, detoxificación de sustancias químicas xenobióticas y el control del crecimiento de organismos indeseables. La renovación y los servicios ecosistémicos son influenciados por microorganismos nativos o exógenos del suelo (Altieri, 1994), por lo tanto, la diversidad microbiana del suelo se relaciona con la complejidad de las interacciones entre microorganismos – suelo y microorganismos – plantas (Garbeva et al., 2004).

En tal sentido, ante la carencia de importación de urea desde el extranjero por los



motivos mencionados en los párrafos anteriores, el estudio de los parámetros fisicoquímicos del suelo y la evaluación de los recuentos de bacterias biofertilizantes como *Azotobacter sp* procedentes de los suelos de la región Puno se constituye en una biotecnología microbiana capaz de convertirse en una alternativa ecológica para la obtención de productos libres de agroquímicos y lograr así la seguridad alimentaria, por lo que se otorga valiosa información, que hasta la fecha han sido poco estudiado.

Por tales motivos el estudio tuvo los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las características químicas y el recuento bacteriológico biofertilizante en suelos de cuatro comunidades campesinas de la región Puno.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los parámetros químicos pH, conductividad eléctrica y materia orgánica en muestras de suelo de las comunidades Huataquita (Cabanillas – San Román), Faón (Huata – Puno), Mallcusuca (Moho – Moho) y Querarapi (Vilquechico – Huancané).
- Evaluar el recuento de *Azotobacter sp* como bacteria biofertilizante en muestras de suelo de las comunidades Huataquita (Cabanillas – San Román), Faón (Huata – Puno), Mallcusuca (Moho – Moho) y Querarapi (Vilquechico – Huancané).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Garza y Valdés (2000), en Monterrey (México) encontraron en sus suelos 1263 propágulos de micorrizas con capacidad infecciosa por cada 100 g de suelo, en cuanto a rizobios nodulantes de la leguminosa (*Desmanthus virgatus*) tuvo un recuento de 10^4 NMP/100 g de suelo intacto.

Toro (2005), en La Paz (Bolivia) reporta poblaciones de bacterias en campos de cultivo de banano, con recuentos que variaron entre 2.93×10^5 y 1.91×10^6 UFC/g de suelo, mientras que, en un suelo tradicional los recuentos bacterianos oscilan entre 2.73×10^5 y 2.64×10^6 UFC/g de suelo, atribuyendo la diferencia numérica a la incorporación de fertilizantes en trabajos de mejoramiento de suelos, alterando la presencia de microorganismos.

Calvo et al. (2008), en Huancavelica y Puno (Perú) evaluaron la rizósfera de plantas de papa y las mayores poblaciones de bacterias totales, se dieron debido al factor pH más alcalino en Huancavelica, *Azotobacter spp.* fue influenciadas por el pH y el tipo de fertilización inorgánica, *Bacillus spp.* fueron abundantes en pH neutro, las poblaciones microbianas poseen también influencia de los exudados de las plantas.

Kizilkaya (2009), en Anatolia (Turquía) reporta que las cepas inoculadas en suelo arcilloso, suelo franco y suelo franco arcilloso arenoso por un tiempo de incubación de 8 semanas varió entre 4.78 – 15.91/g, 9.03 – 13.47/g y 6.51 – 16.60/g microorganismos fijadores de N/g de suelo, respectivamente, concluyendo que la mayor fijación de N por



Azotobacter spp se determinó en suelos franco arcillosos arenosos.

Córdova et al. (2009), en Tabasco (México) indican que la densidad bacteriana se reduce a mayor profundidad en los horizontes que presenta el suelo, donde los mayores registros de conteos poblacionales los determinaron entre los 2 y 19 cm de profundidad, pero también se determinaron recuentos de 11×10^2 UFC/g entre los 70 – 110 cm de calado.

Pérez et al. (2011), en Sucre (Colombia) en campos cultivados con la leguminosa *Teramnus volubilis* determinaron una densidad poblacional de *Rhizobium* con recuentos de 22×10^8 UFC/ml en la zona de Pita Abajo, mientras que en la zona de Santa Lucía de determinaron 15×10^8 UFC/ml.

Mau et al. (2011), en Cártago (Costa Rica) reportan que los suelos poseen las siguientes características fisicoquímicas promedio: pH 4.54, acidez 4.5, materia orgánica 13.2 %, carbono orgánico 7.7 %, nitrógeno 0.87 %, fósforo 9 $\mu\text{g/ml}$, zinc 2 $\mu\text{g/ml}$, manganeso 15 $\mu\text{g/ml}$ y hierro 349 $\mu\text{g/ml}$.

Borda et al. (2011), en Puerto López (Colombia) en suelos de cultivo de *Stevia rebaudiana* B., obtuvieron recuentos promedio de 10^9 UFC/g para bacterias heterótrofas totales, 10^7 UFC/g para actinomicetes y 10^6 UFC/g para hongos, observaron un descenso significativo en los recuentos bacterianos luego de 180 días de tratamientos; mientras no hubo cambios en los recuentos de actinomicetes y hongos.

Goitia (2014), en Puno (Perú) al evaluar la carga de bacterias diazotróficas en muestras de suelo cultivado, suelo de “tierra virgen” y en biofertilizante (humus de lombriz) determinó recuentos promedios de 153.33×10^2 NMP/g, 240.00×10^2 NMP/g y 196.67×10^2 NMP/g, respectivamente.



Arguello et al. (2016), en Santander (Colombia) al cuantificar la población de células, reportan valores entre 933, 2,577 y 68,500 NMP/g de suelo entre los más bajos; mientras que entre los más altos valores de células reportan 7'633,333, 17'163,333, 55'833,333 NMP/g de suelo, y los suelos presentaron valores entre 5.32 y 6.48 de pH, de 0.81 a 2.59% de materia orgánica, fósforo de 4 a 6 ppm, potasio entre 52 a 137 ppm, magnesio de 83 a 243 ppm, arcilla entre 8 y 22% y limo entre 16 a 61%.

Marín et al. (2017), en Guantánamo (El Salvador) reportan que los suelos que evaluaron presentan los siguientes promedios de sus características fisicoquímicas de la capa arable del suelo (0 – 20 cm), pH de 6.8 – 6.9, materia orgánica de 2.83 – 3.04%, fósforo de 177 – 216 mg/kg, sodio de 0.50 – 0.56 cmol/kg, potasio de 0.51 – 0.61 cmol/kg, calcio de 35 – 402 cmol/kg y magnesio de 12.5 – 19.0 cmol/kg.

Saldaña (2017), en Nuevo León (México) aisló e identificó cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* y determinaron que los suelos donde habitaron las bacterias presentaron las siguientes características fisicoquímicas promedio: textura migajón arenoso – arcilloso, pH 7.2, humedad 73.3%, nitrógeno total 0.28% y materia orgánica 5.14%.

Beltrán et al. (2017), en Boyacá (Colombia) registran que el recuento de microorganismos fijadores de nitrógeno para la zona revegetalizada fue de 4.38 Log UFC/g de suelo y en la zona sin revegetalización fue de 4.42 Log UFC/g de suelo, no informan la presencia de diferencia estadística significativa entre las zonas estudiadas ($P > 0.05$), al igual que en algunos de los grupos funcionales también evaluados.

Escalante (2018), en Puno (Perú) al evaluar la carga bacteriana de *Azotobacter sp.* en suelos de tres centros poblados del Altiplano de la región Puno, determinó recuentos



promedios de 142×10^4 UFC/g en el centro poblado de Camicachi, 97×10^4 UFC/g en el centro poblado Santa Rosa de Yanaque y de 95×10^4 UFC/g en suelos del centro poblado Jayllihuaya.

Culchac et al. (2021), en Nariño (Colombia) reportan que la pastura tradicional tuvo la mayor densidad de bacterias oxidadoras de amonio (BOA) entre los 0 – 10 cm de profundidad con 8.8×10^4 UFC/g, mientras que en el bosque la densidad fue de 1.3×10^3 UFC/g, esto se debería a que a los primeros 5 cm del suelo se ubica la capa biológicamente más activa, las mayores densidades estarían relacionadas con las reincorporaciones del estiércol, fertilizantes orgánicos y orina de los animales, ya que poseen un sustrato ureico que viene a ser un promotor del crecimiento microbiano.

Guevara (2022), en Virú y Bagua en La Libertad (Perú) registró poblaciones de bacterias diazótroficas en cultivos que variaron entre <1.8 NMP/g y 1100 NMP/g de suelo, donde la rizósfera del *Theobroma cacao* (cacao) y *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) tuvieron los mayores recuentos con 31418.3 NMP/g suelo y 568.3 NMP/g de suelo, respectivamente, seguido de la rizósfera de *Coffea arabica* (café) con 568 NMP/g y *Asparagus officinalis* (espárrago) con 260.9 NMP/g de suelo.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Caracterización química de los suelos

Propiedades del suelo que afectan su composición química, entre las cuales podemos mencionar: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) (López y Estrada, 2015).

a. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Capacidad de retención de cationes de las cargas negativas presentes en el suelo (FAO, 2015). Esta propiedad determina la disponibilidad y cantidad de nutrientes para la planta, los suelos arenosos y con poca materia orgánica tienen una baja CIC (López y Estrada, 2015).

b. Conductividad eléctrica (CE)

Tabla 1

Clasificación de la salinidad de suelo según el tipo de conductividad eléctrica.

Clasificación	CEe (dS/m)	CE del extracto 1:2 (dS/m)
No salino. No afecta los cultivos.	0 - 2	< 0.4
Ligeramente salino. Puede disminuir el rendimiento de cultivos sensibles.	2 - 4	0.4 – 1.6
Moderadamente salino. Puede disminuir el rendimiento de muchos cultivos.	4 - 8	1.6 – 2.4
Salino. Sólo cultivos tolerantes tendrán rendimiento satisfactorio.	8 - 16	2.4 – 3.2
Extremadamente salino. Sólo cultivos muy tolerantes tendrán rendimiento satisfactorio.	> 16	> 3.2

Fuente: Cropaia (2024).

Viene a ser la capacidad que tiene un suelo de conducir corriente eléctrica y dependerá del contenido de sales disueltas o ionizadas en la solución del suelo, a mayor CE mayor contenido de sales (López y Estrada, 2015). En los sustratos, un adecuado nivel de CE varía entre 1 a 2 dS/m, por lo que se recomienda usar agua con disminuida concentración de sales, y así evitar problemas en los suelos (Warnecke y Krauskopg, 1983).



c. pH

Se refiere a la capacidad que posee un suelo de absorber iones (+) desde las partículas presentes en un suelo, indicando acidez o alcalinidad. Esta propiedad determina la disponibilidad, movilidad, solubilidad y absorción de nutrientes para las plantas (FAO, 2015). En la agricultura, el valor de pH ideal es de 6.5, ya que en suelos ácidos ($\text{pH} < 6$) la actividad biológica se reduce (López y Estrada, 2015).

Los suelos ácidos se caracterizan por presentar una baja disposición de calcio y fosfatos, de manera contraria con las formas solubles de manganeso (Mn), aluminio (Al) y hierro (Fe), que en altas concentraciones limitan el crecimiento vegetal. Asimismo, esta condición del pH afecta la resistencia o susceptibilidad de las plantas a una enfermedad (Owen, 1995).

Una enmienda común para suelos ácidos es la cal agrícola, la cual puede tardar hasta 6 meses para interactuar y aumentar el pH del suelo (Warnecke y Krauskopf, 1983). Por otro lado, la alcalinidad del suelo impide solubilizar microelementos para que la raíz pueda absorberlos y aprovecharlos (Owen, 1995) y por otro lado, disminuir las cifras de pH del suelo es más difícil que elevarlo (Warnecke y Krauskopf, 1983).

