



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



**CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter*
sp Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS DE
LAS LOCALIDADES DE ANTOÑANI Y JAYLLIHUAYA,
PROVINCIA DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SHIRLEY MIRELLA TICONA SOTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA: MICROBIOLOGÍA Y
LABORATORIO CLÍNICO**

PUNO - PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter* sp Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS DE LAS LOCALIDADES DE ANTOÑANI Y JAYLLI HUAYA, PROVINCIA DE PUNO

AUTOR

SHIRLEY MIRELLA TICONA SOTO

RECuento DE PALABRAS

14727 Words

RECuento DE CARACTERES

81353 Characters

RECuento DE PÁGINAS

79 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 16, 2024 12:10 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 16, 2024 12:11 AM GMT-5

● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por PAURO
ROQUE Juan Jose FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.07.2024 00:22:38 -05:00



Firmado digitalmente por GONZALES
ALCOS Vicky Cristina FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.07.2024 13:11:44 -05:00

Resumen



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

**CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter sp* Y LOS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS DE LAS LOCALIDADES DE
ANTOÑANI Y JAYLLIHUAYA, PROVINCIA DE PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. SHIRLEY MIRELLA TICONA SOTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA: MICROBIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

Dr. DANTE JONI CHOQUEHUANCA PANCLAS

PRIMER MIEMBRO:

Dra. YOURI TERESA DEL CARPIO CONDORI

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. ISABEL EVELING CASTILLO COAQUIRA

DIRECTOR / ASESOR:

Dr. JUAN JOSE PAURO ROQUE

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18/07/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Diagnostico y Epidemiologia



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



DEDICATORIA

La presente tesis esta dedicada principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, a mis padres **Armando Mario** y **Yudy Yanet** por ser el pilar más importante, quienes me brindaron todo su apoyo en los momentos mas difíciles y me dieron consejos para hacer de mi una mejor persona, a mi hermano **Lin Denis** por su cariño y compañía incondicional y a mi pareja **Frank Kevin** por su apoyo, comprensión y amor, también en memoria de mi Padrino **Biondi Claver Oviedo Villegas**, a todos ellos quienes son mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día, gracias por su apoyo incondicional, amor, paciencia, oportunidad y esfuerzo que me han permitido lograr este objetivo trazado. Estoy infinitamente agradecida.

Shirley Mirella Ticona Soto



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme a lo largo de mi camino y darme fuerzas para poder superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ciencias Biológicas por haberme abierto las puertas para poder formarme profesionalmente y a los docentes por brindarme sus conocimientos.

A mi asesor de tesis, Dr. Juan José Pauro Roque por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis padres y hermano que siempre con su consejo y apoyo me impulsaron a seguir adelante en mi carrera profesional.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Shirley Mirella Ticona Soto



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES	17
2.2 MARCO TEÓRICO	21
2.2.1 <i>Azotobacter sp</i>.....	21
2.2.2 Los suelos	25
2.2.2.1 Textura	27
2.2.2.2 Porosidad.....	27
2.2.2.3 Permeabilidad.....	27
2.2.2.4 Conductividad hidráulica - humedad	28



2.2.2.5	Salinidad – conductividad eléctrica	29
2.2.2.6	Materia orgánica	29
2.2.2.7	Potencial de hidrogeniones (pH).....	30
2.2.3	NORMATIVIDAD EN SUELOS: DECRETO SUPREMO N° 005-2022-MIDAGRI.....	31
2.2.3.1	Salinidad.....	32
2.2.3.2	Materia orgánica, fósforo y potasio	33
2.2.3.3	Reacción del suelo (pH).....	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE ESTUDIO.....	35
3.2	DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
3.4	EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE <i>Azotobacter sp</i> Y LOS PARÁMETROS PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUELOS.....	37
3.4.1	Toma de muestra	37
3.4.2	Recuento de <i>Azotobacter sp</i> en muestras de suelo.....	38
3.4.3	Determinación de pH y conductividad eléctrica en muestras de suelo ...	39
3.4.4	Variables analizadas	40
3.4.5	Técnica estadística	40
3.5	EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE <i>Azotobacter sp</i> Y LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS.....	41
3.5.1	Recuento de <i>Azotobacter sp</i> en muestras de suelo.....	41



3.5.2	Determinación de materia orgánica en muestras de suelo	42
3.5.3	Variables analizadas	43
3.5.4	Técnica estadística	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE <i>Azotobacter sp</i> Y LOS PARÁMETROS PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO .	45
4.2	CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE <i>Azotobacter sp</i> Y LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	56
V.	CONCLUSIONES	63
VI.	RECOMENDACIONES	64
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXOS	73

ÁREA: CIENCIAS BIOMÉDICAS

SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DIAGNÓSTICO Y EPIDEMIOLOGÍA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 DE JULIO DEL 2024.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Componentes del suelo (promedios generales).	30
Figura 2 Mapa de puntos de muestreo de suelo en cada una de las localidades (primer muestreo recuadros naranjas y segundo muestreo recuadros verdes).	37
Figura 3 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de pH en suelos de la localidad de Antoñani.	46
Figura 4 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Antoñani.	47
Figura 5 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de pH en suelos de la localidad de Jayllihuaya.	50
Figura 6 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.	51
Figura 7 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de materia orgánica en suelos de la localidad de Antoñani.	57
Figura 8 Nivel de correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y los valores de materia orgánica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.	59
Figura 9 Preparación de medio mineral sin nitrógeno para el recuento de <i>Azotobacter</i> sp.	73
Figura 10 Colonias de <i>Azotobacter</i> sp en medio mineral sin nitrógeno.	75
Figura 11 Muestras de suelos preparadas para el proceso del secado.	75
Figura 12 Pesado de muestras de suelo en crisoles en la balanza analítica para la determinación de materia orgánica.	76
Figura 13 Rotulado de los crisoles conteniendo muestras de suelos para la determinación de materia orgánica.	76



Figura 14 Disposición de los crisoles conteniendo muestras de suelos en el horno mufla a 550 °C..... 76



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de la salinidad según la conductividad eléctrica (CE) en muestras de suelos.....	32
Tabla 2 Clasificación de la fertilidad del suelo según el contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponibles.....	33
Tabla 3 Clasificación de la reacción del suelo (pH) en muestras de suelo.	34
Tabla 4 Correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp, el pH y la conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Antoñani.	45
Tabla 5 Correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp, el pH y la conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.....	49
Tabla 6 Correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y el contenido de materia orgánica en suelos de la localidad de Antoñani.	56
Tabla 7 Correlación de los recuentos de <i>Azotobacter</i> sp y el contenido de materia orgánica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.....	58
Tabla 8 Recuentos de <i>Azotobacter</i> sp ($\times 10^3$ UFC/g) en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.	73
Tabla 9 Valores de pH de suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.....	73
Tabla 10 Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) de suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.	74
Tabla 11 Valores de materia orgánica (%) en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.	74



ACRÓNIMOS

°C:	grados centígrados
CV:	coeficiente de variabilidad
DE:	desviación estándar
et al.:	y colaboradores
g:	gramo
M1, M2 y M3:	muestras 1, 2 y 3
Mm:	milímetros
NTS – LI:	Norma técnica sanitaria – límite inferior
NTS – LS:	Norma técnica sanitaria – límite superior
P:	probabilidad
pH:	potencial de hidrogeniones
Prom:	promedio
SARM:	<i>Staphylococcus aureus</i> resistentes a la metilina
UFC/g:	unidades formadoras de colonia por gramo de muestra



RESUMEN

Los suelos del Altiplano Peruano poseen características microbiológicas y fisicoquímicas, donde la correlación de ambas, indican la fertilidad de un campo de cultivo. El objetivo fue: Evaluar la correlación de la carga bacteriana de *Azotobacter sp* y los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya de la provincia de Puno. El estudio fue observacional y analítico. Se evaluaron 9 muestras de suelo con dos repeticiones a 15 cm de profundidad en cada zona de muestreo y dispuestas en bolsas Ziploc rotuladas. La cuantificación bacteriana se realizó mediante el método de recuento en placa, la identificación mediante pruebas de oxidasa, degradación del manitol y tinción de Gram; el pH y la conductividad eléctrica (CE) mediante el método electrométrico; el contenido de materia orgánica mediante el método de calcinación. Los datos fueron evaluados mediante prueba de correlación de Pearson. Los resultados promedios en Antoñani y Jayllihuaya fueron: pH 6.36 y 7.21, CE 40.08 y 40.50 mS/cm, recuentos bacterianos 176.56 y 105.67×10^3 UFC/g y materia orgánica 11.79 y 3.32 %, respectivamente. Los recuentos bacterianos y el pH tuvieron correlaciones de 0.89 y -0.81; los recuentos bacterianos y la CE -0.41 y -0.50; y los recuentos bacterianos y la materia orgánica 0.89 y 0.72, respectivamente. Se concluyó que los valores de pH y los porcentajes de materia orgánica presentaron una correlación positiva con los recuentos de *Azotobacter sp*, mientras tanto que las cifras de conductividad eléctrica mostraron una correlación negativa al crecimiento bacteriano.

Palabras clave: *Azotobacter sp*, Conductividad, Correlación de Pearson, Materia orgánica, pH, Suelos.



ABSTRACT

The soils of the Peruvian Altiplano have microbiological and physicochemical characteristics, where the correlation of both indicates the fertility of a crop field. The objective was: to evaluate the correlation of the bacterial load of *Azotobacter sp* and the parameters pH, electrical conductivity and organic matter in soils from the towns of Antoñani and Jayllihuaya in the province of Puno. The study was observational and analytical 18 soil samples were evaluated at a depth of 15 cm in each sampling area and placed in labeled Ziploc bags. Bacterial quantification was performed using the plate count method, identification using oxidase tests, mannitol degradation and Gram staining; pH and electrical conductivity (EC) using the electrometric method; the organic matter content by the calcination method. The data were evaluated using Pearson's correlation test. The average results in Antoñani and Jayllihuaya were: pH 6.36 and 7.21, EC 40.08 and 40.50 mS/cm, bacterial counts 176.56 and 105.67 x 10³ CFU/g and organic matter 11.79 and 3.32%, et arespectively. Bacterial counts and pH had correlations of 0.89 and -0.81; bacterial counts and EC -0.41 and -0.50; and bacterial counts and organic matter 0.89 and 0.72, respectively. It was concluded that the pH values and the percentages of organic matter presented a positive correlation with the *Azotobacter sp* counts, while the electrical conductivity figures showed a negative correlation with bacterial growth.

Keywords: *Azotobacter sp*, Conductivity, Pearson correlation, Organic matter, pH, Soils.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La alimentación de la población con productos orgánicos es fundamental en el mantenimiento de salud pública, estos productos animales y vegetales deben ser obtenidos de una producción ecológica sin la aplicación de agroquímicos, ya que muchos de ellos son acumulables, dañinos y tóxicos a los seres humanos, razón por la cual se debe mantener a la microbiota bacteriana biofertilizante y los parámetros fisicoquímicos de los suelos para obtener alimentos sanos, siendo el género *Azotobacter* sp, la reportada en los suelos del altiplano peruano.

El conocimiento del estado actual de los parámetros fisicoquímico y bacteriológico en muestras de suelo de los campos de cultivo del Altiplano peruano, son desconocidos por los agricultores pero son imprescindibles para determinar la condición actual de los suelos y son de vital importancia para lograr grandes cosechas para el consumo humano; pero la aplicación de agroquímicos como los insecticidas, la urea, el agua de riego con valores fisicoquímicos bajos o elevados trae consigo la disminución de las actividades microbianas y de su población, importantes en la realización de los ciclos biogeoquímicos. Lo que se desea investigar es determinar si los recuentos de *Azotobacter* sp, estarían de acuerdo o relacionados al pH, su conductividad eléctrica y el contenido de la materia orgánica.

La correlación de los recuentos de *Azotobacter* sp con los parámetros pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica en una muestra de suelo, se debe de estudiar frecuentemente, porque son indicadores de fertilización biológica de un determinado suelo, al alterarse los parámetros fisicoquímicos como el pH y la



conductividad es posible que los nutrientes de un campo de cultivo y la disminución de la carga bacteriana de *Azotobacter sp* origine efectos adversos al crecimiento de las plantas y la población bacteriana, respectivamente.

La presente investigación se propone para conocer la situación actual de tres parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) y bacteriológicos (*Azotobacter sp*) en muestras de suelo de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya ubicados en la provincia y región Puno, en razón de que los parámetros pH que indica la acidez o alcalinidad de una muestra de suelo y la conductividad eléctrica elevada representarían una alta concentración de sales que traería consigo la disminución no solo de los recuentos bacterianos sino también del crecimiento vegetal, ya que las sales disueltas alterarían los procesos fisiológicos de las plantas y los microorganismos, por lo que consideramos de vital importancia esta propuesta de investigación.