Tabla 2

Tipos de suelo, según los valores de pH obtenidos.

pH	Tipo	Observaciones
Menor a 5.5	Muy ácido.	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, dificultad de retención de muchos nutrientes.
5.5 – 6.5	Ácido.	Intervalo óptimo para los cultivos.
6.5 – 7.5	Neutro o cercano a la neutralidad.	
7.5 – 8.5	Básico.	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, posible aparición de clorosis férrica.
Mayor a 8.5	Muy básico.	

Fuente: Garrido (1993).

d. Materia orgánica (MO)

Se refiere al conjunto de residuos animales y vegetales presentes en un suelo, según su grado de descomposición, la MO puede ser lábil, aquella materia que digerida rápidamente por los microorganismos y MO humus o recalcitrante que está conformada por los ácidos fúlvicos, húmicos y huminas. Esta propiedad del suelo inhibe la lixiviación de nutrientes, regula el pH del suelo e integra los ácidos orgánicos que favorecen la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas (FAO, 2015). Marín et al. (2017) demostraron que la adición de materia orgánica en un suelo andosol logra cuadruplicar el contenido de calcio y magnesio, y disminuye el pH.



2.2.2 Caracterización física de los suelos

a. Textura

Es aquella proporción relativa de los componentes o separados que posee un suelo como los son la arcilla, la arena y el limo, que posean un diámetro menor de 2 mm. Es una característica muy importante porque es relativamente estable, cambia muy poco con el tiempo e influye en el uso de suelo (Fertilab, 2023), principalmente en:

- Movimiento del aire y el agua.
- Manejo (retención de agua, preparación de suelo y la frecuencia de irrigación).
- Fertilización (contenido de bases y aluminio intercambiable).
- Determinar la génesis del suelo (horizonte argílico) (Fertilab, 2023).

Las arenas tienen mayor tamaño y por lo tanto un área (superficie) muy baja. En cambio, los limos poseen un menor tamaño que los anteriores, pero poseen mayor superficie. En tanto que las arcillas son los separados, pero de menor tamaño, motivo por el cual poseen la mayor superficie. Al incrementarse las arcillas se aumentan el área superficial, el almacenamiento de agua, el calor de humedecimiento, la plasticidad, la dilatación y encogimiento y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Fertilab, 2023).

Las arenas en los suelos son de mucha importancia, no solo porque son las más gruesas, o que tengan menor superficie y retención mayor cantidad de agua, sino porque gracias a dichas características, los suelos con arenas poseen mejor

aireación, infiltración, conductividad hidráulica y penetración de raíces. La textura influye en la infiltración, así como también en el estado de humedad del suelo, la estructura, la formación de costras y capas impermeables (Fertilab, 2023).

Tabla 3

Relación entre la textura y la tasa de la infiltración.

Tipo de suelo	Textura	Tasa final de infiltración (mm/hr)
Arenas	Arenosos y francos arenosos.	20
Arenosos	Arenoso franco, arenoso arcilloso, franco arcillo – arenoso, arcillo – arenoso.	10 – 20
Francos	Franco, franco limoso, limoso.	5 – 10
Arcillosos	Arcilloso, franco arcilloso, arcillo limoso, franco arcillo – limoso.	1 – 5

Fuente: Fertilab (2023).

b. Estructura

También llamados como agregados, se constituyen el arreglo o la combinación de partículas del suelo en unidades secundarias. Es una característica muy importante, porque es relativamente inestable, puede cambiar e influye en el uso del suelo (Fertilab, 2023), principalmente en:

- Movimiento del agua y el aire.
- Manejo (retención de agua, preparación del suelo y la frecuencia de irrigación).
- Distribución de las estructuras radiculares.



- Se usa en la clasificación del suelo (Fertilab, 2023).

c. Consistencia

Se define como las fuerzas físicas de adhesión y cohesión que interactúan en un suelo a diversa humedad, su importancia radica en que determina la humedad del suelo, mientras que un suelo seco posee características de ser blando, duro, suave, muy duro o cementado, en tanto que un suelo húmedo sería muy friable, viable o bien poco friable. Y un suelo muy húmedo (por encima de la capacidad de campo) puede ser con relación a la plasticidad: poco plástico, plástico y muy plástico, y en cuanto a la pegajosidad: poco pegajoso, pegajoso y muy pegajoso (Fertilab, 2023).

La consistencia es un parámetro controlado por los siguientes factores:

- Contenido de arcilla.
- Tipo de arcilla.
- Naturaleza de los cationes intercambiables.
- Contenido de la materia orgánica (Fertilab, 2023).

d. Drenaje de los suelos

Esta característica tiene la importancia en el proceso de la preparación del suelo, después en la germinación de las semillas y en el desarrollo de los cultivos. Al preparar suelos encharcados se rompe la estructura, causa encharcamiento y formación de costras (Fertilab, 2023). Existe dos tipos de drenaje y son los siguientes:



- Drenaje externo: éste remueve el agua de forma de flujo y se ubica en la superficie del suelo.
- Drenaje interno: es aquella propiedad del suelo que logra el movimiento del exceso de agua que traspasará los perfiles. Es determinado por la textura, la estructura, la permeabilidad, las capas impermeables en el subsuelo, la altura del nivel freático y el clima (Fertilab, 2023).

El contenido de oxígeno y el crecimiento con posterior penetración de las raíces al suelo se encuentra influenciadas por la densidad aparente. Los suelos arenosos tienen una densidad aparente de 1.75 g/cm^3 , los suelos arcillosos presentan densidades aparentes entre 1.46 y 1.63 g/cm^3 , estas cifras restringen la penetración de las raíces. Existe una alta interacción entre la aireación y el impedimento mecánico en la elongación de la raíz; a bajas presiones, donde el impedimento es bajo, la concentración del oxígeno determina el desarrollo radicular; las raíces no se elongan en suelos con alto impedimento a cualquier concentración de oxígeno, y a un nivel de oxígeno dado, la elongación radicular decrece logarítmicamente con el incremento del impedimento mecánico (Bauer et al., 1972).

2.2.3 Factores que influyen en la disponibilidad de los nutrientes

Aunque el suelo sea fértil, si no hay agua, los nutrientes no están disponibles (Owen, 1995). El pH del suelo es otro parámetro fundamental que está relacionada con la solubilidad de los nutrientes debido a la actividad microbiana (Buckman y Brady, 1976). La disponibilidad del N pareciera depender de las actividades microbianas y de la movilidad del magnesio y calcio, pero que entre



pH entre 6 y 7, la disponibilidad del fósforo es restringida. El rango amplio de K y S está en contraste notorio con el fósforo. Además, es evidente que el suelo debe ser ácido (pH 6) para que los micronutrientes estén disponibles (Owen, 1995).

a. Efecto del pH del suelo

El efecto dañino de la alta acidez o bajo pH es debido a efectos secundarios, con excepción de casos extremos, ya que las raíces de las plantas son heridas en una solución ácida de pH 3 (Russell, 1969). Los efectos secundarios de la alta acidez en los suelos son los bajos contenidos disponibles de Ca, fosfatos y molibdatos, y el exceso de Al, Mn y Fe soluble; además, puede afectar la resistencia o susceptibilidad de las plantas a una enfermedad y restringe la población microbiana (Owen, 1995).

La alcalinidad origina un efecto dañino debido a la presencia de iones hidróxidos, y tiene relación con la absorción de hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y fosfato, debido a que, a dichos pH, los nutrientes se encuentran de forma insolubles, incapaces de estar disponibles para la absorción por parte de las raíces de las plantas. La raíz no puede absorber P a un pH 9 (Russell, 1969).

La palma de aceite es susceptible a suelos salinos, la conductividad eléctrica debe ser menor de 1 mmho/cm y es susceptible a suelos sódicos y salino sódicos, tolera únicamente hasta el 7 % de saturación de Na (Yin y Basketanda, 1987).

b. Efecto de la capacidad de intercambio catiónico

La CIC, se refiere a las cargas eléctricas negativas de los coloides presentes en el suelo, representados por la arcilla y la materia orgánica, y de vital importancia ya que determina la capacidad de taponización del suelo y la retención de los cationes, reduciendo su lixiviación. A mayor contenido de estos componentes habrá más capacidad de intercambio catiónico, o sea un suelo con el 19.70 % de materia orgánica tendrá mayor CIC que un suelo con 2.68 %, y un suelo franco tendrá más que un suelo arenoso (Owen, 1995).

Tabla 4

Efecto del contenido de materia orgánica y arcillas en la CIC de los suelos palmeros.

Subregión	% MO	Textura	pH	CICe (me/100 g)
	2.63	Franco	4.8	4.21
Colinas onduladas	19.70	Franco	4.8	8.18
	2.87	Franco	4.4	4.51
Puerto Wilches	2.87	Arenoso	4.6	2.73

Fuente: Owen (1995).

Esto muestra la importancia de conservar y aumentar la materia orgánica, lo cual se logra con una buena cobertura de leguminosas rastreras correctamente inoculadas y fertilizadas, haciendo paleras con las hojas podadas y con el retorno de los racimos vacíos (raquis) al campo (Owen, 1995). La materia orgánica posee efectos sobre en las propiedades del suelo, entre ellas se citan:

- Color del suelo sea negro o marrón.
- Contribuye a la granulación.



- Disminuye la cohesión y la plasticidad.
- Aumenta la retención de agua.
- Otorga y dispone de los nutrientes, los cationes intercambiables, ya que el nitrógeno, el fósforo, el azufre y otros micronutrientes se encuentran justamente en la materia orgánica.
- Extracción de nutrientes de los minerales por el ácido húmico (meteorización) (Owen, 1995).

2.2.4 Biofertilizantes en los campos de cultivo

El término biofertilizante hace referencia a sustancias que contienen microorganismos vivos involucrados en varias actividades del suelo (Nagananda et al., 2010), los cuales, al ser aplicados a semillas, plantas o suelos, colonizan la rizosfera o el interior de las plantas (Vessey, 2004) y dan lugar a un mejor rendimiento de los cultivos, el término biofertilizante, no obstante, es una palabra que aún genera confusión, ya que fácilmente se identifica con extractos de plantas, residuos urbanos compostados, mezclas microbianas con constituyentes indefinidos y formulaciones de fertilizantes químicos suplementados con compuestos orgánicos (Boraste et al., 2009).

En términos generales, los microorganismos que se emplean para la producción de biofertilizantes pueden agruparse de la siguiente forma: fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, potasio y hierro o productores de sideróforos (Jasim et al., 2013). Seguidamente, se caracteriza cada grupo:



El nitrógeno se constituye en un elemento fundamental en la estructura de la conformación de aminoácidos, proteínas entre otras estructuras. Corresponde casi al 80% de los gases presentes en la atmósfera (Nagananda et al., 2010). Permanece de manera casi inerte gracias a que posee en su estructura un triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, lo cual impide su aprovechamiento por la mayoría de seres vivos (Habibi et al., 2014). Para que las plantas puedan asimilar el nitrógeno molecular (N_2), debe romperse primero el enlace más estable que posee la estructura entre los dos átomos de nitrógeno, de forma que este pueda irse incorporando ya convertido en una molécula menos fuerte (Lara et al., 2007).

Esta acción puede ser realizada por algunos microorganismos como *Acinetobacter calcoaceticus*, *Micrococcus sp.*, *Bacillus licheniformis*, *Brevibacillus brevis* (Jha y Saraf 2012) y *Anabaena sp.*, los cuales lo reducen y luego lo fijan en formas más asimilables para las plantas, como los iones de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-), los biofertilizantes a base de microorganismos fijadores de nitrógeno son de los más populares de este tipo, no solamente por la importancia de este elemento en las células vegetales, sino por la amplia variedad taxonómica de los microorganismos que lo fijan, con diferentes estilos de vida y de asociación con diversas especies de plantas (en la superficie de tejidos foliares o radiculares) (Walia et al. 2013).

Además, se ha encontrado que la fijación de nitrógeno presenta tasas más altas en la superficie de la raíz que en el suelo de la rizosfera, pues en la primera se obtienen rendimientos de hasta 30 g/l para microorganismos como *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter beijerinckii* y *Azotobacter vinelandii*, este fenómeno posiblemente se deba a la cantidad y la calidad de los derivados de carbono y las



sustancias promotoras provenientes de la raíz, que favorecen el aumento de la biomasa microbiana fijadora de nitrógeno (Ravikumar et al., 2004).

Microorganismos del género *Azotobacter sp*, *Azospirillum sp* (Salantur et al., 2006) y *Rhizobium sp*. (Tan et al., 2014) han demostrado tener gran potencial para ser empleados como biofertilizantes, pues son altamente ubicuos y comúnmente hallados en aislamiento de diversas muestras de suelo (Aseri et al., 2008). Esto evidencia que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y los rizobios juegan roles de vital importancia en la matriz del suelo, pues por poseer enzimas para fijar nitrógeno son capaces de abastecer de este elemento a diversos cultivos (Tan et al., 2014). En el caso de *Azospirillum brasilense* se han encontrado los siguientes beneficios: incrementos mayores al 18% en la biomasa total de las plantas (Salantur et al., 2006), estímulo del crecimiento de hasta el 72 % en los brotes de plantas (Vootla y Pindi, 2014) y aumento en más del 50 % en el área foliar (Aseri et al., 2008).

2.2.5 *Azotobacter sp*

Azotobacter es una bacteria no patógena, Gram negativa, tiene la capacidad de biosintetizar en condiciones aerobias polímeros biodegradables como los polihidroxicanoatos y alginatos, respectivamente, con mucho interés en el campo industrial. Finalmente, es necesario estudiar nuevas estrategias para controlar la variabilidad del grado de acetilación y peso molecular para los polímeros de alginato y mejorar la producción de polihidroxicanoatos con la finalidad de promover nuevas futuras aplicaciones en la industria (Huamán et al., 2021).



A la fecha han sido identificadas 7 especies del género *Azotobacter*, un grupo de bacterias Gram negativas, no patógenas, estrictamente aerobias con una gran habilidad de fijar nitrógeno en el suelo y sintetizar sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas tales como hormonas, vitaminas, aminoácidos y N_2 (Sumbul et al., 2020). No obstante, cada una de estas especies tienen características particulares de crecimiento que las diferencian, así como también en algunos casos difieren en la producción de algunos metabolitos (Tabla 5).

Si bien este grupo de especies es estrictamente aerobio, bajo condiciones de estrés o condiciones ambientales desfavorables (baja concentración de oxígeno) tienen la capacidad de formar quistes para entrar en un estado de reposo o inactividad (Gauri et al., 2012). Este tipo de microorganismos posee la capacidad de crear barreras defensivas con la finalidad de generar metabolitos extra e intracelulares entre ellas los alginatos y los polihidroxialcanoatos, y alginatos (Patil et al., 2020).

Tabla 5

Características morfológicas básicas del género Azotobacter.

Características	Especies de <i>Azotobacter</i>						
	<i>Azotobacter chroococcum</i>	<i>Azotobacter vinelandii</i>	<i>Azotobacter beijerinckii</i>	<i>Azotobacter paspali</i>	<i>Azotobacter armeniacus</i>	<i>Azotobacter nigricans</i>	<i>Azotobacter salinestri</i>
Tamaño de célula	3.0 – 7.0 µm	3.0 – 4.5 µm	3.2 – 5.3 µm	7.0 – 11.0 µm	5.0 – 5.7 µm	4.1 – 4.9 µm	2.0 – 4.0 µm
Condiciones normales de crecimiento	T°: 15 - 30 °C pH: 7 – 7.4	T°: 20 - 30 °C pH: 7 – 8.5	T°: 10 - 30 °C pH: 4,9 – 5.5	T°: 15 - 37 °C pH: 6.0 – 7.5	T°: 28 - 37 °C pH: 6.0 – 7.5	T°: 9 - 37 °C pH: 6.0 – 7.5	T°: 15 - 35 °C pH: 6.0 – 7.5
Metabolitos producidos bajo condiciones normales de crecimiento	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ NH ₃	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ N ₂ NH ₄	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ NH ₃	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ Ácido indolacético.	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ NH ₃	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ NH ₃	Aminoácidos Vitamina B2 y B3 CO ₂ NH ₃
Biopolímeros producidos bajo condiciones controladas	PHA AG	PHA AG	PHA AG	PHA AG	PHA AG	PHA AG	PHA AG
Fuente	Patil et al. (2020)	Chennappa et al. (2019)	Blunt et al. (2018)	Saranraj y Sivasakthivelan (2017)	Patil et al. (2020)	Patil et al. (2020)	Patil et al. (2020)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en cuatro provincias de la región Puno, entre ellas la comunidad de Huataquita del distrito de Cabanillas, provincia de San Román, comunidad de Faón del distrito de Huata, provincia de Puno, la comunidad de Mallcusuca del distrito y provincia de Moho y la comunidad de Querarapi del distrito de Vilquechico, provincia de Huancané, los cuales presentaron campos de cultivo de papa, oca, habas entre otros en la campaña agrícola 2022-2023. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Microbiología Clínica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

3.2 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación desarrollado fue observacional, en razón de que no se controló ninguna variable de investigación, sino que se observó e interpretó los resultados para llegar a una conclusión.

El trabajo de investigación fue del tipo descriptivo - comparativo, en razón de que se describió tanto los parámetros fisicoquímicos de los suelos y los recuentos bacterianos de *Azotobacter sp* que se determinaron en suelos de cuatro comunidades de la región Puno. Asimismo, fue comparativa en razón de que tanto los parámetros fisicoquímicos y bacterianos de los suelos fueron contrastados entre las cuatro comunidades de la región Puno.

3.3 POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

Al realizar un trabajo de investigación de tipo descriptivo – comparativo y de diseño no experimental, el cálculo del tamaño de muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. A partir de una población infinita de suelo, para el estudio se consideró un tamaño de muestra de 24 muestras de suelo con un peso de 1 Kg cada uno, estas fueron evaluadas mensualmente en 8 muestras, mientras tanto que por comunidad se realizó el análisis de 6 muestras (Tabla 1).

Tabla 6

Distribución de la colecta de muestras de tierra en cuatro comunidades.

Meses de muestreo	Comunidades				Total
	Huataquita	Faón	Mallcusuca	Querarapi	
Julio	2	2	2	2	8
Agosto	2	2	2	2	8
Setiembre	2	2	2	2	8
Total	6	6	6	6	24

Fuente: elaboración propia.

3.4 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES DE LA REGIÓN PUNO

3.4.1 Recolección de muestras de tierra

Las muestras de tierra de los campos de cultivo de cada comunidad, fueron delimitados en un área de 100 m², los tres puntos de muestreo elegidos al azar y colectadas a profundidades entre 10 cm y 15 cm con la ayuda de un pico y una pala, posteriormente fueron colocadas en bolsas de cierre hermético nuevas (Zifloc) y debidamente rotuladas, luego dispuestas en una caja de tecnopor con



bolsas de hielo para mantenerlas a una temperatura de refrigeración (4 °C) (Zúñiga, 2010), hasta su procesamiento en el Laboratorio de Microbiología Clínica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UNA Puno, el cual cuenta con equipos para realizar esterilización de material, cultivos microbianos y una mufla u horno para la determinación de materia orgánica.

3.4.2 Determinación de los parámetros fisicoquímicos en suelos

a. Determinación del pH

- **Método.** Electrométrico.
- **Fundamento.** Los valores de pH en los suelos indica acidez o alcalinidad, este valor afecta la disponibilidad de los nutrientes, controla varias actividades químicas y biológicas que suceden en el suelo y poseen una indirecta influencia en el desarrollo vegetal (González, 2018).
- **Procedimiento.** Se pesaron 20 g de suelo seco y tamizado en un vaso de extracción de 100 ml de agua destilada, se agitó vigorosamente durante 30 minutos, con el pHmetro calibrado previamente con las soluciones de pH 4.00, 7.00 y 10.00, se introdujo el electrodo en la muestra y se procedió a realizar la lectura de pH (González, 2018).

b. Determinación de la conductividad eléctrica en muestras de tierra

- **Método.** Electrométrico.
- **Fundamento.** La conductividad eléctrica es una valoración indirecta de la cantidad de sales que posee un suelo, sus valores se presentan en milimhos/cm o dS/cm y también en micromhos/cm. Los suelos con



elevadas conductividades eléctricas impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen asimismo una elevada cantidad de sales (Hanna Instruments, 2022).

- **Procedimiento.** Se pesaron 20 g de muestra, se añadieron 100 ml de agua a temperatura 20 °C (+/- 1 °C). Se agitó por 30 minutos, se filtró a través de papel de filtro, se midió con la sonda del conductímetro, para ello la muestra debió estar mantenida en agitación constante, lo suficiente para producir y mantener la suspensión (Hanna Instruments, 2022).
- c. **Determinación del porcentaje de materia orgánica en muestras de tierra**
- **Método.** Por calcinación.
 - **Fundamento.** La materia orgánica está expresada en porcentaje, representa la cantidad de restos orgánicos y elevan el contenido en nutrientes del suelo, posee una elevada capacidad de intercambio catiónico, para retener cationes en el suelo y favorece la microestructura del suelo, e indica la presencia de erosión de los suelos (Izquierdo y Arévalo, 2021).
 - **Procedimiento.** Se pesó 5 g de tierra que fueron depositados en crisoles de porcelana taradas, posteriormente se secaron por 24 horas en el horno a una temperatura de 105 °C. Transcurrido 24 horas las muestras se enfriaron en un desecador de vidrio y se obtuvo el peso inicial en una balanza analítica digital. Luego se introdujo en la mufla para calcinación a una temperatura de 360 °C por 2 horas, nuevamente se enfrió en un desecador de vidrio y se pesó la muestra en la balanza analítica digital. La

materia orgánica contenida en la muestra se determinó por diferencia entre los pesos iniciales y finales, los datos se reemplazaron en la siguiente ecuación matemática (Izquierdo y Arévalo, 2021):

$$\% \text{ MOS} = \frac{\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C} - \text{Peso a } 360^{\circ}\text{C}}{\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C}} * 100$$

Donde: % MOS = porcentaje de materia seca del suelo; °C = grados centígrados.

d. **Análisis bioestadístico de datos**

Los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados en las muestras de suelos (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica), fueron evaluados mediante pruebas de tendencia central como promedio y coeficiente de variabilidad. Para comparar los parámetros evaluados entre comunidades se realizaron pruebas de análisis de varianza y pruebas de Tukey. Los análisis se realizaron con un 95 % de confiabilidad y un margen de error del 5 % en el software estadístico libre INFOSTAT versión libre.