Los recuentos bacterianos de un suelo son influidos por las características fisicoquímicas de los suelos, *Azotobacter sp* es una bacteria biofertilizante, sus bajos recuentos son un indicador de que los suelos poseen condiciones adversas para su sobrevivencia. En ese sentido, se desea evaluar la correlación de los recuentos bacterianos con los valores de pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica. Entre los estudios previos solo se reporta a Escalante (2018), quien evaluó parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los distritos de Acora, Ilave y Puno, los cuales favorecieron la presencia de microorganismos. Dadas las diferencias en la cuantificación bacteriana y determinación de parámetros fisicoquímicos en suelos de las dos localidades de la provincia de Puno, motivó la evaluación de los recuentos de *Azotobacter sp*, el pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica para asegurar una



producción óptima de alimentos cultivados. Por tal razón esta investigación tuvo los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la correlación de la carga bacteriana de *Azotobacter sp* con los parámetros fisicoquímicos en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya, provincia de Puno, durante los meses de mayo y agosto del año 2023.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la correlación de la carga bacteriana de *Azotobacter sp* y los parámetros pH y conductividad eléctrica en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya, provincia de Puno.
- Evaluar la correlación de la carga bacteriana de *Azotobacter sp* y los contenidos de materia orgánica en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya, provincia de Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Obando (2012), en el departamento del César (Colombia), indica que *Azotobacter* *sp* fija nitrógeno inclusive con presencia de oxígeno, en comparación con otras bacterias diazotróficas que sólo fijan en condiciones de anaerobiosis o en microaerofilia, utilizan gran cantidad de fuentes de carbono entre ellos azúcares, sales de ácidos orgánicos y alcoholes, posee la capacidad de fijar al menos 10 mg de nitrógeno por g de glucosa que consume, en presencia de nitrógeno combinado desarrollan adecuadamente en suelos con pH de 4.8 – 8.5 y cuando fijan el nitrógeno el pH es de 7.0 – 7.5.

Hernández et al. (2013), en Chihuahua (México), al evaluar el efecto de las prácticas agrícolas en las poblaciones bacterianas del suelo, en 11 muestras compuestas de suelos con actividad agrícola determinaron densidades de poblaciones bacterianas en niveles de 1×10^2 a 6.6×10^3 UFC/g, siendo valores muy bajos para la actividad agrícola, sugiriendo que vienen aplicando agroquímicos sobre las poblaciones microbianas del suelo. De manera general, se observaron las poblaciones bacterianas totales más elevadas tanto en suelos de cultivo de alfalfa en Ojinaga (4×10^5 UFC/g), como en suelos de nogal de la localidad de Casas Grandes (3.8×10^5 UFC/g); mientras que la población más pequeña se detectó en suelo de cultivo de papa, en la localidad de Delicias (4×10^3 UFC/g).

Constanza et al. (2015), en Cundinamarca (Colombia), afirman que la fijación de nitrógeno es afectada por la acidez o alcalinidad del suelo, la temperatura, el tipo de especie vegetal que prevalecen en la zona y las bacterias nitrificantes (simbióticas y no



simbióticas). *Azotobacter* prefiere suelos con pH mayores a 6, temperatura de 32 y 40 °C, requiere de oxígeno, entre otros, como la humedad que afecta a los microorganismos por ser aeróbicas y entre los metales son vitales para la fijación el vanadio, magnesio, calcio, azufre, fósforo, boro, molibdeno y cobalto.

La cuantificación de *Azotobacter sp* se realiza según las unidades formadoras de colonias (UFC) por unidad de peso o volumen de la muestra, siendo equivalentes al número de bacterias presentes en el suelo. Al respecto, Wani et al. (2016), en Estados Unidos, mencionan que, en la rizosfera de los suelos dejados de cultivar, los recuentos de *Azotobacter sp* suele ser mínima debido a los compuestos químicos presentes en los exudados radiculares. Por otro lado, la densidad bacteriana tiende a disminuir al profundizar los horizontes del suelo (Carranza, 2020) por tal razón, Córdova et al. (2009) establecieron un mayor conteo poblacional entre 2 cm y 19 cm de profundidad con recuentos de 11×10^2 UFC/g.

Esqueche y Quispe (2017), en Lambayeque (Perú) caracterizaron bacterias *Azotobacter* del rizopolano y rizósfera de *Asparagus officinalis* L. con potencial promotor del crecimiento vegetal, y los suelos de los campos de cultivos presentaron en una textura arenosa, el pH 6.5, la conductividad eléctrica 3.06 dS/m, materia orgánica 0.23%, nitrógeno 0.103%, fósforo 6 ppm y potasio 203 ppm.

Mahato y Kafle (2018), en Nepal, mencionan que el desarrollo de *Azotobacter sp* se da entre los pH 4.8 y 8.5, por otro lado, Dilworth et al. (1988) indican que la formación de los productos bacterianos se realiza en pH de 7.0 y 7.5; sin embargo, Wani et al. (2016) manifiestan que esta condición es ideal entre 6.5 y 7.5 y disminuye al bajar el pH a más ácido, e inclusive a un pH de 4 la bacteria todavía ejerce sus funciones.



Escalante (2018) en Puno (Perú) reporta que los suelos de las localidades de Santa Rosa de Yanaque (distrito de Acora), Camicachi (distrito de Ilave) y Jayllihuaya (distrito de Puno) presentaron valores de pH de 7.80, 6.90 y 6.30; conductividad eléctrica de 0.16, 0.11 y 0.12 mS/cm; contenido de fósforo 2.51, 3.63 y 3.07 ppm; de potasio 39, 64 y 38 ppm; y de materia orgánica en 1.45, 2.15 y 0.95 %, respectivamente.

Shirinbayan et al. (2019), en Tehran (Iran), indican que en el suelo la *Azotobacter sp* no reporta alteraciones con valores de conductividad eléctrica (CE) hasta 0.52 dS/m y valores inferiores a este. De manera similar, en medios líquidos el microorganismo es aplicado para remediar aguas residuales con valores de CE de 15 mS/cm llegando a brindar resultados satisfactorios (Ehaliotis et al. 1999).

Osorio et al. (2020), en Ancash (Perú) evaluaron el efecto de tres dosis de materia orgánica (MO) y la inoculación de microorganismos en el rendimiento de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) variedad Pasankalla. Concluyeron que al aplicar 20 Tn/ha de MO + microorganismos (300 g/ha de Tricho-D + 1 L/ha de Bacthon) se obtuvo alta rentabilidad por tanto el contenido de MO favorecería el crecimiento microbiano.

Pastor y Terrones (2020), en Trujillo (Perú), al inocular con micorrizas y *Rhizobium* en la calidad biológica de suelos, en suelos cultivados con *Phaseolus vulgaris* se determinó poblaciones de hongos y bacterias de 31.67×10^3 UFC/g suelo y 3.78×10^6 UFC/g suelo respectivamente.

Avellaneda (2022), en Cajamarca (Perú), afirman que el glifosato (1 kg/200 l de agua) aplicado en un experimento afectó el pH del suelo significativamente acidificándolo de 5.23 a 3.88, concluyendo que el herbicida afecta a *Azotobacter spp*, disminuyendo la población bacteriana de manera significativa ya que no estimula su



crecimiento.

Santellanez (2022) en Potosí (México) manifiestan que un suelo donde se realiza el manejo afecta las propiedades biológicas, físicas y químicas, estableciendo que el tipo de labranza afecta el pH, la conductividad eléctrica, el rendimiento, el recuento de hongos y las proteínas del suelo relacionadas con glomalina. Los géneros, *Pseudarthrobacter*, *Blastococcus*, *Rubellimicrobium* y *Rhizobium* abundaron al realizar la labranza convencional. Concluyendo que las bacterias del suelo son influenciadas por las prácticas de labranza, donde la agricultura de conservación favorece la abundancia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal incrementando el rendimiento de los cultivos.

Zavala (2022), en San Martín (Perú) identificó y determinó los parámetros fisicoquímicos para producir a escala la cepa *Azotobacter sp* de una zona cafetalera en Rioja, para ello recolectó muestras del suelo, cercanas a las raíces de los cafetales, donde identificaron a la bacteria de manera cualitativa macroscópica y pruebas bioquímicas, la capacidad de solubilizar fosfatos, producir ácido indolacético y fijar nitrógeno, concluyendo que las cepas se obtuvieron en gran rendimiento de biomasa en condiciones de pH 7, 30 °C de temperatura y 120 rpm de agitación.

Cervantes et al. (2022), en Nueva León (México), evaluaron el pH y la conductividad de un suelo adicionado con un consorcio bacteriano y un aditivo rico en fosfato para determinar la acumulación y translocación de arsénico en maíz, y registraron que los suelos agrícolas de San Luis Potosí presentaron un pH 8.2 ± 0.1 ; conductividad eléctrica 3.19 ± 0.02 mS/cm. Los suelos tratados con aditivo rico en fosfato presentaron un pH de 7.62 ± 0.08 , una conductividad de 3.5 ± 0.1 mS/cm y agregado con arsénico fue un pH de 7.59 ± 0.06 y 3.56 ± 0.09 mS/cm de conductividad y un suelo con aditivo de consorcio bacteriano tuvo un pH de 7.65 ± 0.08 y 3.8 ± 0.3 mS/cm de conductividad y



rico en arsénico un pH de 7.59 ± 0.05 y una conductividad de 3.8 ± 0.4 mS/cm.

Rorig et al. (2023) en Santiago del Estero (Argentina) estudiaron el comportamiento de las poblaciones bacterianas cultivables como las solubilizadoras de fosfato (BSP) en el suelo, concluyendo que las poblaciones de BSP fueron numerosas en suelos prístinos y que determinadas rotaciones de cultivos a largo plazo lograrían favorecer el incremento de dichas bacterias, y un aspecto a tomar en consideración sería diseñar ulteriores estrategias para buscar potenciales bioinoculantes.

Sánchez et al. (2022) en muestras de Texas (Estados Unidos) evaluaron la supervivencia del género y especies de *Azotobacter*, en combinación con las propiedades fisicoquímicas del suelo, reportaron que *Azotobacter* en suelos almacenados por 30 años tuvo un recuento de 12×10^6 UFC/g, de 52×10^6 UFC/g en suelo seco por 11 años y de 300×10^6 UFC/g de suelo seco recién colectado, concluyendo que las propiedades fisicoquímicas del suelo, el periodo de estiaje fue crítico para la supervivencia de *Azotobacter*.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 *Azotobacter sp*

Las bacterias del género *Azotobacter sp*, están enmarcadas en la siguiente clasificación taxonómica:

Dominio	: Bacteria.
Phylum	: Proteobacteria.
Clase	: Gamma proteobacteria.
Orden	: Pseudomonadales.
Familia	: Azotobacteraceae.



Género : *Azotobacter* (Ramos, 1992).

Especies : *Azotobacter vinelandii*.

Azotobacter chroococcum.

Azotobacter sp posee características pleomórficas, su tamaño celular oscila entre 1.5 y 2.0 μm , su forma puede variar desde bacilos hasta cocos, como también pueden verse como células individuales, en pares o en agregados irregulares. Se reproducen mediante fisión binaria y su desplazamiento es mediante flagelos peritricos (Espín, 2000). Aunque no producen esporas, desarrollan quistes resistentes a fármacos y a entornos adversos (Lin y Sadoff, 1968). Son catalasa positiva, aeróbicas y quimioheterotróficas, en razón de que utilizan azúcares, sales inorgánicas y alcoholes para crecer. Logran prosperar en condiciones bajas de oxígeno, pH de 7.0 – 7.5 y una temperatura de crecimiento de 30 °C (Mayea et al., 1998). Tienen la capacidad de fijar hasta 10 mg de nitrógeno por g de glucosa metabolizada, requiriendo molibdeno, utilizando sales de nitrato, aminoácidos y amonio como fuentes de nitrógeno (Lin y Sadoff, 1968). Algunas especies también producen alginatos, poli- α -hidroxibutirato (Horan et al., 1983) y hormonas vegetales como auxinas, giberelinas, citoquininas y pigmentos (González y López, 1986).

Las bacterias del género *Azotobacter sp*, presenta las especies *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter paspali*, *Azotobacter vinelandii*, *Azotobacter beijerinckii*, *Azotobacter armeniacus*, *Azotobacter nigricans* y *Azotobacter salinestris* (Page y Shivprasad, 1991), fijan nitrógeno asimbiótico, algunas degradan plaguicidas como endosulfan y solubilizan fosfato (Balandreau, 1986). El agar Ashby (medio mineral sin nitrógeno), permite el crecimiento de *Azotobacter sp*, el cual posee microelementos necesarios para la fijación biológica



de nitrógeno como el FeSO_4 , donde las colonias poseen una coloración crema, con formas irregulares, brillantes, tamaño mediano y son Gram negativos, grandes y cortos (Holt, 2000).

Azotobacter puede aislarse mediante técnicas convencionales usando azúcares, benzoato y fenol como fuente de carbono, la prueba de Nessler, la prueba de catalasa, la hidrólisis del almidón y la producción de 3- ácido indol acético (Tejera et al., 2005), su identificación molecular se puede lograr mediante el ADNr 16S, con ampliación de iniciadores FGPL y FGPS (Farajzadeh et ál., 2009).

El suelo se configura como un ecosistema extraordinariamente complejo, comparable a un microcosmos en el cual los minerales y la materia orgánica (ya sea viva o en descomposición), el agua y el aire coexisten en un espacio de intensa actividad fisicoquímica. Esta complejidad se manifiesta en la interacción íntima de las fases que componen el suelo, creando un sistema sin igual, de manera análoga, la materia orgánica presenta heterogeneidad debido a sus múltiples orígenes y diversos estados de descomposición (Osorio, 2009).

Dentro de este ambiente complejo, la población microbiana no es menos compleja, albergando bacterias, actinomicetos, cianobacterias, hongos, algas, protozoarios y virus. Aunque las bacterias suelen ser las más abundantes, los hongos representan aproximadamente el 70 % de la biomasa debido a su mayor tamaño. En un gramo de suelo seco, se pueden encontrar entre 10^6 y 10^8 bacterias, 10^6 y 10^7 actinomicetos, y 10^4 a 10^5 hongos. Otros microorganismos, como algas y protozoos, varían en concentración entre 10^3 y 10^6 , y 10^3 y 10^5 , respectivamente. Además, la rizosfera, el volumen de suelo cercano a las raíces influenciado por



las sustancias orgánicas liberadas por estas, exhibe una densidad poblacional mayor que el resto del suelo (Osorio, 2009).

La actividad microbiana en el suelo es diversa y forma parte integral de los ciclos biogeoquímicos de varios elementos, incluyendo carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O), fósforo (P) y azufre (S). Entre las actividades específicas en el suelo se incluyen la descomposición de materia orgánica y de materiales orgánicos añadidos, la fijación del nitrógeno atmosférico, la descomposición de minerales primarios, la mineralización del nitrógeno orgánico (nitrificación), la solubilización del fósforo, la oxidación del azufre, la producción de antibióticos, la formación de asociaciones simbióticas para mejorar la captación de nutrientes por las plantas, la protección de las plantas contra patógenos, y la descomposición de contaminantes (bioremediación), entre otras. Es crucial considerar que la clasificación de los organismos en heterótrofos, autótrofos y fotótrofos se realiza según la forma en que obtienen carbono (C) y energía. Los heterótrofos obtienen C y energía de la oxidación de materiales orgánicos, mientras que los autótrofos obtienen C del CO_2 y energía de la oxidación de sustancias inorgánicas. Por último, los fotoautótrofos obtienen C del CO_2 y energía de la luz solar (Osorio, 2009).

Las plantas desempeñan un papel significativo en la configuración de las comunidades microbianas presentes en el suelo, abarcando bacterias, actinomicetos, hongos, nematodos, entre otros, a través de procesos como la descomposición de materia orgánica y la interacción con las raíces, la actividad microbiana, influenciada por factores tanto intrínsecos como extrínsecos al sistema del suelo, se erige como un indicador crucial de la dinámica y salud del



recurso y una actividad microbiana saludable refleja condiciones físicas y químicas óptimas que propician el desarrollo de procesos metabólicos esenciales de bacterias, hongos, algas y actinomicetos, así como su influencia en los sustratos orgánicos (Paucar, 2018).

2.2.2 Los suelos

Los suelos, como sistemas naturales complejos y dinámicos, se desarrollan en la superficie de la corteza terrestre, albergando una variada comunidad de plantas y organismos vivos. Sus características y propiedades evolucionan a lo largo del tiempo bajo la influencia de agentes climáticos y bióticos que interactúan con los materiales geológicos, modulados por factores como el relieve y el drenaje. Este proceso de formación y evolución del suelo abarca un período temporal significativo y es fundamental para comprender su papel como soporte vital para la vegetación y la biodiversidad (Ramírez, 2016).

El suelo se compone de tres fases principales: sólida, líquida y gaseosa, siendo la fase sólida la más predominante. En esta fase, diversas partículas de distintos tamaños se encuentran rodeadas por agua y gases, cuyas proporciones y composición varían en el espacio y el tiempo. En términos de peso, los elementos del suelo se distribuyen de la siguiente manera: materia inorgánica (45 %), agua (20 – 30 %), aire (20 – 30 %) y materia orgánica (5 %). Existe un intercambio constante de moléculas e iones entre estas fases, facilitado por procesos físicos, químicos y biológicos (Hosokay, 2012).

La capa superior de la corteza terrestre, donde florece una abundante diversidad de organismos y vegetación, se gesta a partir de la descomposición de



las rocas, inducida por variaciones abruptas de temperatura, exposición a la humedad, al aire y a la influencia de organismos vivos. Esta estratificación presenta un perfil característico y fácilmente identificable en el horizonte. La matriz del suelo, compuesta por una amalgama de partículas sólidas y porosidad, configura un sistema trifásico que engloba sólidos, líquidos y gases. Su relevancia radica en su influencia en el ciclo del agua y el ciclo de los elementos, escenarios cruciales para la mayoría de las transformaciones de energía y materia en los ecosistemas. Es imperativo reconocer al suelo como un recurso no renovable, cuya disponibilidad se ve cada vez más limitada debido a procesos continuos de degradación y destrucción, ya sean de origen natural o provocados por actividades humanas (Ramírez, 2022).

Desde una perspectiva física, los suelos se encuentran conformados por partículas minerales y orgánicas de diversas dimensiones, dispuestas en una matriz que genera aproximadamente un 50 % de espacio poroso. Este espacio poroso, a su vez, se halla ocupado por agua y aire, dando lugar a un sistema trifásico compuesto por sólidos, líquidos y gases (Hernández, 2019).

Entre los factores que logran afectar la fertilidad del suelo son clasificados en directos e indirectos, donde los directos son el contenido de materia orgánica, la humedad y la aireación del campo; mientras que, la actividad de la biota del suelo, los métodos de labranza entre otros son los indirectos (Cherlinka, 2024). Los factores más importantes de la fertilidad del suelo son los siguientes:



2.2.2.1 Textura

La textura se define como la organización y disposición de los granos o minerales individuales en un suelo, considerando aspectos como su tamaño, forma y nivel de cristalización. Esta propiedad, de naturaleza compleja, está directamente influenciada por el origen del material y las características intrínsecas de los granos. Su determinación reviste gran importancia, dado que guarda una estrecha relación con propiedades fundamentales tanto índice como mecánicas, entre las cuales se incluyen la porosidad, permeabilidad y resistencia del material (Cherlinka, 2024).

2.2.2.2 Porosidad

La conversión de la roca en suelo es en gran medida resultado de la eliminación y descomposición del material, así como de la creación de porosidades dentro de la estructura sólida. Estos espacios, comúnmente conocidos como vacíos, albergan en realidad tanto aire como agua. La presencia de poros resulta esencial, ya que, sin ellos, el suelo carecería de las condiciones necesarias para sustentar la vida vegetal (Hernández, 2019).

2.2.2.3 Permeabilidad

Desde un enfoque cualitativo, la permeabilidad del suelo se refiere a la facilidad con la que este permite la conducción o transmisión de fluidos, ya sean aire o agua. Cuantitativamente, la permeabilidad se define como la propiedad de un medio poroso que permanece constante, independientemente del fluido utilizado para las mediciones y, por ende,



de su viscosidad. Factores como la presencia de capas endurecidas, alteraciones en la textura, contenido de materia orgánica, actividad microbiológica, el paso del arado, entre otros, afectan la permeabilidad. El continuo uso de labranza y maquinaria en exceso tiende a disminuir la permeabilidad, mientras que la adopción de prácticas de labranza de conservación, que incluyen técnicas para el manejo eficiente del agua, la incorporación de residuos vegetales, estiércol y otras estrategias, puede aumentar la permeabilidad y mejorar la retención de agua. En consecuencia, se logra un uso más eficiente y sostenible del agua y otros recursos relacionados con la agricultura (Hernández, 2019).

2.2.2.4 Conductividad hidráulica – Humedad

La conductividad hidráulica emerge como una propiedad de gran importancia en medios porosos, indicando la capacidad de movilidad del agua en el suelo, y su variabilidad se encuentra vinculada al grado de saturación y la naturaleza del sustrato. Este parámetro desempeña un papel crucial tanto en la gestión agrícola de los suelos como en la evaluación ecológica de los sitios. La conductividad hidráulica se revela fundamental para entender la interacción entre el agua superficial y subterránea, posibilitando la valoración de las reservas y recursos subterráneos, su utilidad se extiende a la estimación de la recarga, un componente esencial en modelos que abordan la relación precipitación-infiltración-recarga, los cuales describen procesos presentes en el flujo a través de la zona parcialmente saturada, además, la conductividad hidráulica constituye un elemento clave en la formulación de modelos numéricos, tanto directos



como inversos, en el ámbito de la hidrogeología de flujo y transporte. Finalmente, cabe destacar su aplicación en estudios relacionados con la calidad y contaminación de las aguas subterráneas, abordando aspectos como la contaminación puntual y difusa, así como su participación en la gestión de almacenamiento de residuos y la descontaminación de acuíferos (Cherlinka, 2024).

2.2.2.5 Salinidad – Conductividad eléctrica

Cuando el drenaje del suelo se ve interrumpido, ya sea por diversas razones, y especialmente en regiones áridas y semiáridas caracterizadas por baja precipitación y alta evaporación, se propicia la acumulación de sales en la superficie del suelo o justo debajo de ella. Este fenómeno se origina debido a la evaporación del agua que ha ascendido a la superficie, impulsada por la acción capilar. Con este aumento en la acción capilar, las sales se acumulan progresivamente en el horizonte superficial del suelo (Hernández, 2019).

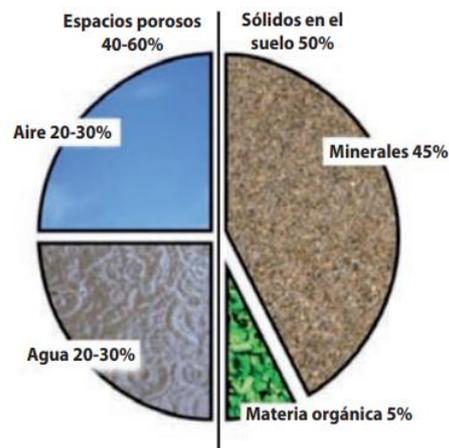
2.2.2.6 Materia orgánica

La materia orgánica de un suelo en cantidad y en calidad, determina la fertilidad del suelo, en razón que es la fuente de nutrientes que luego de ser mineralizados por los microorganismos quedando disponibles para las plantas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica de residuos de plantas y/o animales, liberando los nutrientes fósforo, nitrógeno y azufre, disponible para las plantas. La materia orgánica también mejora la estructura edafológica, incrementando los procesos de

reciclaje de nutrientes mediante la degradación de residuos tanto vegetales y/o animales, manteniendo el carbono en la misma biomasa, y ayuda al suelo mejorando la capacidad de almacenar y otorgar nutrientes a las plantas. Las proporciones de materia inorgánica (minerales), orgánica, la aireación y la humedad, determinan en gran medida la fertilidad del suelo y, por lo tanto, la producción de cultivos, tal como observa en la Figura 1 (Martínez y Gallardo, 2017).

Figura 1

Componentes del suelo (promedios generales).



Fuente: Adaptado de The COMET Program (2017)

Fuente: Adaptado de The Comet Program (2017) citado en Martínez y Gallardo (2017).

2.2.2.7 Potencial de hidrogeniones (pH)

El pH o concentración de iones hidrógeno (H^+), en el suelo, es un indicador si un suelo es ácido o alcalino, es importante para conocer la disponibilidad de nutrientes esenciales necesarios para las plantas, en razón que influyen en la solubilidad y movilidad de los mismos en el suelo. Ante un suelo con pH moderado a fuertemente ácido, se debe aplicar



enmiendas calcáreas siendo las especies leguminosas serían las más beneficiadas con un aumento del pH (Vistoso y Martínez, 2022).

A pH ácido del suelo, la actividad microbiana es reducida, en razón que está encargada del proceso de mineralización de la materia orgánica y la disponibilidad de fósforo, nitrógeno, azufre y potasio, asimismo solubiliza aluminio y manganeso, ocasionando fitotoxicidad, como la reducción de la longitud de la raíz, daña raíces laterales y disminuye la absorción de nutrientes esenciales y agua esenciales (Vistoso y Martínez, 2022).

2.2.3 Normatividad en suelos: Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI

El Decreto Supremo aprueba el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, se encuentra dentro de la normatividad del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, promulgado en el Diario Oficial El Peruano en fecha domingo 24 de abril del 2022, donde menciona los parámetros edafológicos y su clasificación de los suelos:

2.2.3.1 Salinidad

Los suelos según su salinidad pueden ser:

Tabla 1

Clasificación de la salinidad según la conductividad eléctrica (CE) en muestras de suelos.

Símbolo	Clase	Descripción
0	No salino	La conductividad eléctrica (CE) de los suelos es menor de 2 dS/m. La vegetación de clases, no limitan el desarrollo de especies vegetales sensibles.
1	Muy ligeramente salino	La CE de los suelos es de 2 – 4 dS/m. La concentración de sales, limitan el desarrollo de especies vegetales sensibles.
2	Ligeramente salino	La CE de los suelos es de 4 – 8 dS/m. La concentración de sales, inhibe el desarrollo de las especies vegetales sensibles; sin embargo, permite el desarrollo normal de especies vegetales tolerantes.
3	Moderadamente salino	La CE de los suelos es de 8 – 16 dS/m. La concentración de sales, permite el desarrollo de especies vegetales tolerantes.
4	Fuertemente salino	La CE de los suelos es mayor de 16 dS/m. La concentración de sales, permite el desarrollo de especies vegetales muy tolerantes.