3.5 **EVALUACIÓN DEL RECuento DE *Azotobacter sp* EN MUESTRAS DE SUELO DE CUATRO COMUNIDADES DE LA REGIÓN PUNO**

Para el recuento de las bacterias *Azotobacter sp* se consideró el método recomendado por Culchac et al. (2021), el cual constó de los siguientes procedimientos:

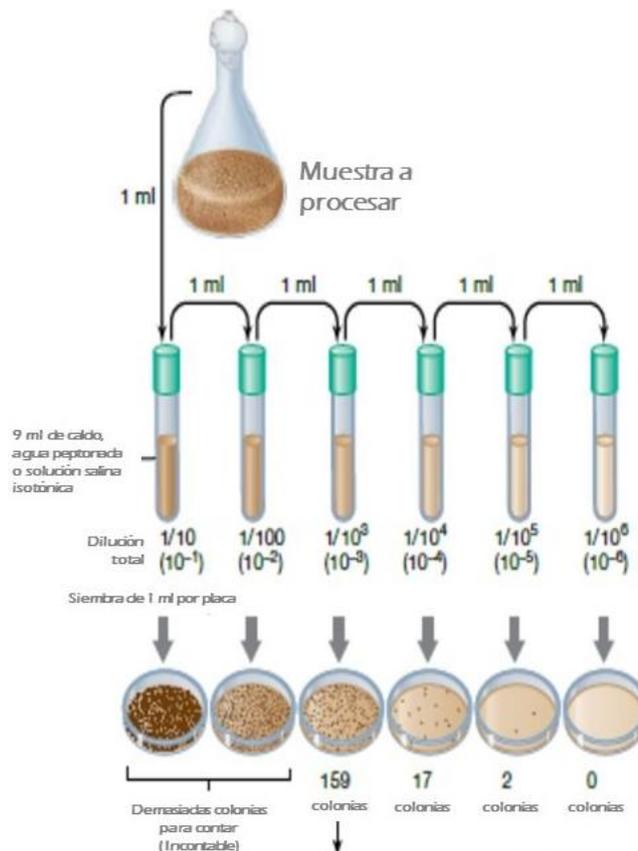
- **Método.** Recuento en placa (UFC/g).
- **Fundamento.** El recuento en placa es un método ampliamente utilizado para determinar la densidad de células viables en una muestra, basado en

la formación de colonias visibles en un medio de cultivo sólido

- **Procedimiento.** Se realizaron los siguientes procedimientos:

Figura 1

*Esquema del procedimiento realizado para determinar el recuento de *Azotobacter* sp en suelos.*



Fuente: Madigan et al. (2019).

Se tomaron 10 g de suelo de la rizosfera, se transfirió a un matraz con 90 ml de solución salina 0.85 %, a continuación, se agitó vigorosamente.

Se colocó 1 ml de las diluciones 10^{-2} hasta la 10^{-4} en tubos para colocar 1 ml de cada dilución en placas que contenían agar mineral sin nitrógeno, llamado



también agar Ashby, el cual contenía: K_2HPO_4 0.635 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g, NaCl 0.02 g, Cl_3Fe 0.1 % en solución 3.4 g, $NaMoO_4 \cdot H_2O$ 0.0108 g, KH_2PO_4 0.15 g, manitol 10 g, agar 15 g, sacarosa 10 g y azul de bromotimol solución al 0.5 % en etanol de 70 % 5 ml, todo ello a pH 7.

Se incubó a 28 °C por 7 a 10 días.

Se realizó el conteo de colonias amarillas con halos del mismo color en cada placa, el conteo se expresó en UFC/g. El cálculo en UFC/g de *Azotobacter sp* en suelos se realizará mediante la siguiente ecuación matemática:

$$\text{Recuento bacterias} \left(\frac{UFC}{g} \right) = \# \text{ de colonias/placa} \times \text{Factor de dilución}$$

La identificación de la especie de *Azotobacter sp* no es posible mediante pruebas bioquímicas, pero para asegurar que las colonias pertenecen al género *Azotobacter*, se realizaron los cultivos de las muestras en agar Ashby, que al no poseer fuente de nitrógeno (peptona), solo crecerán bacterias con capacidad de fijarlas. Por otro lado, también afirmar que son *Azotobacter* se realizaron la tinción de Gram donde presentaron una coloración negativa, con presencia de cocos y bacilos grandes (pleomórficos), individuos celulares individuales o también en pares o cadenas cortas (Valenzuela, 2003).

A continuación, se realizó la prueba de la catalasa quien cataliza la ruptura del agua oxigenada, liberando oxígeno al ambiente (Valenzuela, 2003), siendo *Azotobacter* catalasa positivo, su determinación se realizó sobre una lámina portaobjeto y se depositó un inóculo de las colonias a examinar, sobre ella se agregó una gota de agua oxigenada, siendo positiva ante la existencia de burbujas.



Otro procedimiento bioquímico realizado fue la prueba de la oxidasa, donde a partir de cultivos puros bacterianos, se tomaron colonias con el asa bacteriológica, para luego ser dispuestas sobre tiras reactivas conteniendo el reactivo de oxidasa, se esperó entre 10 a 30 segundos y si en caso se presentó un viraje a una coloración púrpura oscuro o azul la prueba fue considerada positiva a oxidasa lo cual indica la presencia de la enzima citocromo c oxidasa (Madigan et al, 2019).

Con estas pruebas se determinó si la bacteria corresponde al *Azotobacter*, pero no se llegó a especie en razón de que es muy compleja y la mayoría de autores recomiendan realizar un estudio molecular para su identificación de especie.

- **Análisis estadístico**

Los recuentos bacterianos de *Azotobacter sp* en muestras de suelos (UFC/g de suelo), fueron evaluados mediante pruebas de tendencia central como promedio y coeficiente de variabilidad. Para comparar los recuentos bacterianos entre las comunidades se realizaron pruebas de análisis de varianza y pruebas de Tukey. Los análisis se realizaron con un 95 % de confiabilidad y un margen de error del 5 %, en el software estadístico libre INFOSTAT versión libre.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PARÁMETROS QUÍMICOS pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES

4.1.1 pH en suelos

Tabla 7

Valores de pH de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región

Puno.

Repeticiones	Valores de pH			
	Mallcusuca (Moho)	Faón (Puno)	Querarapi (Huancané)	Huataquita (San Román)
1	7.00	8.10	7.00	7.30
2	6.40	7.90	6.50	7.20
3	6.50	7.90	6.10	7.10
4	7.20	7.00	6.50	7.30
5	6.80	7.40	7.00	7.20
6	6.50	7.50	6.20	7.10
Prom	6.73	7.63	6.55	7.20
CV (%)	4.76	5.35	5.85	1.24

Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, pH: más ácido: ≤ 6.0 ;

ligeramente ácido: 6.1 – 6.5; Neutro: 6.6 – 7.3; ligeramente alcalino:

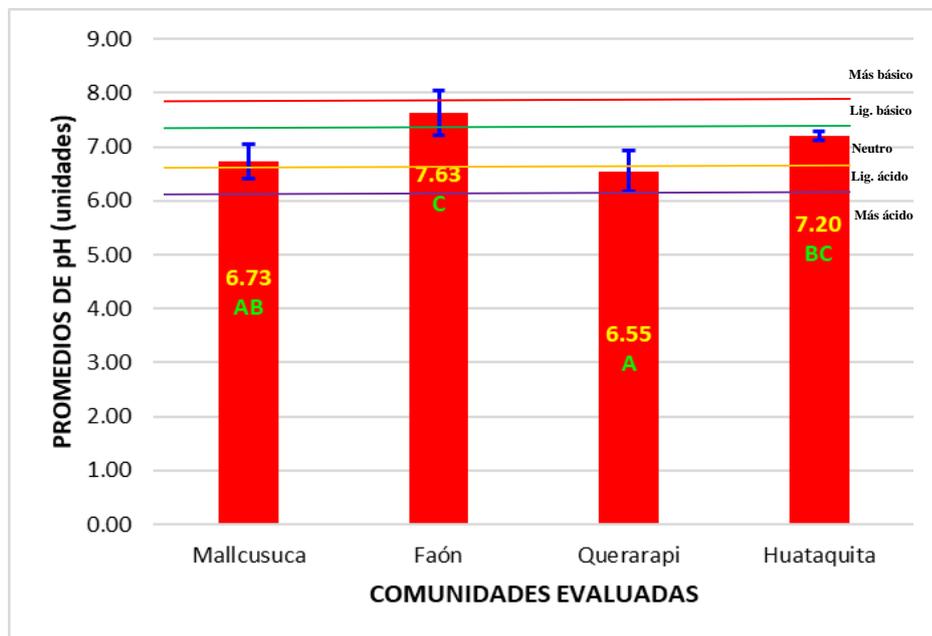
7.4 – 7.8; más básico: ≥ 7.9

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se visualiza los valores del pH en suelos de comunidades de cuatro provincias de la región Puno, en la comunidad de Mallcusuca el promedio fue de 6.73, con cifras que variaron entre 6.40 y 7.20; en Faón el promedio fue de 7.63, con una oscilación entre 7.00 y 8.10; por otro lado, en Querarapi el promedio fue 6.55 con valores entre 6.10 y 7.00; y en Huataquita se determinó un promedio de 7.20 con una fluctuación entre 7.10 y 7.30. Los coeficientes de variación estuvieron en un rango entre 1.24 % en la comunidad de Huataquita y 5.85 % en la comunidad de Querarapi, lo cual indica que todos los resultados obtenidos de pH en las cuatro comunidades, poseen una dispersión baja respecto de su promedio.

Figura 2

Valores de pH en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Luego analizar los datos de los valores de pH de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno mediante la prueba de análisis de varianza,



se determinó que si existió diferencia estadística significativa ($F=13.41$; $gl=3$; p -valor=0.0001) y según la prueba de Tukey los valores mayores de pH se determinaron en Faón - Puno y el menor valor en Querarapi – Huancané (Figura 2).

Por otra parte, al contrastar los promedios de los valores de pH de las muestras de suelo, con la norma legal de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, se afirma que los suelos de las comunidades Mallcusuca (6.73) y Huataquita (7.2) presentaron un pH neutro, mientras tanto las muestras de la comunidad Faón presentaron un pH ligeramente básico (7.63) y las muestras de la comunidad de Querarapi, presentaron un pH ligeramente ácido (6.55).

Es probable que el suelo de la comunidad de Faón posea una alta fertilidad ya que presentó un pH ligeramente básico, tal como lo reportan Calvo et al. (2008), quienes evaluaron suelos de Puno (Perú) que presentaron pH ligeramente ácidos (6.25 ± 0.13) pero con las mayores poblaciones bacterianas, por tanto estimularía un mejor crecimiento de *Azotobacter spp*, respecto a los suelos de Huancavelica con $pH 5.8 \pm 0.28$ y recuentos bacterianos inferiores a los de Puno; por otro lado 2 suelos presentaron pH neutro, según los autores revisados influiría la presencia de *Bacillus spp* ya que abundan a pH neutro, aparte de todo ello, las bacterias también son influenciadas por los exudados que libreas las raíces de las plantas.

En contraste, Mau et al. (2011), en Cártago (Costa Rica) reportan que los suelos que evaluaron poseen un pH promedio de pH 4.54, Arguello et al. (2016), en Santander (Colombia) reportan en suelos con valores de pH de 5.32 a 6.48 siendo inferior a los registrados en la investigación presente.



Por otro lado, los valores de la investigación fueron similares a los de Marín et al. (2017), quienes en Guantánamo (El Salvador) mencionaron que los suelos (0 – 20 cm) presentaron valores de pH de 6.8 – 6.9; de similar forma a Saldaña (2017), quién en Nuevo León (México) identificó cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* presentaron cifras de pH 7.2.

En la comunidad de Faón, el valor de pH resultó con el mayor promedio (7.63) y se clasificó como ligeramente básico o alcalino, en estos suelos, se originaría una importante disminución de la disponibilidad de nutrientes entre ellos los elementos calcio, nitrógeno, magnesio, manganeso, zinc y cobre, pero que a pesar de ello se cultiva con toda normalidad, debiéndose probablemente a la textura gruesa que posee el suelo y una alta permeabilidad es posible que no se acumulen (Orsag et al., 2013).

La determinación del pH del suelo influye de manera indirecta sobre la disponibilidad de nutrientes, los procesos químicos, los procesos biológicos y sobre la actividad microbiana. Los valores de pH en la investigación variaron entre 6.55 y 7.63, y se encuentran dentro de los rangos de pH de los suelos, que podrían variar de 3.5 a 9, no llegando a los extremos ácidos ni alcalinos, debido a que un suelo no es una solución verdadera sino se constituye una solución coloidal. En el presente estudio, los valores de pH al encontrarse entre 5 y 7.5, vendrían favoreciendo a los cultivos, pero cada especie necesita sus propios requerimientos, los suelos muy ácidos son perjudiciales debido a que se origina toxicidad por aluminio, consecuentemente disminuiría la actividad microbiana. De manera contraria, al ser muy alcalina se presentaría una escasa disponibilidad de elementos menores; con excepción de molibdeno, zinc, hierro, fosforo y

manganeso, quienes son dependientes del pH, y en valores extremos originaría su deficiencia (MINAGRI, 2011).