Fuente: Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI.

2.2.3.2 Materia orgánica, fósforo y potasio

Relacionada al contenido de materia orgánica (nitrógeno), fósforo y potasio de la carga superficial del suelo, hasta 30 cm de espesor. Su valor alto, medio o bajo se determina aplicándose la ley del mínimo, ello quiere decir que es definida por el parámetro que presenta el menor valor.

Tabla 2

Clasificación de la fertilidad del suelo según el contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponibles.

Nivel	Materia orgánica (%)	Fósforo disponible (ppm)	Potasio disponible (pp)
Bajo	Menor de 2	Menor de 7	Menor de 100
Medio	2 - 4	7 - 14	100 - 240
Alto	Mayor a 4	Mayor de 14	Mayor de 240

Fuente: Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI.

2.2.3.3 Reacción del suelo (pH)

Es el grado de acidez o alcalinidad del suelo. El valor pH utilizado para la determinación de la CTCUM será obtenido mediante promedio ponderado, considerando el espesor de los horizontes o capas de suelo y el valor de su respectivo pH, entre 15 y 50 cm de profundidad.



Tabla 3

Clasificación de la reacción del suelo (pH) en muestras de suelo.

Rangos	Clases
Menos de 3.5	Ultra ácido
3.6 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente ácido
Más de 9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

Las muestras de suelos procedieron del sector Antoñani, distrito de Paucarcolla, provincia y región Puno, ubicado en las coordenadas 15°46'51.9" latitud sur y 70°05'28.1" longitud oeste, caracterizada porque los agricultores aplican fertilizantes químicos como insecticidas, urea, estimulantes foliares y goma azucarada contra las plagas, en ellas se siembra papa, quinua, habas entre otros cultivos. La segunda zona de estudio fue la calle Los Jazmines N° 264, ubicada en el centro poblado de Jayllihuaya, distrito, provincia y región Puno, en las coordenadas 15°52'47.4" latitud sur y 69°58'19.3" longitud oeste, donde fumigan para eliminar mosquitos y no usan fertilizantes, en ellas se siembran hortalizas, fresas y zanahorias.

El aislamiento bacteriano de *Azotobacter* sp, las evaluaciones de pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica a partir de muestras de suelos de las localidades antes mencionadas, fueron procesadas en la ciudad de Puno, específicamente en el Laboratorio de Microbiología Clínica del programa de Microbiología y Laboratorio Clínico, Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano.

3.2 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se realizó un diseño observacional (Hernández et al., 2014), en razón que en las muestras de suelos se cuantificó *Azotobacter* sp, el pH, la conductividad y el contenido de materia orgánica. Adicionalmente, fue transversal porque



se desarrolló entre los meses de mayo a setiembre del año 2023.

El estudio fue de tipo correlacional (Hernández et al., 2014), porque los recuentos bacterianos de *Azotobacter* sp, se relacionaron con los valores de pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica de muestras de suelos procedentes de los campos de cultivo de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya ubicados en los distritos de Paucarcolla y Puno respectivamente, porque las evaluaciones registradas fueron evaluadas mediante pruebas de correlación de Pearson.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población (N) de los suelos en estudio estuvo conformado por 100 m² de terreno en cada una de las zonas de estudio (localidades de Antoñani y Jayllihuaya).

- **Tamaño de las unidades de observación.** Se calculó a partir de la población (100 m²), eligiéndose de manera al azar 18 m² en cada localidad de estudio (Antoñani y Jayllihuaya), con la finalidad de lograr muestras representativas de los campos de cultivo a evaluar, donde los metros cuadrados elegidos fueron dispersos en todo el terreno de cultivo, de las cuales se evaluaron 9 muestras de suelo, siendo la primera repetición (recuadros naranjas), a continuación, se realizó el estudio de 9 muestras más, siendo la segunda repetición (recuadros verdes), tal como se aprecia en la Figura 2, aplicándose así el muestreo probabilístico por conveniencia (Charca, 2019). En los resultados se visualizan 9 muestreos, como promedio de la primera y segunda repetición.
- **Criterio.** Las unidades de observación se recolectaron desde suelos cultivados en la campaña 2022, en puntos elegidos al azar.

Figura 2

Mapa de puntos de muestreo de suelo en cada una de las localidades (primer muestreo recuadros naranjas y segundo muestreo recuadros verdes).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
60	59	58	57	56	55	54	53	52	51
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
100	99	98	97	96	95	94	93	92	91

Fuente: Elaboración propia.

3.4 EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter sp* Y LOS PARÁMETROS pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUELOS

3.4.1 Toma de muestra

Las muestras de suelo a partir del cual se aislaron las bacterias del género *Azotobacter sp* fueron aisladas y cuantificadas desde suelos de los campos de cultivo. Las muestras de suelos procedieron del sector Antoñani, distrito de Paucarcolla, provincia y región Puno, y en la calle Los Jazmines N° 264, ubicada



en el centro poblado de Jayllihuaya, distrito, provincia y región Puno. De acuerdo a la Guía para Muestreo de Suelos del MINAM (2014), se determinaron 21 puntos de muestreo de suelos en cada zona de estudio. La recolección de las muestras de suelo se realizó a una profundidad de 15 cm de profundidad, se tomaron con una pala pequeña 3 Kg de suelo como sub muestra de cada punto de muestreo, las que fueron transferidas a bolsas Ziploc con cierre hermético y debidamente rotulado en una cantidad de muestra de 500 g donde se realizará los análisis (Pastor y Terrones, 2020). Las muestras se colectaron cada 15 días, hasta cumplir con el tamaño de muestra por zona de estudio.

3.4.2 Recuento de *Azotobacter sp* en muestras de suelo

- a. **Nombre de la técnica:** Recuento en placa (Camacho et al., 2009).
- b. **Fundamento:** La técnica resulta en “unidades formadoras de colonias” o UFC presentes por cada g o ml de muestra, donde cada colonia que crezca sobre el medio de cultivo después de un tiempo de incubación a la temperatura óptima, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos; dichos microorganismos son idóneos de formar colonias (Camacho et al., 2009). En la investigación se utiliza el medio de cultivo Ashby, donde *Azotobacter sp* se caracteriza por formar pequeñas transparentes, convexas y de borde circular.
- c. **Procedimiento.** Se realizó de acuerdo al Manual de Microbiología Agrícola (Zúñiga, 2012), el cual consta de los siguientes procedimientos.
 - Se tomaron 10 g de muestra de suelo de cada uno de los campos de cultivo, que fueron transferidos 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 10^{-4} en tubos que contenían caldo sin nitrógeno (Zapater, 1975). Se consideraron tres tubos por dilución.
 - Todos los tubos de diluciones fueron incubados a 28 °C por 7 a 10 días.
- d. Lectura (observación y medición).** Se realizó el conteo de *Azotobacter* sp en las placas, considerando aquellas que presentaron entre 30 y 300 colonias, posteriormente fueron multiplicadas por la dilución correspondiente, los resultados se expresaron en UFC/g de suelo.

3.4.3 Determinación de pH y conductividad en muestras de suelo

- a. Nombre de la técnica.** Walkley – Black (Belizario, 2002; Manríquez et al., 2022)
- b. Fundamento.** El pH y la conductividad eléctrica se mide mediante el pHmetro y el conductímetro, quienes constan de un electrodo de vidrio que generan corriente eléctrica equivalente a la concentración de protones de una solución, que se registra en un galvanómetro, donde la corriente se transforma en unidades de pH o en $\mu\text{S}/\text{cm}$ mediante procedimientos de calibración. El pHmetro se calibra potenciométricamente, mediante un electrodo indicador utilizando patrones trazables (Severiche et al., 2013).
- c. Procedimientos.** La determinación del pH y la conductividad se realizó según las recomendaciones de Belizario (2002) y Manríquez et al. (2022), que tuvieron los siguientes procedimientos:
- Se transfirió 10 g de tierra fina, secada al aire y se traspasó por el tamiz de



2 mm.

- Se adicionó 25 ml de agua destilada con una relación tierra y agua 1:2.5.
 - Se mezcló mediante un vortex por un tiempo de 15 minutos.
 - A continuación, se dejó reposando por un tiempo de 10 minutos.
 - Se calibró el potenciómetro y el conductímetro, usando las soluciones buffer de pHs 4, 7 y 10, así como soluciones electrolíticas estándar. De similar forma el conductímetro fue calibrado por su solución estándar.
 - Los electrodos de ambos equipos fueron lavados y secados con papel filtro después de cada lectura.
 - Se introdujo el electrodo en la suspensión agua – suelo, los extremos del electrodo no deben tocar el fondo del vaso.
- d. Lectura (observación y medición).** Se registró el valor del pH y de la conductividad eléctrica que se visualicen en la pantalla de cada equipo.

3.4.4 Variables analizadas

- **Variable independiente:** parámetros fisicoquímicos del suelo.
- **Variable dependiente:** carga bacteriana de *Azotobacter sp* del suelo.

3.4.5 Técnica estadística

Los recuentos bacterianos de los suelos de la provincia de Puno fueron analizados mediante estadística descriptiva (media y coeficiente de variabilidad), asimismo se realizó pruebas de T de Student previa evaluación de los supuestos. La correlación de Pearson fue calculada para determinar la asociación entre los



recuentos bacterianos y los parámetros pH y conductividad, el cual tuvo valores entre -1 a +1. Las evaluaciones realizadas tuvieron dos repeticiones, en los resultados se presenta 9 datos, que proceden del promedio de las dos repeticiones anteriormente mencionados. El nivel de confiabilidad fue del 95%. Los análisis bioestadísticos se realizaron en el software estadístico libre Infostat versión estudiantil.

3.5 EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter sp* Y LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS

3.5.1 Recuento de *Azotobacter sp* en muestras de suelo

- a. **Nombre de la técnica.** Recuento en placa (Camacho et al., 2009).
- b. **Fundamento.** La técnica resulta en “unidades formadoras de colonias” o UFC presentes por cada g o ml de muestra, donde cada colonia que crezca sobre el medio de cultivo después de un tiempo de incubación a la temperatura óptima, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos; dichos microorganismos son idóneos de formar colonias (Camacho et al., 2009). En la investigación se utiliza el medio de cultivo Ashby, donde *Azotobacter sp* se caracteriza por formar pequeñas transparentes, convexas y de borde circular.
- c. **Procedimiento.** Se realizó de acuerdo al Manual de Microbiología Agrícola (Zúñiga, 2012), el cual consta de los siguientes procedimientos:
 - Se tomaron 10 g de muestra de suelo de cada uno de los campos de cultivo, que fueron transferidos 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 10^{-4} en tubos que contenían caldo sin nitrógeno (Zapater, 1975). Se consideraron tres tubos por dilución.
- Todos los tubos de diluciones fueron incubados a 28 °C por 7 a 10 días.

d. Lectura (observación y medición)

- El conteo de *Azotobacter sp* se realizó en placas cultivadas, considerando aquellas que presentaron entre 30 y 300 colonias, posteriormente fueron multiplicadas por la dilución correspondiente, los resultados se expresaron en UFC/g de suelo.

3.5.2 Determinación de materia orgánica en muestras de suelo

- a. Nombre de la técnica.** Por calcinación (Schulte y Hopkins, 1996, citado por Eyherabide et al. 2014).
- b. Fundamento.** La técnica por calcinación, aprovecha la energía calorífica emanada en el interior de una mufla con la finalidad de destruir la materia orgánica de manera completa, para ello se requiere de aproximadamente 4.5 horas y una temperatura de 450 a 500 °C. Posee inconvenientes como el tiempo necesitado para la mineralización, asimismo se tiene la posibilidad de la volatilización de determinados elementos (Schulte y Hopkins, 1996, citado por Eyherabide et al. 2014).
- c. Procedimiento.** La determinación de materia orgánica fue mediante el método por calcinación, para ello se realizó los siguientes procedimientos:



- Se pesaron 5 g de cada uno de los suelos, luego fueron dispuestas en capsulas de porcelana taradas, a continuación, las muestras fueron secadas por 24 horas en el horno eléctrico Gilson® a una temperatura de 105 °C, con la finalidad de retirar la humedad remanente de las muestras de suelo.
- Luego de 24 horas y las muestras estables, se enfriaron en un desecador de vidrio y se obtuvo el peso inicial en una balanza analítica de 0.0001 g de precisión.
- Luego se introdujo en la mufla multipropósito para lograr la calcinación a una temperatura de 360 °C por un lapso de 2 horas, seguidamente, se enfriaron en el desecador de vidrio y se pesó la muestra en una balanza analítica de precisión.
- La materia orgánica que presentó la muestra se determinó por la diferencia de los pesos inicial y final (Izquierdo y Arévalo, 2021).

d. Lectura (observación y medición)

- El cálculo del porcentaje de materia orgánica en muestras de suelo luego de someter a la calcinación se presenta en la siguiente ecuación (Izquierdo y Arévalo, 2021):

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

3.5.3 Variables analizadas

- **Variable independiente:** contenido de materia orgánica en suelo.
- **Variable dependiente:** carga bacteriana de *Azotobacter sp* del suelo.



3.5.4 Técnica estadística

La cuantificación del contenido de materia orgánica en los dos suelos de la provincia de Puno fue analizada mediante estadística descriptiva (media y coeficiente de variabilidad), asimismo se realizó pruebas de T de Student previa evaluación de los supuestos. La correlación de Pearson fue calculada para determinar la asociación entre los recuentos bacterianos y la materia orgánica, el cual tuvo valores entre -1 a +1. Las evaluaciones realizadas tuvieron dos repeticiones, en los resultados se presenta 9 datos, que proceden del promedio de las dos repeticiones anteriormente mencionados. El nivel de confiabilidad fue del 95%. Los análisis bioestadísticos se realizaron en el software estadístico libre Infostat versión estudiantil.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter sp* Y LOS PARÁMETROS pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO

4.1.1 Carga bacteriana, pH y conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Antoñani

Tabla 4

*Correlación de los recuentos de *Azotobacter sp*, el pH y la conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Antoñani.*

Evaluación (n=2)	Recuentos bacterianos ($\times 10^3$ UFC/g)	pH	Análisis bioestadístico	CE (mS/cm)	Análisis bioestadístico
1	38	6.1	$r = 0.89$	118.6	$r = -0.41$
2	32	6.3		125.4	
3	44	5.9	$R^2 =$	110.3	$R^2 =$
4	268	6.8	0.7933	0.7	0.1707
5	255	6.8		0.8	
6	287	6.1	$Y = -$	0.9	$Y =$
7	232	6.5	1776.4 +	1.2	206.63 -
8	210	6.3	307.29 X	1.4	0.7504 X
9	223	6.4		1.4	
Promedio	176.56	6.36		40.08	
Nivel		Ligeramente ácido		Fuertemente salino	

Donde: pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; UFC/g: unidades formadoras de colonia por g de suelo; R^2 : coeficiente de determinación; Y: ecuación de la regresión; r: coeficiente de correlación de Pearson; n=2: promedio de dos repeticiones.

Fuente: Elaboración propia.

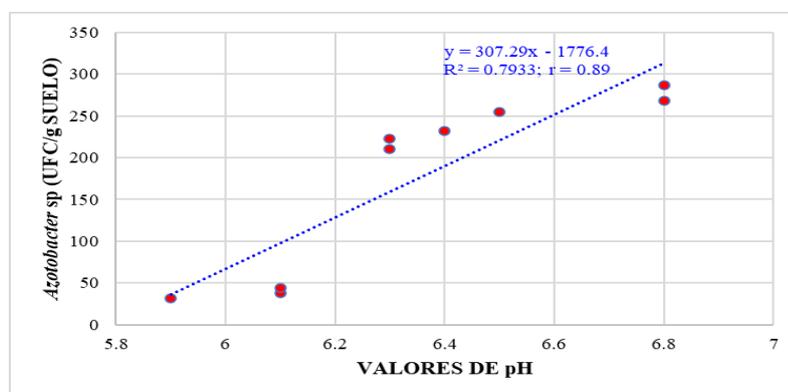
En la Tabla 4 se presentan los recuentos bacterianos promedios de *Azotobacter sp* con 176.56×10^3 UFC/g, los valores de pH con 6.36 clasificado como ligeramente ácido y de conductividad eléctrica de 40.08 mS/cm catalogado

como fuertemente salino, asimismo se visualizan los coeficientes de determinación, de correlación de Pearson y los valores de la ecuación de la recta de la regresión. Luego de analizar las muestras de suelo de la localidad de Antoñani, se determinó que los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de pH de los suelos presentaron un coeficiente de correlación de Pearson positiva y muy alta ($r=0.89$), lo cual significa que a bajos valores de pH los recuentos bacterianos también disminuyen, asimismo mientras que al incrementar el pH los recuentos bacterianos se incrementan.

El coeficiente de determinación de 0.7933, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 79.33 % por la acción del pH del suelo; mientras que el 20.67 % lo afectarían factores como la materia inorgánica, materia inorgánica, la permeabilidad, la aireación del suelo, entre otros parámetros. Asimismo, el valor de la recta de la regresión 307.29 (b) significa que por cada unidad de pH que podría incrementarse, el recuento de bacterias aumenta en 307.29 UFC/g de suelo (Figura 3).

Figura 3

Nivel de correlación de los recuentos de Azotobacter sp y los valores de pH en suelos de la localidad de Antoñani.

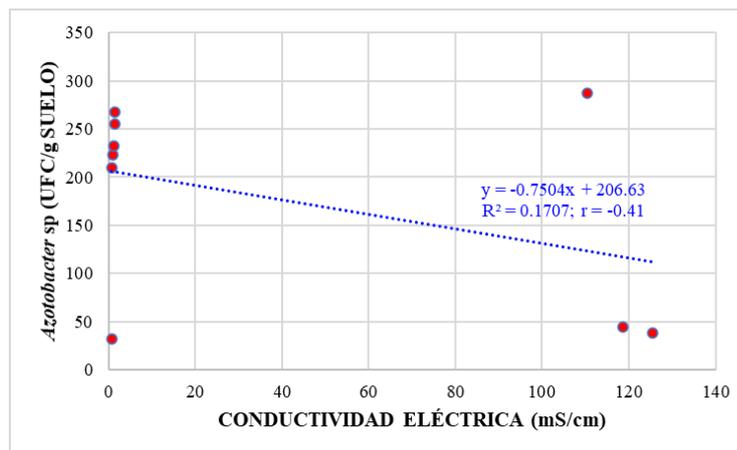


Fuente: Elaboración propia.

Con referencia a la correlación de los recuentos bacterianos y la conductividad eléctrica, se determinó un coeficiente de correlación de Pearson negativa y moderada ($r=-0.41$), lo cual significa que a altos valores de conductividad eléctrica los recuentos bacterianos disminuyen, y al disminuir la conductividad los recuentos bacterianos se incrementan. El coeficiente de determinación de 0.1707, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 17.07 % por la acción de la conductividad eléctrica del suelo, mientras que el 82.93 % estaría afectado por factores como la humedad, la aireación y el contenido de materia orgánica de los suelos los que influirían en el incremento bacteriano. Asimismo, el valor de la recta de la regresión 0.7504 (b) significa que por cada unidad de conductividad eléctrica que podría incrementarse, el recuento de bacterias disminuye en 0.7504 UFC/g de suelo (Figura 4).

Figura 4

Nivel de correlación de los recuentos de Azotobacter sp y los valores de conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Antoñani.



Fuente: Elaboración propia.



4.1.2 Carga bacteriana, pH y conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Jayllihuaya

En la Tabla 5 se presenta que en la localidad de Jayllihuaya, los recuentos de *Azotobacter sp* con 105.67×10^3 UFC/g, cifras de pH de 7.21, clasificado como neutro y valores de conductividad eléctrica de 40.50 mS/cm clasificado como fuertemente salino. Los recuentos bacterianos y el pH de los suelos presentaron un coeficiente de correlación de Pearson negativa y muy alta ($r=-0.81$), lo cual significa que al incrementarse los valores de pH los recuentos bacterianos también disminuyen, asimismo mientras que el pH es próximo a la neutralidad los recuentos bacterianos se incrementan. El coeficiente de determinación de 0.6547, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 65.47% por la acción del pH del suelo. Por otro lado, el valor de la recta de la regresión -702.04 (b) significa que por cada unidad de pH que podría incrementarse, el recuento de bacterias disminuye hasta en 702.04 UFC/g de suelo (Figura 5).

Tabla 5

Correlación de los recuentos de Azotobacter sp, el pH y la conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.

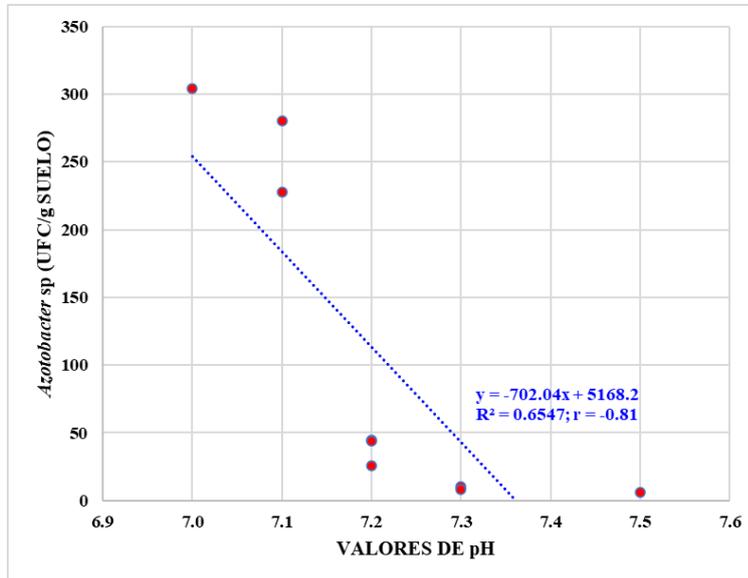
Evaluación (n=2)	Recuentos bacterianos (x10 ³ UFC/g)	pH	Análisis bioestadístico	CE (mS/cm)	Análisis bioestadístico
1	280	7.5	r = -0.81	1.7	r = -0.50
2	228	7.3		1.6	
3	304	7.3	R² =	1.2	R² = 0.2474
4	26	7.1	0.6547	119.4	
5	45	7.0		105.6	Y = 149.78
6	44	7.2	Y =	125.8	-1.0893 X
7	10	7.2	5168.2 –	3.6	
8	6	7.2	702.04 X	2.5	
9	8	7.1		3.1	
Promedio	105.67	7.21		40.50	
	Nivel	Neutro		Fuertemente salino	

Donde: pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; UFC/g: unidades formadoras de colonia por g de suelo; R²: coeficiente de determinación; Y: ecuación de la regresión; r: coeficiente de correlación de Pearson; n=2: promedio de dos repeticiones.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Nivel de correlación de los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de pH en suelos de la localidad de Jayllihuaya.

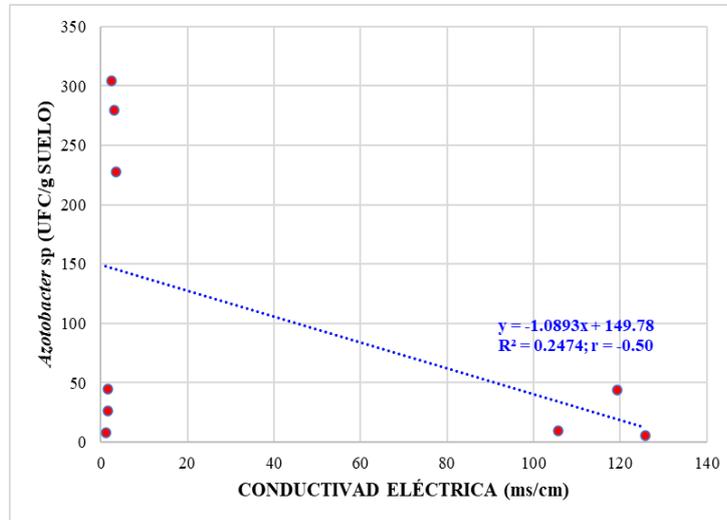


Fuente: Elaboración propia.

En suelos de la localidad de Jayllihuaya, los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de conductividad eléctrica resultaron con un coeficiente de correlación de Pearson negativa y moderada ($r=-0.50$), lo cual significa que a bajos valores de conductividad eléctrica los recuentos bacterianos incrementan, en contraste al incrementar las cifras de conductividad los recuentos bacterianos disminuyen. El coeficiente de determinación de 0.2474, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 24.74 % por la acción de la conductividad eléctrica del suelo, y un 75.26 % lo influirían otros factores como los contenidos de fósforo, potasio, la temperatura del suelo, entre otros parámetros. Asimismo, el valor de la recta de la regresión 1.0893 (b) significa que por cada unidad de conductividad eléctrica que podría incrementarse, el recuento de bacterias disminuye en 1.0893 UFC/g de suelo (Figura 6).

Figura 6

*Nivel de correlación de los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de conductividad eléctrica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.*



Fuente: Elaboración propia.

Los recuentos de *Azotobacter sp* obtenidos en la presente investigación tuvieron promedios de 176.56×10^3 UFC/g de suelo en la localidad de Antoñani y 105.67×10^3 UFC/g de suelo en la localidad de Jayllihuaya, estos resultados fueron superiores a los reportados por Hernández et al. (2013) quienes al evaluar poblaciones bacterianas en suelos de Chihuahua (México), reportaron valores de 1×10^2 a 4.4×10^3 UFC/g, siendo valores muy bajos para realizar actividad agrícola, por lo que los suelos evaluados se puede afirmar que se encuentran con una mejor carga bacteriana, según el mismo autor, aduce que se debería a la excesiva aplicación de agroquímicos, afectando la presencia de microorganismos. Se debe considerar también que la población bacteriana de la rizosfera de las plantas variaría de cultivo a cultivo, tal es el caso de la alfalfa el cual se determinó recuentos de 4×10^5 UFC/g superando los recuentos del presente estudio y en la papa con recuentos de 4×10^3 UFC/g, siendo inferior a los presentando en la investigación.