4.1.2 Conductividad eléctrica en suelos

Tabla 8

Valores de conductividad eléctrica de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno.

Repeticiones	Conductividad eléctrica (dS/m)			
	Mallcusuca (Moho)	Faón (Puno)	Querarapi (Huancané)	Huataquita (San Román)
1	12.53	24.47	10.52	16.08
2	11.43	31.46	16.41	13.99
3	11.87	34.29	13.56	15.47
4	12.98	22.37	11.41	15.88
5	12.46	20.47	16.91	13.39
6	13.84	22.40	12.94	16.62
PROM	12.52	25.91	13.63	15.24
CV (%)	6.75	21.66	19.02	8.33

Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, conductividad eléctrica: no salino <2 dS/m; muy ligeramente salino 2 – 4 dS/m; ligeramente salino 4 – 8 dS/m; moderadamente salino 8 – 16 dS/m y fuertemente salino >16 dS/m

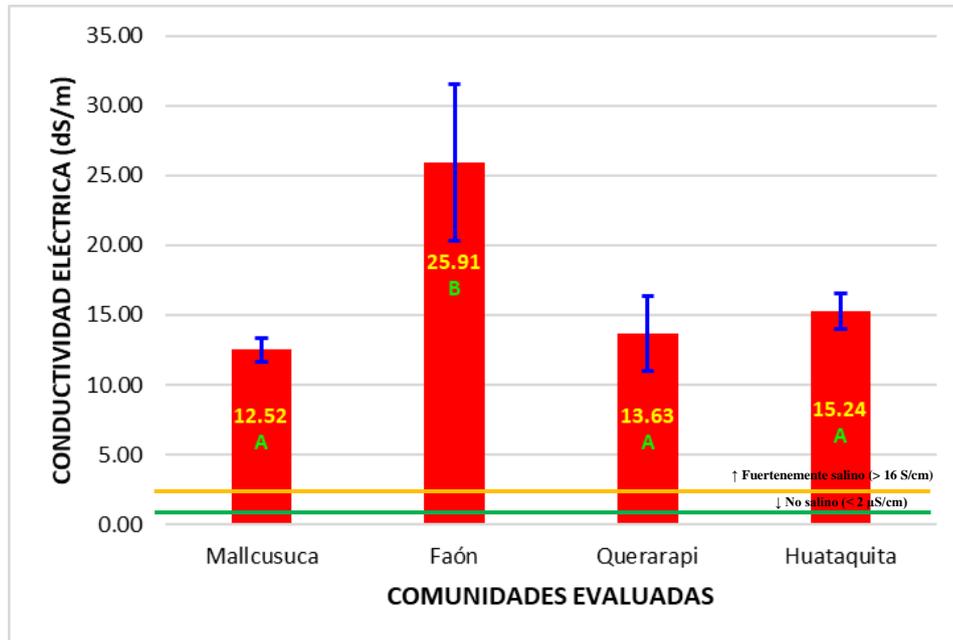
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se visualizan los valores de conductividad eléctrica de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región de Puno, entre los muestreos se tuvo una oscilación entre promedios de 12.52 dS/m ubicado en el muestreo de Mallcusuca (Moho), con un rango de valores que oscilaron entre 11.43 dS/m a 13.84 dS/m y de 25.91 dS/m en Faón (Puno), con un rango entre 20.47 dS/m y 34.29 dS/m. Los coeficientes de variación variaron entre 6.75 % en Mallcusuca -

Moho y 21.66 % en Faón - Puno, indicando una dispersión baja y leve, respectivamente de los datos respecto del promedio.

Figura 3

Conductividad eléctrica en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Tras analizar los datos de los valores de conductividad eléctrica de suelos mediante la prueba de análisis de varianza, se determinó que si existió diferencia estadística significativa ($F=22.46$; $gl=3$; $p\text{-valor} < 0.0001$) y según la prueba de Tukey, se determinó que los valores de conductividad eléctrica en muestras de suelo de Faón (Puno) fueron mayores a los demás (Figura 3), mientras que en los restantes distritos no presentaron diferencias estadísticas (Tabla 6 – Anexos).

Por otra parte, al contrastar los promedios de los valores de conductividad eléctrica en las muestras de suelo, con la norma legal de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, se afirma que las comunidades de Mallcusuca, Querarapi y Huataquita presentan



suelos moderadamente salinos, en razón de que no superan los 16 dS/m; mientras tanto, el suelo de Faón supera la normalidad respecto a la mencionada norma vigente.

Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Ardiles et al. (2019), quien en suelos de Recuay – Ancash (Perú), determinaron bajos contenidos de fósforo y potasio, sin tener problemas de salinidad con cifras de conductividad eléctrica muy bajas (0.032 dS/m a 0.163 dS/m); asimismo superaron a lo registrado por Orsag et al. (2013), quienes en suelos de La Paz – Bolivia, encontraron bajos niveles de minerales, sin problemas de salinidad, con valores de conductividad eléctrica menor a 200 dS/m, este efecto se debe probablemente a la textura gruesa y la alta permeabilidad que impide la acumulación de sales.

Los resultados obtenidos en la investigación, presentaron cifras de conductividad entre 12.52 y 25.91 dS/m, los cuales estuvieron próximos a los mencionados en Oruro con 15.08 dS/m entre los 0 a 27 cm de profundidad y en Irpani 11.39 dS/m entre los 27 – 57 cm de profundidad, que según la normatividad boliviana no son considerados suelos salinos (<20.0 dS/m), pero fueron inferiores a los suelos de Quillocas donde la conductividad llegó a 66.70 dS/m (Orsag et al., 2013), en contraste en el Perú son considerados como fuertemente salinos.

A pesar que, según la normatividad peruana, los suelos analizados están clasificados como fuertemente salinos, los cultivos que normalmente se siembran en las comunidades de Puno, rotando entre papa, quinua, habas, entre otros, serían muy tolerantes a la salinidad ya que poseen rendimientos aceptables (FAO, 2017). A pesar de ello la salinidad de un suelo representada por los valores de



conductividad eléctrica, vendría afectando el normal crecimiento de las plantas, en razón que modifican el potencial osmótico del agua en los suelos, llegando a inhibir el crecimiento gracias a la plasmólisis que se originaría en las células por el paso de agua hacia la planta. En ese sentido, la concentración de algunos iones llega a afectar la fisiología de la planta, producto de la toxicidad que desencadenaría los desequilibrios en el metabolismo de nutrientes (Gallart, 2017; FAO, 2017).

In situ también se pudo visualizar el uso de cenizas de leña utilizadas en sus cocinas para la preparación de sus alimentos en el medio rural, para el abonamiento de los suelos, durante todo año, estos minerales incrementarían la conductividad eléctrica. Por otro lado, también sería un indicador del exagerado uso y aplicación de sustancias agroquímicas para el control de plagas y el abonamiento en los campos de cultivo.

4.1.3 Materia orgánica en suelos

En la Tabla 9 se visualiza la concentración de materia orgánica de suelos en cuatro comunidades de la región de Puno, el menor promedio fue 1.44 % en la comunidad de Querarapi – Huancané, con un rango de valores que oscilaron entre 1.41 % y 1.47 %, y el mayor promedio fue de 3.85 % en la comunidad de Mallcusuca – Moho, con un rango entre 3.80 % y 4.0 %. Los coeficientes de variación fluctuaron entre 1.93 % en Querarapi – Huancané y 22.19 % en Faón – Puno, indicando una dispersión baja y leve de sus datos respecto del promedio.

Tabla 9

Concentración de materia orgánica de suelos en comunidades de cuatro provincias de la región Puno.

Repeticiones	Materia orgánica (%)			
	Mallcusuca (Moho)	Faón (Puno)	Querarapi (Huancané)	Huataquita (San Román)
1	3.75	1.63	1.47	2.28
2	4.00	2.44	1.41	1.67
3	3.80	1.70	1.43	2.18
4	3.65	1.60	1.44	2.10
5	4.05	2.50	1.48	1.81
6	3.85	1.66	1.42	2.21
PROM	3.85	1.92	1.44	2.04
CV (%)	3.94	22.19	1.93	11.99

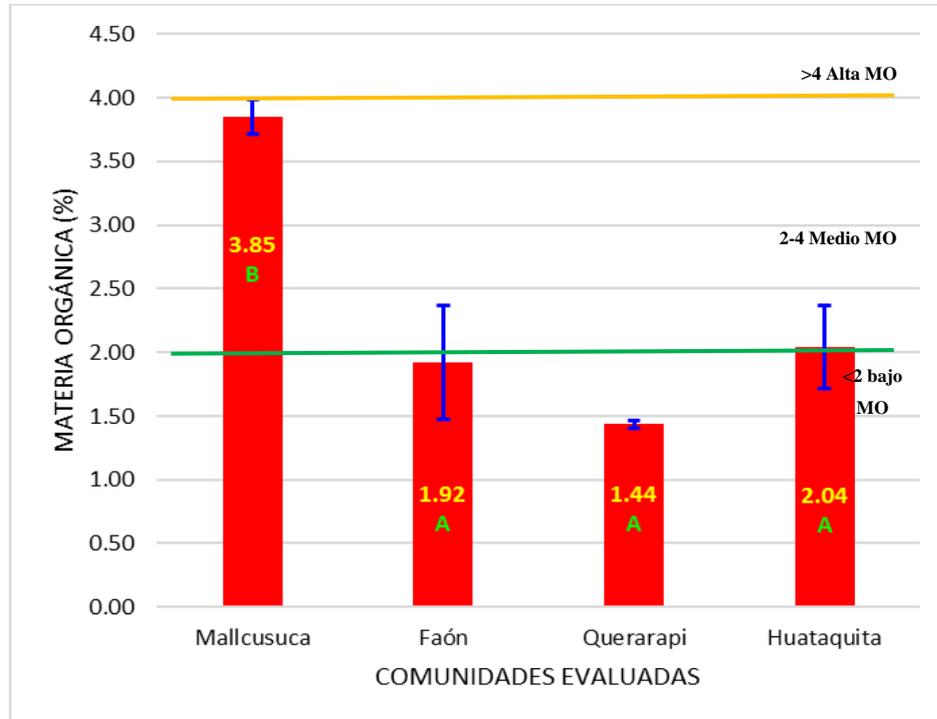
Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, materia orgánica: bajo <2 %;
medio 2 – 4 %; alto >4 %.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar los datos de la concentración de materia orgánica de suelos de las comunidades, la prueba de análisis de varianza determinó que si existió diferencia estadística significativa ($F=41.05$; $gl=3$; $p\text{-valor}<0.0001$), según la prueba de Tukey, se determinó que los valores de la concentración de materia orgánica en el muestreo de Mallcusuca – Moho fueron mayores a las demás unidades de muestreo (Figura 4), mientras tanto en suelos de las demás comunidades (Querarapi, Faón y Huataquita) no presentaron diferencia estadística significativa (Figura 7 – Anexos).

Figura 4

Concentración de materia orgánica (MO) en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, al contrastar los promedios de los valores de concentración de materia orgánica en las muestras de suelo, con la norma legal de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI, se afirma que los suelos de las comunidades de Mallcusuca y Huataquita presentaron niveles medio de materia orgánica (2 – 4 %); mientras tanto las comunidades de Faón y Querarapi presentaron bajas niveles de materia orgánica (<2 %).

El promedio más alto de materia orgánica en la presente investigación fue de 3.85 % en la comunidad de Mallcusuca, estos resultados fueron superados por lo reportado de Mau et al. (2011), quienes en suelos de Cártago (Costa Rica)



encontraron valores de materia orgánica del 13.2%, asimismo fueron inferiores a los mencionados por Saldaña (2017), quien en Nuevo León (México) luego de aislar cepas *Rhizobium phaseoli* determinaron también un promedio de 5.14 % de materia orgánica.