Los recuentos bacterianos obtenidos, se encuentran en el rango normal del crecimiento microbiano señalado por Hernández et al. (2013), quienes afirman que los valores de pH de 4.8 a 8.5 son donde normalmente desarrollan las bacterias, y la fijación de nitrógeno se realiza mejor entre 7.0 y 7.5. En la investigación los valores promedios de pH de 6.36 en suelos de Antoñani y 7.21 de Jayllihuaya se encuentran dentro del rango normal, e inclusive se puede afirmar que la mayor fijación de los cultivos se vendría presentando en suelos de Jayllihuaya, por lo que sería considerados como suelos de mayor productividad de los cultivos.

A pesar de ello los suelos de Antoñani, presentaron los mayores promedios de recuentos bacterianos, que los suelos de Jayllihuaya, esto debería probablemente a que presentaron pH mayores a 6, son suelos con buena oxigenación debido a que serían suelos arenosos, buena humedad y que presentarían metales útiles para la fijación de nitrógeno como son el vanadio, magnesio, calcio, azufre, fosforo, boro, molibdeno y cobalto (Constanza et al., 2015).

Por otro lado, los recuentos promedios de bacterias fueron menores en suelos de Jayllihuaya respecto de Antoñani, lo que se puede atribuir a la diferente liberación de exudados radiculares por las plantas cultivadas, que atraen y mantienen a las bacterias en las rizósferas (Wani et al., 2016), asimismo las muestras de suelos más superficiales serían los que tendrían los mayores recuentos bacterianos (Córdova et al., 2009).

Los valores promedios de pH 6.36 y 7.21 de los suelos Antoñani y Jayllihuaya, respectivamente, fueron similares a los reportados por Esqueche y



Quispe (2017), quienes en suelos de Lambayeque (Perú) determinaron cifras de pH 6.5, Mahato y Kafle (2018) indican que *Azotobacter sp* presentan un mejor desarrollo a pH de 4.8 y 8.5, Dilworth et al. (1988) entre 7.0 y 7.5, Wani et al. (2016) afirman que es ideal para el crecimiento bacteriano entre 6.5 y 7.5, en razón de que las enzimas y las demás biomoléculas que conforman sus células, mantienen el metabolismo activo, menores a estas cifras, el crecimiento microbiano disminuye. Asimismo, concuerda con los valores de pH determinados por Escalante (2018) en suelos de los distritos de Acora, Ilave y Jayllihuaya con valores de 7.80, 6.90 y 6.30, siendo apropiados para el crecimiento bacteriano.

En suelos de la localidad de Antoñani, se determinó que existió una alta correlación positiva entre los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de pH, lo que quiere decir que, a mayor pH o mientras más se acerca a la neutralidad, los recuentos bacterianos incrementaron, este parámetro influyó en un 79.33 %, mientras que 20.67 % lo influirían otros factores como la temperatura del suelo, los contenidos de minerales, la materia orgánica, entre otros, esto se debería a que las plantas cultivadas poseen un mejor desarrollo en valores de pH cercanos a la neutralidad, en razón de que los elementos nutritivos se encuentran con mayor disponibilidad y en un equilibrio más adecuado. Los suelos de la localidad de Antoñani presentaron cifras de pH menores de 6.36, lo cual indicaría que presentarían hidrogeniones y aluminio, el calcio, sodio, magnesio o potasio se convertirían en fracciones solubles y podrían ser fácilmente eliminados mediante el agua de lluvia o de riego, ante ello se recomendaría agregar caliza en suelos muy ácidos. En suelos de Jayllihuaya el pH es superior al neutro, por lo que sería un suelo básico, lo cual indicaría que está saturado (800 dS/cm) y con exceso de calcio que desencadenaría la mala absorción de hierro en las plantas, siendo



posible disminuirlo aplicando azufre, se debe considerar que las zonas agrícolas pueden tener suelos con valores de pH entre 4.5 y 9.5 (Bárbaro et al., 2019).

Por otro lado, las cifras promedio de conductividad eléctrica determinados en el presente estudio fueron de 40.08 mS/cm y 40.50 mS/cm, estos resultados fueron superiores a los reportados por Esqueche y Quispe (2017) quienes indicaron valores de conductividad de 3.06 mS/cm y a los resultados obtenidos por Escalante (2018) al registrar cifras de 0.16, 0.11 y 0.12 mS/cm en suelos de los distritos de Acora, Ilave y Jayllihuaya.

Los recuentos de *Azotobacter sp* y las cifras de conductividad eléctrica resultaron con una correlación negativa y moderada, por lo que se afirmaría que ante altos valores de conductividad los recuentos disminuirían, debiéndose a que tendría incrementado la concentración de sales minerales en los suelos, donde la planta tendrá dificultades para lograr la absorción de los nutrientes, conduciendo a un gasto de energía adicional en la planta, reduciendo el rendimiento productivo, originando la baja liberación de sustancias atrayentes de bacterias en la rizósfera. La conductividad eléctrica debe tener cifras bajas ya que originaría estrés salino (exceso de sales) en las plantas, que induciría a una reducción de la actividad fotosintética, incrementando la respiración vegetal y el consumo de energía, no siendo adecuado ya que se reduciría el desarrollo, la germinación, la brotación de fruto, y en general la producción disminuiría (Bárbaro et al., 2019). Los altos valores de conductividad eléctrica determinados en varios puntos de muestreo (40.08 a 40.50 mS/cm), se deberían a los residuos de agroquímicos, restos de cenizas concentradas, entre otras sales minerales o bien por riego con muestras de agua con altos valores de conductividad eléctricas, donde la conductividad



eléctrica del suelo no salino sería igual a cifras menores a 2 mS/cm, a pesar de ello, existen plantas tolerantes, que vendrían desarrollándose con toda normalidad.

De todo lo analizado, en suelos de la localidad de Antoñani se acepta de manera parcial la hipótesis planteada, en razón de que se determinó una correlación positiva y alta entre los recuentos de *Azotobacter sp* y el pH de los suelos, mientras que los recuentos bacterianos y la conductividad eléctrica resultó con una correlación negativa y moderada. Mientras que en suelos de la localidad de Jayllihuaya, no se acepta la hipótesis planteada en razón de que los recuentos de bacterias presentaron correlaciones negativas y altas respecto al pH y moderadas respecto a la conductividad eléctrica.

En pocas palabras se puede indicar que los suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya presentaron diferentes recuentos de *Azotobacter sp*, valores de pH y conductividad eléctrica, parámetros importantes e indicadores de la fertilidad de los suelos, las diferencias serían a causa del uso y aplicación de agroquímicos, la calidad de agua de riego, el tipo de abonamiento, entre otros factores que vendrían afectando dichas cifras, que es muy variables en diferentes partes de la región.

4.2 CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE *Azotobacter sp* Y LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

4.2.1 Correlación del recuento bacteriano y el contenido de materia orgánica en Antoñani

Tabla 6

*Correlación de los recuentos de *Azotobacter sp* y el contenido de materia orgánica en suelos de la localidad de Antoñani.*

Evaluación (n=2)	Recuentos bacterianos (x10 ³ UFC/g)	Materia orgánica (%)	Análisis bioestadístico
1	38	9.62	
2	32	9.15	
3	44	9.70	
4	268	14.47	r = 0.89
5	255	13.85	
6	287	15.02	R ² = 0.7941
7	232	11.57	
8	210	11.84	Y = -331.89 +
9	223	10.90	43.121 X
Promedio	176.56	11.79	
	Nivel	Alto (> 4 %)	

Donde: UFC/g: unidades formadoras de colonia por g de suelo; R²: coeficiente de determinación; Y: ecuación de la regresión; r: coeficiente de correlación de Pearson; n=2: promedio de dos repeticiones.

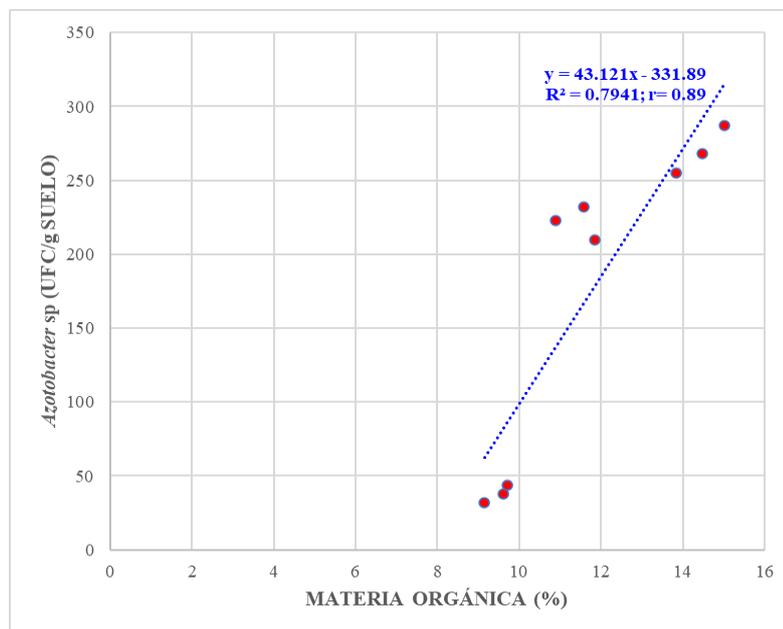
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se presentan los recuentos bacterianos promedios de *Azotobacter sp* con 156.56 x 10³ UFC/g y porcentajes de materia orgánica de 11.79 %, clasificado en el nivel alto (> 4 %) de materia orgánica, presentes en los suelos de la localidad de Antoñani. Posterior al análisis de las muestras de suelo,

se determinó que los recuentos de *Azotobacter sp* y los porcentajes de materia orgánica presentaron un coeficiente de correlación de Pearson positiva y muy alta ($r=0.89$), lo cual significa que a altos porcentajes de materia orgánica los recuentos bacterianos también incrementan.

Figura 7

Nivel de correlación de los recuentos de Azotobacter sp y los valores de materia orgánica en suelos de la localidad de Antoñani.



Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de determinación de 0.7941, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 79.41 % por la acción del porcentaje de materia orgánica, mientras que el 20.59 % estaría afectado por la humedad, el pH, la permeabilidad y la aireación. Asimismo, el valor de la recta de la regresión 43.121 (b) significa que por cada unidad de materia orgánica que se incremente, el recuento de bacterias aumenta en 43.121 UFC/g de suelo (Figura 7).

4.2.2 Correlación del recuento bacteriano y el contenido de materia orgánica en Jayllihuaya

Tabla 7

Correlación de los recuentos de Azotobacter sp y el contenido de materia orgánica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.

Evaluación (n=2)	Recuentos bacterianos (x10³ UFC/g)	Materia orgánica (%)	Análisis bioestadístico
1	280	6.50	
2	228	6.20	
3	304	5.90	
4	26	3.38	r = 0.72
5	45	3.50	
6	44	3.44	R² = 0.5205
7	10	0.43	
8	6	0.23	Y = 276.29 –
9	8	0.28	30.061 X
Promedio	105.67	3.32	
	Nivel	Medio (2 – 4 %)	

Donde: UFC/g: unidades formadoras de colonia por g de suelo; R²: coeficiente de determinación; Y: ecuación de la regresión; r: coeficiente de correlación de Pearson; n=2: promedio de dos repeticiones.

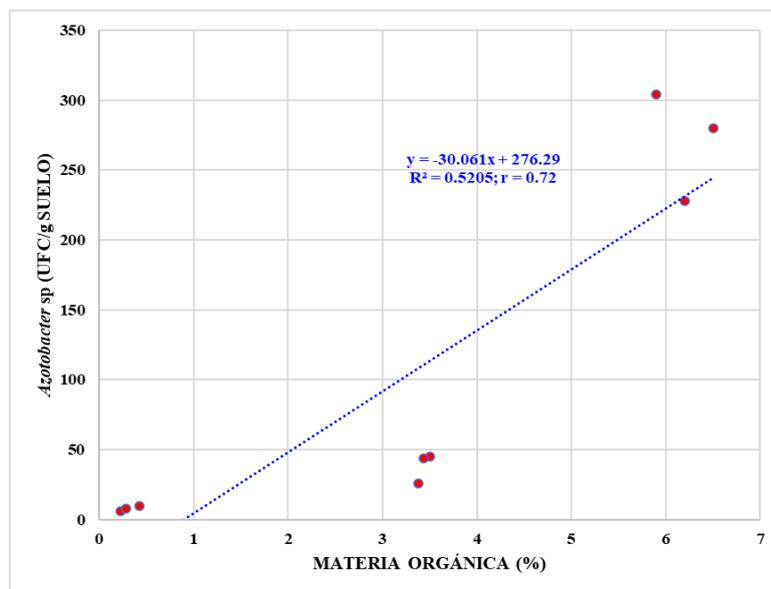
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se exhibe que los recuentos bacterianos promedios de *Azotobacter sp* de 156.56×10^3 UFC/g y los porcentajes de materia orgánica de 3.32 %, clasificado en el nivel medio (2 – 4 %) de materia orgánica, presentes en los suelos de la localidad de Jayllihuaya, presentaron un coeficiente de correlación de Pearson positiva y alta ($r=0.72$), lo cual significa que a altos porcentajes de materia orgánica los recuentos bacterianos también incrementan en los suelos de

Jayllihuaya. El coeficiente de determinación de 0.5205, indica que los recuentos bacterianos son influidos en el 52.05 % por la acción del porcentaje de materia orgánica, mientras que un 47.95 % el recuento lo estimularía el tipo de suelo arcilloso o arenoso (permeabilidad), la materia inorgánica o los minerales, la humedad, el pH, entre otros. El valor de la recta de la regresión 30.061 (b) significa que por cada unidad de materia orgánica que se incremente, el recuento de bacterias aumentará en 30.061 UFC/g de suelo (Figura 8).

Figura 8

Nivel de correlación de los recuentos de Azotobacter sp y los valores de materia orgánica en suelos de la localidad de Jayllihuaya.



Fuente: Elaboración propia.

Los contenidos de materia orgánica en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya fueron de 11.79 % y 3.32 %, respectivamente, estos resultados fueron superiores a los mencionados por Esqueche y Quispe (2017) que en suelos de Lambayeque (Perú) obtuvieron 0.23 %, y a los citados por Escalante (2018), quienes en suelos de los distritos de Acora, Ilave y Puno determinaron



cifras de 1.45 %, 2.15 % y 0.95 %, respectivamente. La materia orgánica de un suelo está compuesta por restos orgánicos alterados que incrementan el contenido de nutrientes en el suelo y posee una elevada capacidad de intercambio catiónico y por tanto retiene cationes en el suelo, evitando así su erosión, favoreciendo el desarrollo de la microfauna, por lo tanto, es un factor indirecto de la fertilidad de los campos de cultivo (Garrido, 1994).

El contenido de materia orgánica en un suelo favorece la proliferación de los microorganismos, esto es corroborado por Osorio et al. (2020), quienes en suelos de Ancash (Perú) al evaluar el efecto de la adición de tres dosis de materia orgánica en una cantidad de 20 Tn/ha de materia orgánica, concluyeron que incrementó el crecimiento microbiano y por tanto la rentabilidad del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Asimismo, la abundancia de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se influenciaría por las prácticas de labranza convencional como el movimiento de tierra y el abonamiento con materia orgánica como estiércoles de los animales tal como lo realizan en Potosí en México ya que afecta el pH, la conductividad, el rendimiento, el recuento de hongos y proteínas del suelo (Santellanez, 2022).

En suelos de la localidad de Antoñani, se determinó el mayor contenido de materia orgánica, esto se debería a que el contenido en materia orgánica se encuentra en mayor proporción sobre los primeros cinco centímetros del suelo en zonas naturales y a 10 cm en zonas cultivadas, desapareciendo entre los 30 y 60 cm, por tanto, si el campo de cultivo posee una baja productividad o está expuesto a un riesgo de erosión, se debe incrementar el contenido de materia orgánica, sin abusar ya que originaría un desequilibrio nutricional (Garrido, 1994).



En suelos de la localidad de Antoñani, se obtuvieron los mayores porcentajes de materia orgánica (11.79 %), lo cual influyó en el mayor recuento de *Azotobacter* sp, esto se debe a que la biota del suelo representada por los organismos que incluyen a los microorganismos, utilizan como nutrientes a los residuos de las plantas, los animales y a los derivados de la materia orgánica, luego los nutrientes en exceso como son el fósforo, el nitrógeno y el azufre, se liberan dentro del suelo para que sean tomadas por las plantas. Asimismo, muchos de los microorganismos pueden llegar a descomponer pesticidas y otros agentes contaminantes del suelo. Por lo tanto, la función microbiana en el suelo, es utilizada para determinar ciertas actividades microbianas se enuncien de manera eficaz, el papel preponderante como indicadores de la calidad y salud del suelo, contribuyendo a la nutrición y el ciclaje de nutrientes (Acuña et al., 2006).

Las bacterias presentes en la rizosfera afectan el crecimiento vegetal de manera positiva o negativa, estimulando el crecimiento de las plantas, la nutrición, la biología de la raíz y ayudar a la sostenibilidad en un largo plazo (Karagöz et al., 2012). La estimulación del crecimiento vegetal se realiza al suprimir enfermedades (bioprotectores), mejorar la captación de nutrientes (biofertilizantes) e influir en la producción de fitohormonas (bioestimulantes) (Saharan y Nehra, 2011).

En ambos suelos tanto en Antoñani y Jayllihuaya, se obtuvo una correlación positiva fuerte ($r=0.89$ y $r=0.72$, respectivamente) entre el crecimiento bacteriano y la concentración de materia orgánica, éste último presente en los suelos, favorecen la agregación microbiana, su estructura, la dinámica hídrica, las transformaciones de sus componentes beneficiando a las plantas. Se debe



considerar también que la materia orgánica es el principal factor que transgrede la relación sistema raíz – suelo y es una diferencia sobresaliente entre el suelo rizosférico y no rizosférico (Pozuelo, 1991).

Luego de realizar el análisis e interpretación de los resultados en la presente investigación, se acepta la Ha ya que afirmó que “A mayor carga bacteriana de *Azotobacter* sp, mayores serán los contenidos de materia orgánica en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya, provincia de Puno”, y es realmente lo que se determinó con valores de coeficientes de correlación positiva y alta de 0.89 y 0.72, al relacionar los recuentos bacterianos con el contenido de materia orgánica.

Para resumir, ambos suelos evaluados de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya, tienen un alto contenido de materia orgánica, lo que se refleja en la alta ocurrencia de *Azotobacter* sp, debido a que el suelo en ambas zonas de estudio suele ser fertilizado con materia orgánica como estiércol, guano de isla y postcosecha, las ramas del cultivo normalmente son enterrados entre los surcos para su descomposición y futuro abonamiento de sus campos de cultivo.



V. CONCLUSIONES

- Los recuentos de *Azotobacter sp* y los valores de pH presentaron una correlación positiva y muy alta ($r=0.89$), es decir que mientras se aproxime a la neutralidad, los recuentos bacterianos se incrementa; mientras tanto que la conductividad eléctrica presentó una correlación negativa y moderada (-0.41) en suelos de la localidad de Antoñani, significa que a mayores valores de conductividad, los recuentos bacterianos disminuyen; mientras tanto en Jayllihuaya, los recuentos bacterianos y el pH presentó una correlación negativa y alta (-0.81), que indica la disminución de bacterias ante valores alcalinos de pH y negativa baja con la conductividad eléctrica (-0.50) que significa que posee un moderado efecto sobre el recuento bacteriano.
- Los recuentos de *Azotobacter sp* y los porcentajes de materia orgánica en suelos de la localidad de Antoñani mostraron una correlación positiva y muy alta ($r=0.89$); mientras tanto, en suelos de la localidad de Jayllihuaya, los recuentos de *Azotobacter sp* y el contenido de materia orgánica tuvo una correlación positiva y alta ($r=0.72$), con ello se afirma que la presencia de materia orgánica en un suelo estimula la presencia de bacterias biofertilizantes.



VI. RECOMENDACIONES

- Cuantificar si los parámetros edafológicos de pH, conductividad eléctrica y la materia orgánica, afectarían el potencial productor de fitohormonas vegetales.
- Determinar qué sales minerales incrementan los valores de conductividad eléctrica vienen afectando los recuentos bacterianos en los suelos del Altiplano.
- Evaluar los parámetros edafológicos como el contenido de materia inorgánica, la humedad, la aireación, la textura, la porosidad y la permeabilidad de los suelos, para determinar su influencia en la fertilidad de un campo de cultivo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E. et al. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. XVII Reunión Internacional de la Asociación para la cooperación en Investigaciones de banano en el Caribe y en América Tropical. Joinville-Santa Catarina - Brasil.
- Avellaneda, V. (2022). Efecto del glifosato sobre la población de *Azotobacter* spp. presente en el suelo cafetalero de El Dorado, Moyobamba – San Martín. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú.
https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1568/Avellaneda_Marco_tesis_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Bárbaro, A., Karlanian, M. y Mata, D. (2019). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. INTA. Argentina. 11 p.
- Balandreau, J. (1986). Ecological factors and adaptative processes in N₂ - fixing bacterial populations of the plant environment. *Plant Soil*. Vol. 90: 73.
- Belizario, S. (2002). Informe de prácticas pre profesionales. Estación Experimental Illpa – Puno, Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas Tecnología. Puno – Perú. 110 p.
- Carranza, J. (2020). Evaluación de bioprotection AZV-C (*Azotobacter chroococcum*) como complemento de la fertilización nitrogenada para el crecimiento del cultivo de la piña (*Ananas comosus* var. *comosus*) híbrido MD-2 en Piedra Alegre de Pital, Costa Rica. Tesis de Ing. Agrónoma. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 101 p.
- Cervantes, A., Rosas, J., Muñoz, A., Guzmán, J., Hernández, A. y Hinojosa, L. (2022). Una evaluación de un consorcio bacteriano y un aditivo rico en fósforo en la acumulación de arsénico en planta de maíz (*Zea mays*). *Química Hoy Chemistry Sciences*. Vol. 11 (4): 7 p.
[file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Vol.11No42022-30-36+\(1\)+\(1\)+\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Vol.11No42022-30-36+(1)+(1)+(1).pdf).
- Charca, L. (2019). *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* en estetoscopios del personal asistencial y en los ambientes de medicina general del



- Hospital Manuel Núñez Butrón – Puno. Tesis Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13862>.
- Choque, C. (2011). Clasificación de tierras según su capacidad de uso e índice de fertilidad en el Municipio de Copacabana (La Paz). Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10253/T-1532.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Constanza, C., Antolínez, M., Bohórquez, A. y Corrales, M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. NOVA. Vol. 13 (24): 55-81. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>.
- Córdova, Y., Rivera, M., Ferrera, R., Obrador, J. y 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.
- Cherlinka, V. (2024). Fertilidad del suelo: cómo medirla y mejorarla. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/>.
- Dilworth, M., Eady, R. y Eldridge, M. (1988). The vanadium nitrogenase of *Azotobacter chroococcum*. Biochemical Journal. Vol. 249: 745 – 751.
- Ehaliotis, C., Papadopoulou, K., Kotsou, M., Mari, I. y Balis, C. (1999). Adaptation and population dynamics of *Azotobacter vinelandii* during aerobic biological treatment of olive-mill wastewater. FEMS Microbiology Ecology. Vol. 30: 301 – 311.
- 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 Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 80 p. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10031>.
- Espín, G. (2000). Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de México. Disponible desde 2016.



- Esqueche, A. y Quispe, G. (2017). Caracterización de bacterias del género *Azotobacter* aisladas de rizoplasma y rizósfera de *Asparagus officinalis* L. y su potencial como promotores de crecimiento en plantas.
- Eyherabide, M., Saínz-Rozas, H., Barbieri, P. y Echeverría, H. (2014). Comparación de Métodos para Determinar Carbono Orgánico en Suelo. Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 32(1): p 13-19.
- Farajzadeh, D., Yakhchal, B., Aliasghar zad, N. y Sokhandan, N. (2009). Isolation and identification of micro - organisms in isolation media for Azotobacteria. Unpublished.
- Garrido, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras. Núm. 5/93 HD. 40 p.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf.
- González, M. y López, J. (1986). Production of auxinas, gibberellins and cytokinins by *Azotobacter vinelandii*. ATCC12837, in chemically defined media and dialyzed soil media. New York, EU. McGraw-Hill: 119-120.
- Hernández R., Fernández C. & Baptista M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill. México. 600 p.
- Hernández, L., Munive, A., Sandoval, E., Martínez, D. y Villegas, M. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas de suelos en sistemas de cultivo de Chihuahua, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 4 (3): 353-365. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n3/v4n3a2.pdf>.
- Hernández, O. (2019). Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y en laboratorio. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2217/1/TMIPICY_TH4D42019.pdf.
- Holt, J. (2000). Bergey's manual to determinative bacteriology Baltimore, Maryland, USA: Williams y Wilkins.