Por otro lado, fueron similares a los reportados por Arguello et al. (2016), quienes en suelos de Santander (Colombia) citaron cifras de 0.81 a 2.59 % de materia orgánica y a los reportados por Marín et al. (2017), quienes en Guantánamo (El Salvador) encontraron suelos con materia orgánica entre 2.83 – 3.04 %.

Los suelos evaluados en esta oportunidad, presentaron generalmente entre valores medios y bajos porcentajes de materia orgánica, lo cual coincide con lo mencionado por Ardiles (2019) quien en Recuay - Ancash (Perú) encontró un alto porcentaje de suelos pobres en materia orgánica (69 %) y moderadamente ricos (31 %), vale decir que, a altitudes bajas y medias, los suelos son pobres en materia orgánica.

Todo ello se debería a que las muestras de suelo procedieron de profundidades de 10 cm, ésta capa se constituye biológicamente más activa, donde el abonamiento con incorporaciones del estiércol, biofertilizantes orgánicos y orina de los animales, se constituiría en el sustrato promotor del crecimiento microbiano (Culchac et al., 2021).

Por lo tanto, no solo es un hábitat de los microorganismos rizosféricos sino de otros organismos más grandes del suelo como las lombrices, ya que también se constituyen en un alimento para ellos. En la investigación al poseer bajos niveles



de materia orgánica los suelos presentarían menor diversidad y abundancia en los suelos. En tal sentido, los suelos deberían de poseer mayores niveles de materia orgánica, ya que no solo resulta de la movilización dinámica de nutrientes hacia las plantas, sino una mejor competencia ante las enfermedades edáficas, incrementándose así la salud del suelo (Grand y Michel, 2020).

Luego de realizar el análisis y la interpretación de las características químicas (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) en cuatro comunidades campesinas de la Región Puno, se acepta la hipótesis alterna, en razón de que se afirmaba que: “Las características químicas varían en las cuatro comunidades campesinas de la región Puno”, y en la investigación si se encontraron diferencias estadísticas en los parámetros evaluados.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en los suelos de la Región Puno, se considera de importancia para el incremento de la productividad de los cultivos andinos, los valores de pH, conductividad y materia orgánica, brinda valiosa información acerca del estado actual de los suelos en razón de que nos da a conocer si las plantas pueden normalmente absorber los nutrientes (pH ligeramente ácido a alcalino), que a pesar de ser fuertemente salinos es probable que afecta la productividad y finalmente el contenido de materia orgánica debería de incrementarse con mayor estiércol de los animales de la zona, así como guano de isla entre otros, con la finalidad de lograr vegetales ecológicos y aptos para el consumo humano.

4.2 RECUENTO DE *Azotobacter sp* COMO BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES

En la Tabla 10 se puede visualizar los recuentos de *Azotobacter sp* en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región de Puno, donde el menor promedio bacteriano de 2.75×10^4 UFC/g se determinó en la comunidad de Faón (Puno), con valores que fluctuaron entre 2.10×10^4 UFC/g y 3.4×10^4 UFC/g; llegando a 3.72×10^4 UFC/g de promedio en Huataquita – San Román, cuyos valores oscilaron entre 3.5×10^4 UFC/g y 4.5×10^4 UFC/g. Los valores de coeficiente de variabilidad fluctuaron entre 6.62% en Mallcusuca - Moho y 17.17% en Faón - Puno, indicando una baja y leve dispersión de datos respecto del promedio.

Tabla 10

Recuento de Azotobacter sp en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.

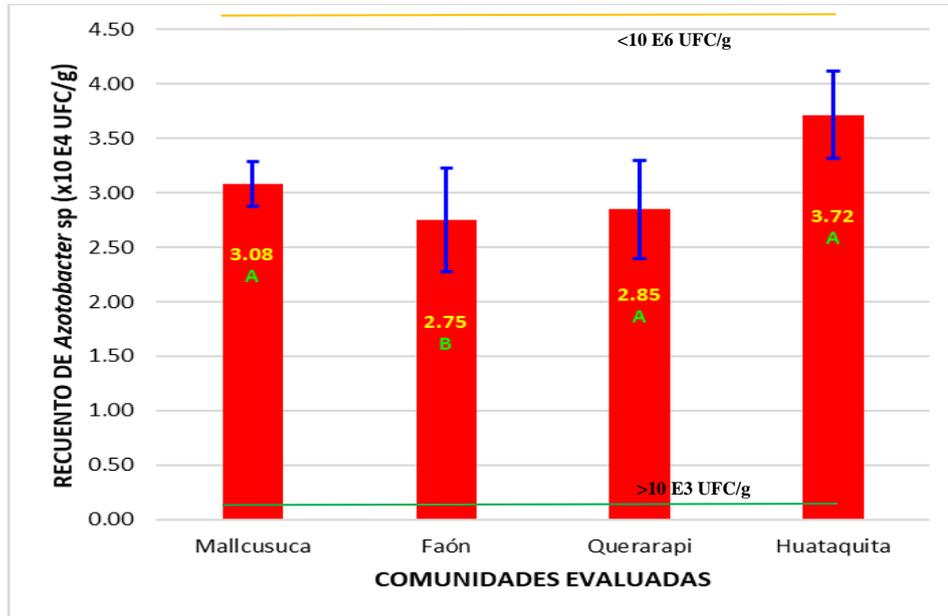
Repeticiones	Recuentos bacterianos ($\times 10^4$ UFC/g)			
	Mallcusuca (Moho)	Faón (Puno)	Querarapi (Huancané)	Huataquita (San Román)
1	3.40	2.40	2.40	3.50
2	3.00	3.00	2.30	4.50
3	3.20	2.10	2.80	3.50
4	3.10	3.40	3.50	3.50
5	2.80	3.00	3.10	3.50
6	3.00	2.60	3.00	3.80
PROM	3.08	2.75	2.85	3.72
C. V. (%)	6.62	17.17	15.81	10.82

Gelvez et a. (2020): $10^3 - 10^6$ UFC/g.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Recuento de Azotobacter sp ($\times 10^4$ UFC/g) en suelos de cuatro comunidades de la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar el análisis de varianza, se determinó que si existió diferencia estadística significativa ($F=7.19$; $gl=3$; $p\text{-valor}=0.0018$) y según la prueba de Tukey, se determinó que los valores del recuento de *Azotobacter sp* en la comunidad de Huataquita (San Román) fueron los mayores a las demás zonas de muestreo, a continuación, se ubicó los recuentos bacterianos en la comunidad de Mallcusuca (Tabla 8 – Anexos), mientras tanto, que los recuentos en las comunidades de Faón y Querarapi no sufrieron diferencia estadística (Figura 5).

Según Gelvez et al. (2020), los recuentos promedios de bacterias *Azotobacter sp* determinadas en suelos de comunidades de cuatro provincias de la región Puno (3.08×10^4 UFC/g; 2.75×10^4 UFC/g; 2.85×10^4 UFC/g; y 3.72×10^4 UFC/g), se encuentran



dentro de lo adecuado de indicadores biológicos de suelos ($10^3 - 10^6$ UFC/g), a pesar de tener un amplio rango de recuento, los valores se aproximan a los límites inferiores.

Los resultados obtenidos en la investigación son superiores a los reportados por Córdova et al. (2009), quienes en Tabasco (México) indican densidades bacterianas de 11×10^2 UFC/g a 70 – 110 cm de profundidad, pero fueron superiores entre los 2 y 19 cm; por otro lado, fueron superados por los recuentos obtenidos por Toro (2005), quien en suelos de La Paz (Bolivia) reporta poblaciones bacterianas en un campo de cultivo de banano, entre 293250 y 1919333 UFC/g de suelo, y en suelos tradicionales, recuentos de 273166 y 2641667 UFC/g de suelo.

Los bajos recuentos de *Azotobacter sp* que presentan los campos de cultivo evaluados, indican las bajas concentraciones de material orgánico, la incorporación de fertilizantes que vendría alterando la presencia de microorganismos (Toro, 2005). Otros factores que influyen los recuentos bacterianos son el pH alcalino que en Huancavelica influyó a los mayores recuentos, asimismo la fertilización inorgánica que traería consigo su disminución, mientras otras bacterias requieren de pH neutro como *Bacillus sp* y otras son influenciadas por la liberación de exudados a base de azúcares por parte de las raíces de las plantas para atraer a las bacterias y originar su incremento (Calvo et al., 2008), tal como reportó Pérez et al. (2011), quienes en Sucre (Colombia) en campos de la leguminosa *Teramnus volubilis*, las bacterias biofertilizantes *Rhizobium* presentaron altos recuentos de 22×10^8 UFC/ml a 15×10^8 UFC/ml.

Asimismo, los recuentos bacterianos obtenidos en suelos de la región Puno fueron similares a los obtenidos por Escalante (2018), quien en Puno (Perú) reporta carga bacteriana de *Azotobacter sp*. con promedio de 142×10^4 UFC/g, 97×10^4 UFC/g y 95×10^4 UFC/g, en los centros poblados de Camicachi, Santa Rosa de Yanaque y Jayllihuaya,



respectivamente. Según Culchac et al. (2021), que las densidades bacterianas se ubican mayoritariamente sobre los 5 cm del suelo, debido a que se ubica la capa biológicamente más activa, y en dicha capa también se incorpora la materia orgánica como el estiércol, los fertilizantes orgánicos y las orinas de los animales, donde el sustrato ureico viene a ser uno de los promotores del crecimiento microbiano.

Luego de realizar el análisis y la interpretación de los recuentos bacterianos de *Azotobacter sp* en cuatro comunidades campesinas de la Región Puno, se acepta la hipótesis alterna, en razón de que se afirmaba que: “Los recuentos de bacterias biofertilizantes varían en las cuatro comunidades campesinas de la región Puno”, y en la investigación si se encontraron diferencias estadísticas en los recuentos bacterianos.

En definitiva, *Azotobacter sp* es una bacteria biofertilizante que habita los suelos del Altiplano Peruano, posee muchas bondades como la situación ecológica de los suelos, la nutrición de las plantas, y ulteriormente la obtención de los productos alimenticios, los suelos evaluados poseen recuentos ligeramente bajos a pesar de estar entre los valores referenciales, lo cual sería un indicador de que existe algún factor que viene disminuyendo, entre ellas se supone el exagerado uso de agroquímicos, así como la escasa abonamiento de los campos de cultivo con recursos orgánicos, los cuales influyen en la población bacteriana.