- Horan, N., Jarman, T. y Dawes, E. (1983). Studies of some enzymes of alginic acid biosynthesis in *Azotobacter vinelandii* grown in continuous culture USA.
- Hosokay, M. (2012). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge - Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/453>.
- 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. [DOI: 10.25054/22161325.2527](https://doi.org/10.25054/22161325.2527).
- Karagöz, K., Ates, F., Karagöz, H., Kotan R. y Çakmakç, R. (2012). Characterization of plant growth-promoting traits of bacteria isolated from the rhizosphere of grapevine grown in alkaline and acidic soils. European Journal of Soil Biology. Vol. 50: 144-150.
- Lin, L. y Sadoff, H. (1968). Encystment and polymer production of *Azotobacter vinelandii* in the presence of B - hidroxibutirato Londres.
- Mahato, S. y Kafle, A. (2018). Comparative study of *Azotobacter* with or without other fertilizers on growth and yield of wheat in Western Hills of Nepal. Annals of Agrarian Science. Vol. 16 (2018): 250 – 256.
- Manríquez, G., Arce, P., Murillo, B., Rojas, M., Cota, M. y Quevedo, G. (2022). Aislamiento de bacterias de la rizósfera de cholla (*Cylindropuntia* spp.) con aporte agronómico. Revista Investigación en Ciencias Agrícolas. Desarrollo Científico y Tecnológico en la producción agrícola sustentable. Editores: Ail, C., Montiel, B. y Galicia M. Baja California, México. 908 p. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ail/publication/368755831_Investigacion_en_Ciencias_Agricolas_Desarrollo_cientifico_y_tecnologico_en_la_produccion_agricola_sustentable/links/63f846b60d98a97717b28071/Investigacion-en-Ciencias-Agricolas-Desarrollo-cientifico-y-tecnologico-en-la-produccion-agricola-sustentable.pdf#page=229.
- Martínez, J. y Gallardo, R. (2017). Factores que determinan la fertilidad del suelo. INIA – Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ficha Técnica 09. 2 p. <file:///C:/Users/UNAP/Downloads/Ficha%20T%C3%A9cnica%20INIA%20N>



[C2%B0%2009.pdf](#).

- Mayea, S., Carone, M., Novo, R., Boado, I., Silveria, E., Soria, M. et al. (1998). Aplicaciones de la Microbiología Agropecuaria Cuba: Félix Valer.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo No 011-2017-MINAM. El Peruano, 1-4. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf.
- Obando, D. (2012). Respuesta fisiológica de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) Walp a la coinoculación de bacterias diazotróficas de los géneros *Azotobacter* y *Rhizobium* en suelos del departamento del Cesar (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Osorio, N. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola: Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero, 43-71. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3.
- Osorio, Y., Vásquez, W. y Ramírez, J. (2020). Efecto de tres dosis de materia orgánica con la inoculación de microorganismos mejoradores del suelo en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Will.), variedad Pasankalla, en centro poblado de Huanchac, Independencia – Ancash. Aporte Santiaguino. Vol. 3 (2): 248-259. DOI: <https://doi.org/10.32911/as.2020.v13.n2.738>.
- Page, W. y Shivprasad, D. (1991). *Azotobacter salinestrus* sp nov., a sodium - dependent, microaerophili, and aeroadaptative nitrogen fixing bacterium. J. Syst. Bacteriol. Vol. 41: 369-376.
- Pastor, D. y Terrones, J. (2020). Efecto de la inoculación de micorrizas y *Rhizobium* en la calidad biológica de suelos arenosos de Santa Elvira, Chao – Virú. Tesis de Ing. Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad César Vallejo. Trujillo – Perú. 61 p. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50584/Pastor_CD_B-Terrones_AJV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.



- Paucar, H. (2018). Efecto del compost NPK en la poblacion de grupos microbianos y en la produccion de Cacao *Theobroma cacao* L., en Padre Abad – Ucayali. Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1560/HJPG_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Pozuelo, J. (1991). Estudio de grupos funcionales de microorganismos edáficos en la rizosfera de *Alnus glutinosa* (L.) GAERTN. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Complutense Madrid. Memoria para optar al Grado de Doctor en Ciencias Biológicas.
- Ramos, F. (1992). Genética de la regulación de la asimilación de nitrato en *Azotobacter vinelandii* Sevilla - España.
- Ramirez, E. (2016). Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao Región Ucayali. Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2761>.
- Ramirez, S. (2022). Quema de una parcela y sus efecto en la macrofauna del suelo en el Centro Poblado Los Ángeles, Distrito Mariano Dámaso Beraún - Región Huánuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2308>.
- Rorig, M., Rodríguez, A., Frasier, I., Setten, L., Otero, E., Solans, M., Scervino, M. y Grasso, D. (2023). Análisis y caracterización de poblaciones bacterianas solubilizadoras de P en un ensayo de larga duración con diferentes secuencias de cultivo. *Ecología Austral*. Vol. 33: 124-135.
- Saharan, B., Nehra, V. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *Life Sciences and Medicine Research* 2011: LSMR21:1-30.
- Sánchez, J. Velásquez, A., Cabrera, R., Amador, W. y Vela, G. (2022). Supervivencia de *Azotobacter* y otros grupos microbianos en suelo seco almacenado. *Journal of the Selva Andina Research Society*. Vol. 13(1): 3-15. <http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v13n1/2072-9294-jsars-13-01-3.pdf>.
- Santellanez, K. (2022). Efecto de los métodos de labranza sobre la composición y



- metabolismo de la microbiota y las propiedades fisicoquímicas del suelo en el altiplano potosino. Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 75 p. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/1d578a45-8c0c-4521-824f-3fd276f74723/content>.
- Severiche, C., Castillo, M. y Acevedo, R. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua. Editado por la Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilazo. Cartagena de Indias - Colombia. 101 p. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>.
- Shirinbayan, S., Khosravib, H. y Jafar Malakouti, M. (2019). Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with *Azotobacter* strains isolated from semi-arid regions. *Applied Soil Ecology*. Vol. 133: 138 – 145.
- Tejera, N., Lluch C., Martínez M. y González J. (2005). Isolation and characterization of *Azotobacter* and *Azospirillum* strains from the sugarcane rhizosphere. *Plant and Soil*. Vol. 27.
- Vistoso, E. y Martínez, J. (2022). Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Informativo INIA REMEHUE N° 291. <file:///C:/Users/UNAP/Downloads/NR42842.pdf>.
- Wani, S., Chand, S., Wani, M., Ramzan, M. y Hakeem, K. (2016). *Azotobacter chroococcum* – A potencial biofertilizer in Agriculture: An Overview. *Soil Science: Agricultural and Environmental Perspectives*. 333-348.
- Zapata, R. (2018). Geología y Geotecnia: Vol. Primer Volumen. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOSDESUELO.pdf>.
- Zapater, J. (1975). Evaluación en el maíz del coeficiente rizosfera – suelo (R/S) referidos a bacterias libres fijadoras de N₂. *Anales científicos de la UNALM*. Vol. 13: 45-57.
- Zavala, J. (2022). Determinación de parámetros físico químicos para la producción de *Azotobacter* sp nativa del departamento de San Martín – Perú. Tesis de Magíster en Biotecnología. Unidad de Posgrado, Universidad Nacional Mayor de San



Marcos. Lima – Perú. 97 p.

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/18919/Zavala_pj.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Zuñiga, D. (2012). Manual de Microbiología agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú. 112 p.

ANEXOS

Tabla 8

Recuentos de Azotobacter sp ($\times 10^3$ UFC/g) en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.

Muestreo	Antoñani			Jayllihuaya		
	Repeticiones		Prom	Repeticiones		Prom
	1	2		1	2	
1	287.00	273.00	280.00	277.00	283.00	280.00
2	225.00	231.00	228.00	216.00	240.00	228.00
3	307.00	301.00	304.00	300.00	308.00	304.00
4	27.00	25.00	26.00	24.00	28.00	26.00
5	40.00	50.00	45.00	44.00	46.00	45.00
6	48.00	40.00	44.00	35.00	53.00	44.00
7	12.00	8.00	10.00	12.00	8.00	10.00
8	5.00	7.00	6.00	5.00	7.00	6.00
9	8.00	8.00	8.00	9.00	7.00	8.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Valores de pH de suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.

Muestreo	Antoñani			Jayllihuaya		
	Repeticiones		Prom	Repeticiones		Prom
	1	2		1	2	
1	7.40	7.60	7.50	7.40	7.60	7.50
2	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
3	7.30	7.30	7.30	7.00	7.60	7.30
4	7.20	7.10	7.15	7.30	6.90	7.10
5	6.80	7.30	7.05	6.50	7.50	7.00
6	7.30	7.10	7.20	7.50	6.90	7.20
7	7.20	7.20	7.20	6.50	7.90	7.20
8	7.10	7.30	7.20	7.20	7.20	7.20
9	7.00	7.20	7.10	6.80	7.40	7.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) de suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.

Muestreo	Antoñani			Jayllihuaya		
	Repeticiones		Prom	Repeticiones		Prom
	1	2		1	2	
1	1.60	1.80	1.70	1.60	1.80	1.70
2	1.40	1.80	1.60	1.40	1.80	1.60
3	1.10	1.30	1.20	1.30	1.10	1.20
4	120.40	118.40	119.40	125.80	113.00	119.40
5	102.45	108.74	105.60	90.20	121.00	105.60
6	121.40	130.20	125.80	121.90	129.70	125.80
7	3.10	4.10	3.60	3.00	4.20	3.60
8	2.70	2.30	2.50	2.85	2.25	2.55
9	2.50	3.70	3.10	3.00	3.20	3.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Valores de materia orgánica (%) en suelos de las localidades de Antoñani y Jayllihuaya.

Muestreo	Antoñani			Jayllihuaya		
	Repeticiones		Prom	Repeticiones		Prom
	1	2		1	2	
1	8.84	10.40	9.62	6.00	7.00	6.50
2	9.20	9.10	9.15	6.15	6.25	6.20
3	9.40	10.00	9.70	6.70	5.10	5.90
4	14.34	14.60	14.47	3.40	3.36	3.38
5	13.90	13.80	13.85	4.50	2.50	3.50
6	15.00	15.04	15.02	3.55	3.33	3.44
7	11.44	11.70	11.57	0.50	0.35	0.43
8	11.94	11.74	11.84	0.19	0.26	0.23
9	10.85	10.95	10.90	0.31	0.25	0.28

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Preparación de medio mineral sin nitrógeno para el recuento de Azotobacter sp.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

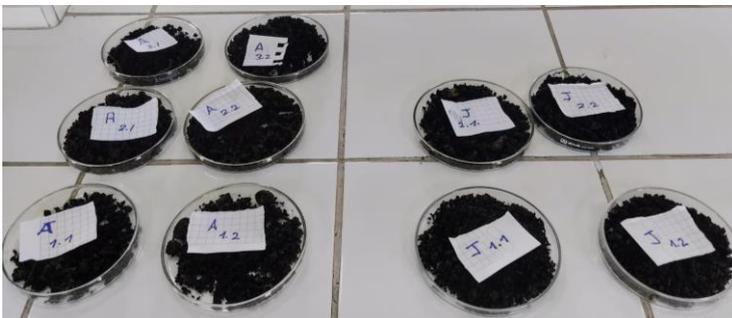
Colonias de Azotobacter sp en medio mineral sin nitrógeno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Muestras de suelos preparadas para el proceso del secado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Pesado de muestras de suelo en crisoles en la balanza analítica para la determinación de materia orgánica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Rotulado de los crisoles conteniendo muestras de suelos para la determinación de materia orgánica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Disposición de los crisoles conteniendo muestras de suelos en el horno mufla a 550 °C.



Fuente: Elaboración propia.



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ciencias Biológicas

Ciudad Universitaria - Teléfono 36 6189 - Apartado Postal 291



CONSTANCIA Nº 78-2023-D-FCCBB-UNA

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

HACE CONSTAR.-

Que, la Bachiller **SHIRLEY MIRELLA TICONA SOTO**, egresada 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 “**CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERINA DE *Azotobacter sp* Y LOS PARAMETROS FISCOQUÍMICOS EN SUELOS DE LAS LOCALIDADES DE ANTOÑANI Y JALLIHUAYA, PROVINCIA DE PUNO, 2023**”, en el Laboratorio de Microbiología Clínica, de la Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, los meses de agosto, setiembre y octubre del 2023.

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

Puno, 11 de diciembre del 2023.



Edmundo Gerardo Moreno Terrazas
DR. EDMUNDO GERARDO MORENO TERRAZAS
DECANO

cc:
Archivo 2023
EGMT/astroq -

**Constancia de ejecución de tesis en el Laboratorio de Microbiología Clínica –
FCCBB.**



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo SHIRLEY MIRELLA TICOMA SOTO
identificado con DNI 70056705 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
DE BIOLOGÍA.

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

"CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE Agrobacter sp.
Y LOS PARÁMETROS FISIQUÍMICOS EN SUELOS DE LAS
LOCALIDADES DE ANTONANI Y JAYLLI HUAYA, PROVINCIA DE 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.

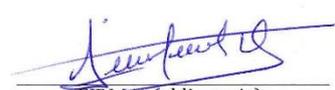
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de 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 15 de JULIO del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo SHIRLEY MIRELLA TICONA SOTO.
identificado con DNI 70056705 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
DE BIOLOGÍA.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"CORRELACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA DE Agrobacter SP.
Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS DE LAS
LOCALIDADES DE ANTOÑAN Y JAYLLIMAYTA, PROVINCIA DE PUNO"

Es un tema original.

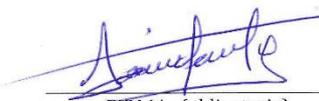
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

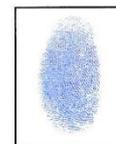
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

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 15 de JULIO del 20 24.


FIRMA (obligatoria)



Huella