V. CONCLUSIONES

- Los suelos de las comunidades de Huataquita, Faón, Mallcusuca y Querarapi presentaron valores de pH entre ligeramente ácido 6.1 – 6.5 a ligeramente básico 7.4 – 7.8, la conductividad eléctrica se encontró elevada de 25.91 dS/m en Faón (Puno) y la materia orgánica entre niveles bajos y medios se afirma que los suelos de las comunidades de Mallcusuca y Huataquita presentaron niveles medios de materia orgánica (2 – 4 %); mientras tanto las comunidades de Faón y Querarapi presentaron bajas niveles de materia orgánica (<2 %), según la norma legal vigente, existiendo diferencia estadística entre zonas de estudio ($P < 0.05$), al poseer una conductividad fuertemente salina, las plantas cultivadas fueron tolerantes a altas concentraciones de sales en el suelo.
- Los suelos de las comunidades de Huataquita, Faón, Mallcusuca y Querarapi presentaron recuentos de *Azotobacter sp* los recuentos promedios de bacterias *Azotobacter sp* determinadas en suelos de comunidades de cuatro provincias de la región Puno (3.08×10^4 UFC/g; 2.75×10^4 UFC/g; 2.85×10^4 UFC/g; y 3.72×10^4 UFC/g), se encuentran dentro de lo adecuado de indicadores biológicos de suelos ($10^3 - 10^6$ UFC/g), existiendo diferencia estadística entre zonas de estudio ($P < 0.05$), los bajos recuentos bacterianos se debe a la presencia de agroquímicos o sales minerales tóxicas que disminuiría su población.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en cada una de las estaciones del año y según el último cultivo cosechado, para poseer información más detallada.
- Realizar estudios de recuentos bacterianos nitrificantes a diferentes profundidades a las realizadas (10 cm), así como comparando el tipo de estiércol aplicados o materia orgánica utilizada como abono, para poseer información más detallada.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, A. (2003). ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas?. *Ecología Austral*. Vol. 13:195-204.
- Altieri, M. (1994). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Haworth Press, New York. 185 p.
- Ardiles, R. (2019). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos con fines agrícolas de la comunidad campesina de Pampacancha – distrito y provincia de Recuay – Ancash. Tesis de Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”. Huaraz – Perú. 86 p.
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3493>.
- Arguello, A., Madiedo N. y Moreno L. (2016). Cuantificación de bacterias diazotróficas aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.) por la técnica de Número más probable (NMP). *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. XVIII (2): 40-47.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.47678>.
- Aseri, G., Jain, N., Panwar, J., Rao, A. y Meghwal, P. (2008). Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci Hortic*. Vol. 117(2):130-135.
- Bauer, L., Gardner, W. y Gardner, R. (1972). *Soil Physics*. John Wiley, New York. 499 p.
- Beltrán, M., Rocha Z., Bernal A. y Pita L. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Rev. Colombia Forestal*. Vol. 20 (2): 158-170.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a05>.
- Blunt, W., Sparling, R., Gapes, J., Levin, B. y Cicek, N. (2018). The role of dissolved oxygen content as a modulator of microbial polyhydroxyalkanoate synthesis. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. Vol. 34(8): 1-12.



- Boraste, A., Vamsi, K., Jhadav, A., Khairnar, Y., Gupta, N., Trivedi, S., Patil, P., Gupta, G., Gupta, M., Mujapara, A., et al. (2009). Biofertilizers: a novel tool for Agriculture. *Int J Microbiol.* Vol. 1(2):23-31.
- Borda, D., Pardo J., Montaña J. y Martínez M. (2011). Influencia de la materia orgánica y *Azotobacter nigricans* en un cultivo de *Stevia rebaudiana* B. *Universitas Scientiarum.* Vol. 176 (3): 282-293.
<http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v16n3/v16n3a09.pdf>.
- Buckman, H. y Brady, N. (1976). *The nature and properties of soils.* MacMillan Co., New York. 568 p.
- Calvo, P., Reymundo, L. y Zúñiga, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Rev. Ecología Aplicada.* Vol. 7(1,2):141-148.
<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/369/363>.
- Cavaletti, L., Monciardini P., Bamonte P. y Schumann P. (2006). New lineage of filamentous, spore-forming, gram-positive bacteria from soil. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 72: 4360-4369.
- Chennappa, G., Udaykumar, N., Vidya, M., Nagaraja, H., Amaresh, S. y Sreenivasa, M. Y. (2019). *Azotobacter*-a natural resource for bioremediation of toxic pesticides in soil ecosystems. In: *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbial Biotechnology in Agro-environmental Sustainability* (J. S. Singh and D.P. Singh (eds.) 1a ed.). Elsevier B.V. p. 267-279.
- Córdova, V. (2009). Detección de bacterias benéficos en suelo con banano (*Musa AAA Simmonds*) cultivar ‘Gran Enano’ y su potencial para integrar un biofertilizante. *Universidad y Ciencia.* Vol. 25(3): 253 – 265.
- CROPAIA. (2024). La conductividad eléctrica del agua y del suelo. Sela G. (editor).
<https://cropaia.com/es/blog/conductividad-electrica-del-agua-y-suelo/>.
- Culchac, L., Estrada S. y Ordóñez R. (2021). Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo *Typic melanudands* en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* Vol. 22(2): e1424.



https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:14240.

- Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI. (2022). Decreto Supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. Normas Legales del Diario Oficial El Peruano. Domingo 24 de abril del 2022. Lima – Perú. 28 p.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3094866/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%B0%200005-2022-MIDAGRI.pdf.pdf>.
- Escalante, M. (2018). Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias *Azotobacter sp* aisladas de suelos cultivados de la región Puno y su efecto en plántulas de trigo (*Triticum aestivum*) 2018. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 80 p.
<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10031>.
- FAO. (2015). La FAO en acción; Año internacional de los suelos.
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_Veg_Print.pdf.
- FAO. (2017). El portal del suelo. Definiciones. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>.
- Fertilab. (2023). Propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento de las plantas. NTF 19-012. 5 p. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-012-Propiedades-fisicoquimicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas.pdf>.
- Gallart, F. (2017). La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. Trabajo de Fin de Grado Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural. Universitat Politècnica de Valencia. España. 41 p.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART%20-%20La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo%20como%20indicador%20de%20la%20capacidad%20de%20uso%20de%20los%20suelo....pdf>.
- Gelvez, I., Moreno, J. y Santos, A. (2020). Guía de muestreo de suelos para análisis



- microbiológicos. Colección Transformación del agro. AGROSAVA. Mosquera – Colombia. 64 p. <file:///C:/Users/UNAP/Downloads/Guademuestreodesuelosparaanlisismicrobiologico.pdf>.
- Garbeva, P., Van Veen J. y Van Elsas J. (2004). Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annual Review of Phytopathology*. Vol. 42:243-270.
- Garrido, S. (1993). Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras. N° 5/93 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias. Madrid – España. 40 p. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf.
- Gauri, S., Mandal, S. y Pati, R. (2012). Impact of *Azotobacter* exopolysaccharides on sustainable agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 95(2): 331-338.
- Glick, R. (1995). The enhancement of plant growth by free- living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*. Vol. 41:109-117.
- Goitia, J. (2014). Aislamiento de bacterias diazotróficas en suelos de cultivo, virgen y humus de lombriz del distrito de Puno y su efecto in vitro en la germinación de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 69 p. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2414>.
- González, J. (2018). Determinación de pH en muestras de suelo. Prácticas de Química Ambiental. Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Guanajuato. México. 4 p. <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2018/07/Determinaci%C3%B3n-de-pH-del-suelo.pdf>.
- Grand, A. y Michel V. (2020). Materia orgánica del suelo. European Union's Horizon 2020. Programme as Coordination and Support Action, under GA N° 817696. <https://orgprints.org/id/eprint/43417/7/MATERIA%20ORGA%CC%81NICA%2>



ODEL%20SUELO.pdf.

- Guevara, B. (2022). Cuantificación de bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno a partir de suelos rizosféricos de cuatro cultivos de importancia económicas de las provincias Virú y Bagua; 2021. Tesis de Biólogo – Microbiólogo. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo – Perú. 44 p. [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/19730/Guevara%20Ram os,%20Beatriz.pdf?sequence=4](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/19730/Guevara%20Ram%20os,%20Beatriz.pdf?sequence=4).
- Habibi, S., Djedidi, S., Prongjunthuek, K., Mortuza, M., Ohkama, N., Sekimoto, H. y Yokoyoma, T. (2014). Physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops. *Plant Soil*. Vol. 379(1):51-66.
- Hanna Instruments. (2002). ¿Cómo medir el pH de la tierra y la conductividad del suelo?. Página web: <https://www.hannainst.es/blog/1512/como-medir-pH-tierra-y-conductividad-suelo>.
- Huamán, N., Allcca, E., Allcca, G. y Quispe, M. (2021). Biopolímeros producidos por *Azotobacter*: síntesis y producción, propiedades físico – mecánicas, y potenciales aplicaciones industriales. *Rev. Scientia Agropecuaria*. Vol. 12 (3): 369-377. DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.040>.
- Izquierdo, J. y Arévalo J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Revista Ingeniería y Región*. Vol. 26: 20 – 28. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>.
- Jasim, B., Jimtha, J., Jyothis, M. y Radhakrishnan, E. (2013). Plant growth promoting potential of endophytic bacteria isolated from *Piper nigrum*. *Plant Growth Regul.* Vol. 71(1):1-11.
- Jha, C. y Saraf, M. (2012). Evaluation of multispecies plant-growth promoting consortia for the growth promotion of *Jatropha curcas* L. *J Plant Growth Regul.* Vol. 31(4):588-598.
- Kizilkaya, R. (2009). Nitrogen fixation capacity of *Azotobacter spp.* strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the



- microbiological properties of soils. *J. Environ. Biol.* Vol. 30(1): 73-82.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20112866/>.
- Lara, C., Villalba, M. y Oviedo, L. (2007). Bacterias fijadoras de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. *Rev Colomb Biotecnol.* Vol. 9(2):6-14.
- Lee, J., Kim, S., Jo, Y., y Kwon, J. (2021). Revisiting soil bacterial counting methods: Optimal soil storage and pretreatment methods and comparison of culture-dependent and -independent methods. *PLOS ONE.* Vol. 16(2), e0246142.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246142>.
- Llanos, M. (2014). Bacterias solubilizadoras de fosfato del género *Bacillus* en suelos de la provincia de El Collao (Puno) y su efecto en la germinación y crecimiento de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 89 p.
<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3705>.
- López, M. y H. Estrada. (2015). Propiedades del suelo. *Bioagrocencias.* Vol. 8(1): 3-11.
- Madigan, T., Bender, S., Buckley, H., Sattley, M., y Stahl, A. (2019). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Mamani, G. (2019). Efecto de la inoculación de *Rhizobium* en el crecimiento de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) variedad Salcedo – INIA hasta la aparición de dos hojas verdaderas en condiciones in vitro. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 57 p. <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12956>.
- Mamani, J. (2018). Efecto de la inoculación con bacterias diazotróficas en la germinación y crecimiento de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) en condiciones controladas. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 59 p.
<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8335>.
- Marín, G., Tamayo Y., Hernández I., Varela M. y da Silva E. (2017a). Cuantificación de



- la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de 15N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*. Vol. 38(1): 122-130. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n1/ctr16117.pdf>.
- Marín, S., Bertsch F. y Castro, L. (2017b). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía costarricense*. Vol. 41(2): 27-46.
- Mau, S., Vega K. y Sánchez M. (2011). Aislamiento de bacterias del suelo y su potencial utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ciencias Ambientales*. Vol. 42 (2): 45-52. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.42-2.4>.
- MINAGRI, Ministerio de Agricultura. (2011). Cadena agroproductiva de papa, manejo y fertilidad de suelos. Guía Técnica de orientación al productor. Lima – Perú. 50 p.
- Muñoz, J. y Owen, E. (1985). Efecto del enclamiento en 35 suelos del Departamento del Meta. II. En la contribución de la materia orgánica y arcilla a las capacidades de intercambio catiónico. Reunión Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. 9na edición. Cali.
- Nagananda, G., Das, A., Bhattacharya, S. y Kalpana, T. (2010). In vitro studies on the effects of biofertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *Int J Botany*. Vol. 6(4):394-403.
- Orsag, Vl., León, L.; Pacosaca, O. y Castro, E. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua T'inkazos. Programa de Investigación Estratégica en La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Ciencias Sociales*. N° 33: 89 – 112 Programa de Investigación Estratégica en Bolivia La Paz, Bolivia. <https://www.redalyc.org/pdf/4261/426141576006.pdf>.
- Osorio, N. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité*



- regional eje cafetero (p. 43 – 71). Cenicafé.
https://doi.org/10.38141/10791/0003_3.
- Owen, E. (1995). Características físico – químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite. Rev. Palma. Vol. 16 (1): 31-39.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/461>.
- Patil, S., Mohite, B., Patil, C., Koli, S., Borase, H. y Patil, V. (2020). *Azotobacter*. In: Beneficial Microbes in Agro-Ecology (N. Amaresan, M. S. Kumar, K. Annapurna, K. Kumar, A. Sankaranarayanan (eds); 1a ed.). Elsevier B.V. Massachusetts. p. 397-426.
- Pérez, A., Grisales T. y Fuentes J. (2011). Determinación de morfotipos nativos de *Rhizobium* asociados a la leguminosa *Teramnus volubilis* Sw en fircas ganaderas del municipio de Tolú en el departamento de Sucre. Rev. Colombiana Cienc. Anim. Vol. 3 (1): 62-89. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeMorfotiposNativosDeRhizobiumAsociad-3691383.pdf>.
- Ravikumar, S., Kathiresan, K., Thadedus, M, Lgnatiammal, S., Babu, M. y Shanthly, S. (2004). Nitrogen-fixing azotobacters from mangrove habitat and their utility as marine biofertilizers. J Exp Mar Biol Ecol. Vol. 312(1):5-17.
- Richardson, A., Barea J., McNeill A. y Prigent C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. Plant and Soil. Vol. 321:305-339.
- Russell, E. (1969). Soil condition and plant growth. John Wiley. New York. 689 p.
- Salantur, A., Ozturk, A. y Akten, S. (2006). Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. Plant Soil Environ. Vol. 52(3):111-118.
- Saldaña, J. (2017). Aislamiento e identificación de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* de suelo de la presa de la Juventud de Marín, Nuevo León. Rev. Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. Publicación # 07. Enero – Junio. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/659-Texto%20del%20art%C3%ADculo->



[2773-1-10-20170530%20\(1\).pdf](#).

- Saranraj, P. y Sivasakthivelan, P. (2017). Biological nitrogen fixation by *Azotobacter* sp. - a review. *Asian Journal of Multidisciplinary Research*. Vol. 3(5): 1274-1284.
- Sumbul, A., Ansari, R., Rizvi, R. y Mahmood, I. (2020). *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vol. 27(12): 3634-3640.
- Sylvia, D., Fuhrmann J., Hartel P. y Zuberer D. (1999). *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Prentice Hall, Inc. New Jersey USA. p. 7-8.
- Tan, K., Radziah, O., Halimi, M., Khairuddin, R., Habib, S. y Shamsuddin, Z. (2014). Isolation and characterization of rhizobia and plant growth-promoting rhizobacteria and their effects on growth of rice seedlings. *Am J Agric Biol Sci*. Vol. 9(3):342-360.
- Toro, T. (2005). Evaluación población de microorganismos en suelos de manejo orgánico y tradicional de banano (*Musa* sp) en Porvenir, La Paz. Tesis de Ingeniera Agrónoma. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 131 p. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/T-909.pdf>.
- Valenzuela, E. (2003). *Guía Pasos Prácticos Microbiología 112*. Instituto de Microbiología. Universidad Austral de Chile. 40 p.
- Vessey, J. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. Vol. 255(2):571-586.
- Vootla, P. y Pindi, P. (2014). Enhanced Nitrogen fixing in *Sesbania grandiflora* by *Azospirillum* (BPL7) sp. isolated from Godavari Belt Region, Andhra Pradesh, India. *P Natl A Sci India B*. Vol. 84(3):549-559.
- Walia, A., Mehta, P., Chauhan, A. y Shirkot, C. (2013). Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedlings under net house conditions. *P Natl A Sci India B*. Vol. 84(1):145-155.
- Warnecke, D. y Krauskopf, M. (1983). *Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines*, Extension Bulletin E1736. Cooperative Extension Service, Michigan



State University. Michigan, USA.

- Yin, T. y Baskettanda, J. (1987). Reclamation of mangrove swamps for oil palm cultivation. In: International Oil Palm/Palm Oil Conference. Progress and Prospects. PORIM and ISP, Kuala Lumpur. T:36. p. 18.
- Zúñiga D. (2010). Caracterización y selección de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo orgánico de maca como herramienta biotecnológica para mejorar su calidad productiva. Perúbiodiverso. Lima – Perú. 207 p.



ANEXOS

Tabla 11

Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de pH en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	24	0,67	0,62	4,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,27	3	1,42	13,41	0,0001
Distrito	4,27	3	1,42	13,41	0,0001
Error	2,12	20	0,11		
Total	6,39	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,52633

Error: 0,1061 gl: 20

Distrito	Medias	n	E.E.	
Querarapi	6,55	6	0,13	A
Mallcusuca	6,73	6	0,13	A B
Huataquita	7,20	6	0,13	B C
Faón	7,63	6	0,13	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de conductividad eléctrica (mS/cm) en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	24	0,77	0,74	18,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	68305,26	3	22768,42	22,46	<0,0001
Distrito	68305,26	3	22768,42	22,46	<0,0001
Error	20273,97	20	1013,70		
Total	88579,23	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=51,45017

Error: 1013,6986 gl: 20

Distrito	Medias	n	E.E.	
Mallcusuca	125,18	6	13,00	A
Querarapi	136,25	6	13,00	A
Huataquita	152,38	6	13,00	A
Faón	259,10	6	13,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Análisis de varianza y prueba de Tukey de las concentraciones de materia orgánica (%) en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MO	12	0,94	0,92	12,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10,06	3	3,35	41,05	<0,0001
Distrito	10,06	3	3,35	41,05	<0,0001
Error	0,65	8	0,08		
Total	10,72	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,74748

Error: 0,0817 gl: 8

Distrito	Medias	n	E.E.
Querarapi	1,44	3	0,17 A
Faón	1,92	3	0,17 A
Huataquita	2,04	3	0,17 A
Mallcusuca	3,85	3	0,17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Análisis de varianza y prueba de Tukey de los recuentos de Azotobacter sp en suelos de comunidades en cuatro provincias de la región Puno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RCTO	24	0,52	0,45	12,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,39	3	1,13	7,19	0,0018
Distrito	3,39	3	1,13	7,19	0,0018
Error	3,15	20	0,16		
Total	6,54	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,64098

Error: 0,1573 gl: 20

Distrito	Medias	n	E.E.
Faón	2,75	6	0,16 A
Querarapi	2,85	6	0,16 A
Mallcusuca	3,08	6	0,16 A B
Huataquita	3,72	6	0,16 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Zona de muestreo comunidad Huataquita, distrito de Cabanillas, provincia de San Román, región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Zona de muestreo comunidad Querarapi, distrito de Vilquechico, provincia de Huancané, región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Zona de muestreo comunidad Mallcusuca, distrito y provincia de Moho, región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Zona de muestreo comunidad de Faón, distrito de Huata, región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Muestras de tierra pesadas y diluidas en agua destiladas para la medición de parámetros mediante equipo multiparámetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Medición del pH en muestras de tierra de cuatro comunidades, diluidas en agua destilada estéril, mediante el potenciómetro portátil.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Medición de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en muestras de tierra de cuatro comunidades, diluidas en agua destilada estéril, mediante el conductímetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

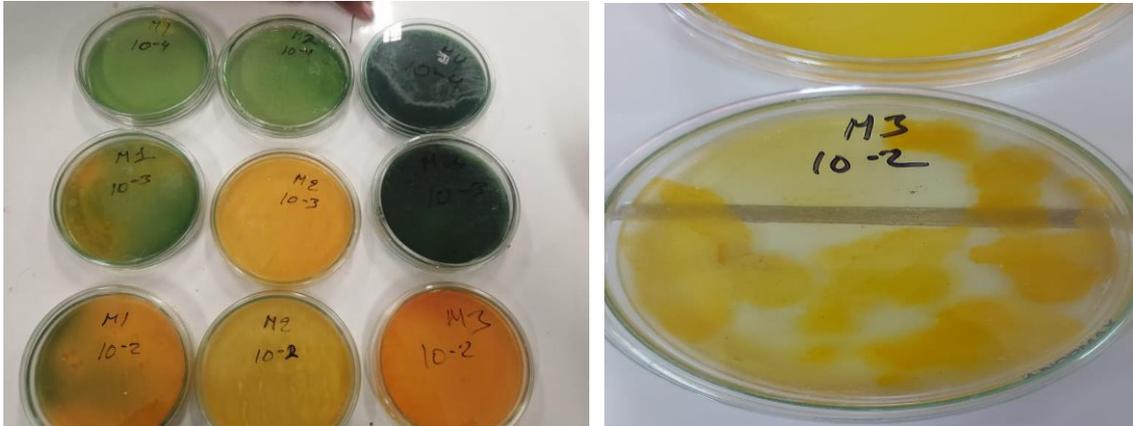
Preparación de placa de Petri para colocar el medio de cultivo mineral libre de nitrógeno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

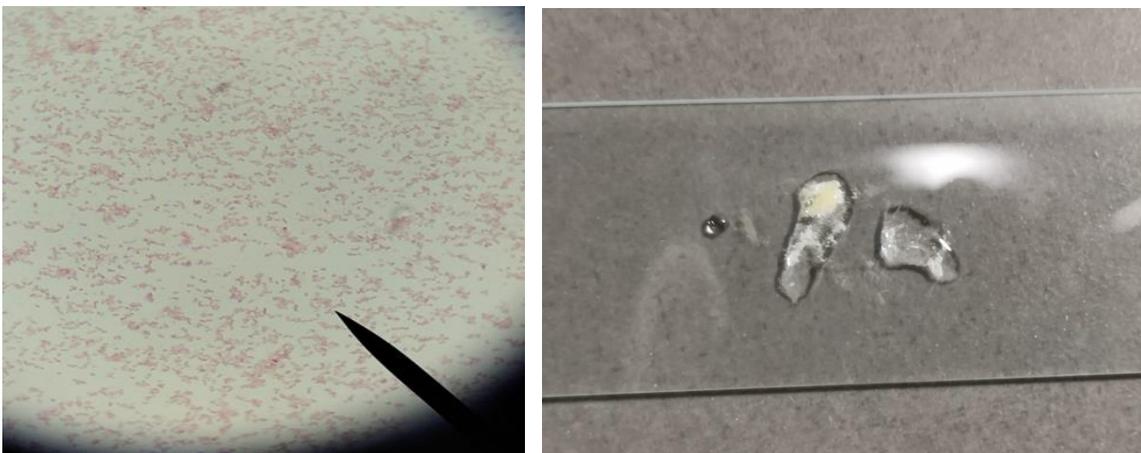
Crecimiento de bacterias Azotobacter sp en medios de cultivo mineral libre de nitrógeno, a partir de suelos de cuatro comunidades en la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Tinción Gram y prueba de la catalasa en colonias de Azotobacter sp.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Determinación de materia orgánica (%) en muestras de tierra de cuatro comunidades de la región Puno.



Fuente: Elaboración propia.



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ciencias Biológicas

Ciudad Universitaria - Teléfono 36 6189 - Apartado Postal 291



CONSTANCIA N° 75-2023-D-FCCBB-UNA

EL QUE SUSCRIBE, DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNA-PUNO.

HACE CONSTAR.-

Que, el Bachiller **FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE**, egresado de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, ha realizado su trabajo de investigación (tesis), titulado "**CARACTERIZACION QUÍMICA Y RECuento DE BACTERIAS AZOTOBACTER SP EN SUELOS DE CUATRO COMUNIDADES CAMPESINAS DE LA REGION PUNO**", en el Laboratorio de Microbiología Clínica, de la Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, los mes de junio a agosto del 2023.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime por conveniente.

Puno, 19 de setiembre del 2023.




EDMUNDO GERARDO MORENO TERRAZAS
DECANO

cc.
Archivo 2023
EGM/Traoq

Constancia de elaboración de tesis en laboratorio.



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE
identificado con DNI 73141433 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

BIOLOGIA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RECuento DE Protobacter sp
COMO BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE CUATRO
COMUNIDADES CAMPESINAS DE LA REGIÓN PUNO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de DIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANKLIN WILBER MACHACA VILLASANTE
identificado con DNI 73141437 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

BIOLOGIA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ CARACTERIZACION QUIMICA Y RECUENTO DE AZOTOBACTERES SP
COMO BACTERIA BIOFERTILIZANTE EN SUELOS DE CUATRO
COMUNIDADES CAMPESINAS DE LA REGION PUNO ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella