UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO"

PRESENTADO POR:

Bach. ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ

Bach. JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA

ASESOR:

Dr. HEBERT HERNAN SOTO GONZALES

CO-ASESOR:

Dr. RAFAEL FELIPPE RATKE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERU

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM — FEDATARIO

Folio Nº 073

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Consejo de Facultad N°316-2025-CF-FOIN-UNAM

Fecha: 17- Diciembre 2025

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRESIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO"

Bachiller: Erika Soledad Mamani Ibañez ; Jazmin Lucero Mejia Arteaga

Asesor Principal: Dr. Hebart Hernan Soto Gonzales

Co-Asesor: Dr. Rafael Falippe Ratke

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Quince (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 13.07 horas, del 18 de diciembre del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Dr. Milko Raul Rivera Campano
Presidente

Dr. MARIO RUIZ CHOQUE
Primer Miembro

Lic. Paulino Rios Espana
Segundo Miembro

Bachiller

15

DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestro guía y permitirnos seguir adelante en busca de poder lograr una meta más en nuestras vidas.

I:

A mis padres, Nazario Mamani y Vilma Ibañez, por su apoyo constante, moral y económico, fundamental para mi formación profesional y la realización del presente proyecto.

A mi hermana Melinea, por su apoyo emocional y motivación durante la culminación de mi carrera profesional.

A mi familia, porque este logro no es solo mío, sino de los cuatro, resultado del esfuerzo y respaldo compartido.

A mis abuelos Nicolás y Felipa, Vidal y Teresa, así como a mis tíos Basilio y Gregoria por los valores, enseñanzas y apoyo brindados a lo largo de mi vida.

Finalmente, a mis mascotas, hoy ángeles en el cielo, por haberme acompañado de manera incondicional durante los años de mi formación profesional.

Erika S. Mamani Ibañez

II:

A mi mamá, Nicida Arteaga Pérez, por formarme con su ejemplo, creer siempre en mí y brindarme un apoyo incondicional tanto emocional como económico durante la realización de este proyecto y a lo largo de mi formación profesional y a mi papá Hercilio por su apoyo moral a pesar de la distancia.

A mi hermano Jordan, por su apoyo constante, emocional y económico, en cada etapa de mi formación y en el desarrollo de este proyecto.

A mi familia materna en Lima por su preocupación durante la realización de mi tesis.

A mis abuelos Tomás y Osias Arteaga, quienes desde el cielo me brindaron la fortaleza necesaria para avanzar en mi formación como profesional.

A mi pareja, Romario Sarmiento, cuyo apoyo constante y acompañamiento fueron fundamentales, y a mi mascota Misha que fue mi soporte emocional durante la realización de este proyecto.

Jazmin L. Mejia Arteaga

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios y a nuestras familias por su apoyo en el financiamiento del proyecto, así como por el respaldo emocional brindado durante el desarrollo y culminación de la presente investigación.

Agradecemos a la Universidad Nacional de Moquegua, nuestra alma mater, por la formación académica recibida y los conocimientos impartidos a lo largo de nuestra permanencia en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

A nuestro asesor el Dr. Hébert Hernán Soto Gonzales por compartir sus experiencias, conocimientos y apoyo en la realización del proyecto de tesis.

A nuestro co-asesor, Dr. Rafael Felippe Ratke, de la Universidad Nacional de Mato Grosso do Sul, Brasil, por proporcionarnos las muestras de suelo de Brasil y por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la jefa del Laboratorio de Biología de la UNAM, Blga. Pamela Choque, y al Ing. Francisco Moncada, por compartir sus conocimientos en el desarrollo y ejecución de las pruebas bioquímicas

A Blgo. Edwin Lainas, docente de la Universidad Científica del Sur, por su apoyo en la evaluación estadística del informe de tesis.

A nuestras compañeras Sarai, Yoselin, Fresia y Geraldine, por su apoyo en el desarrollo del cultivo de *R. sativus*.

Finalmente, agradecemos al laboratorio BIOMIB dirigido por el Dr. Hébert Hernán Soto Gonzales; a los proyectos de Pasto Grande (Resolución de comisión organizadora N° 0406-2020-UNAM) y Punta coles (Resolución de comisión organizadora N°0102-2020-UNAM), por permitirnos la utilización de sus equipos y la utilización de materiales necesarios para el desarrollo de la presente investigación. De igual manera agradecer a nuestros compañeros de investigación BIOMIB por su apoyo y motivación incondicional.

RESUMEN

La baja disponibilidad de fósforo en suelos agrícolas, asociada a su fijación en formas insolubles, limita el rendimiento de los cultivos y fomenta el uso intensivo de fertilizantes químicos, incrementando los costos de producción y generando impactos ambientales. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar consorcios bacterianos solubilizadores de fosfato (CBSF) con actividades promotoras del crecimiento vegetal y evaluar su aplicación en el cultivo de *Raphanus sativus* (rábano). Se recolectaron 112 muestras de suelo de áreas agrícolas y de vegetación natural del sur del Perú y Brasil, aislándose 119 cepas bacterianas, de las cuales 33 presentaron actividad solubilizadora en medio *Pikovskaya*; las cepas peruanas mostraron un mayor índice de solubilización (IS = 2.80) en comparación con las brasileñas (IS = 1.69). El análisis morfológico evidenció la predominancia de *Bacillus* spp. en Brasil y morfotipos cocoides en Perú. La caracterización molecular mediante el gen 16S rRNA permitió identificar, en cepas brasileñas, principalmente *Bacillus proteolyticus*, junto con otros géneros de interés agrícola, mientras que en las cepas peruanas predominó *Serratia nematodiphila*, seguida de *Enterobacter hormaechei* subsp. *xiangfangensis* y *Leclercia tamurae*, confirmando su relevancia por su capacidad de incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo. A partir de las cepas más eficientes se conformaron cinco consorcios bacterianos evaluados en *R. sativus* bajo un diseño completamente aleatorizado. Los resultados mostraron respuestas diferenciadas entre tratamientos, destacando el consorcio T4 por promover el mayor crecimiento vegetativo y acumulación de biomasa, mientras que T2 incrementó significativamente la longitud radicular en comparación con el control. En conjunto, los resultados confirman el potencial biofertilizante de los CBSF y posicionan al consorcio T4 como una alternativa sostenible para mejorar la productividad de *R. sativus* y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Palabras claves: Fósforo, microbiota, consorcios bacterianos, *R. sativus*, biofertilización.

ABSTRACT

The low availability of phosphorus in agricultural soils, associated with its fixation in insoluble forms, limits crop productivity and promotes the intensive use of chemical fertilizers, increasing production costs and generating environmental impacts. In this context, the present study aimed to characterize phosphate-solubilizing bacterial consortia (PSBC) with plant growth–promoting activities and to evaluate their application in the cultivation of *Raphanus sativus* (radish). A total of 112 soil samples were collected from agricultural areas and natural vegetation in southern Peru and Brazil, from which 119 bacterial strains were isolated; among them, 33 exhibited phosphate-solubilizing activity on *Pikovskaya* medium. Peruvian strains showed a higher solubilization index (SI = 2.80) compared to Brazilian strains (SI = 1.69). Morphological analysis revealed the predominance of *Bacillus* spp. in Brazil and coccoid morphotypes in Peru. Molecular characterization based on the 16S rRNA gene identified mainly *Bacillus proteolyticus* among Brazilian strains, along with other agriculturally relevant genera, whereas *Serratia nematodiphila* predominated among Peruvian strains, followed by *Enterobacter hormaechei* subsp. *xiangfangensis* and *Leclercia tamurae*, confirming their relevance due to their ability to enhance phosphorus availability in soil. Five bacterial consortia were assembled from the most efficient strains and evaluated in *R. sativus* under a completely randomized design. The results showed differentiated responses among treatments, highlighting consortium T4 for promoting the highest vegetative growth and biomass accumulation, while T2 significantly increased root length compared to the control. Overall, the findings confirm the biofertilizer potential of PSBC and position consortium T4 as a sustainable alternative to improve *R. sativus* productivity and reduce dependence on chemical fertilizers.

Keywords: Phosphorus, microbiota, bacterial consortia, *R. sativus*, biofertilization.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **16**

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN **17**

1.1. Descripción y formulación del problema 17

1.2. Formulación del problema de investigación 19

1.2.1. Interrogante general 19

1.2.2. Interrogantes específicas 19

1.3. Justificación e importancia 19

1.4. Objetivos 20

1.4.1. Objetivo general 20

1.4.1. Objetivos específicos 20

1.5. Hipótesis 20

1.6. Variables 21

II. MARCO TEÓRICO **22**

2.1. Antecedentes del problema 22

2.1.1. Internacionales 22

2.1.1. Nacionales 23

2.2. Bases teóricas 26

2.2.1. Suelo 26

2.2.2. El fósforo en el suelo 26

2.2.2.1. Fósforo orgánico 26

2.2.2.2. Fósforo inorgánico 27

2.2.2.3. Ciclo del fósforo 27

2.2.2.4. Factores que afectan su disponibilidad 28

2.2.2.5. Uso del fósforo como fertilizante 28

2.2.3. Microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) 29

2.2.3.1. Solubilización de Fosfatos 30

2.2.3.2. Mineralización de Materia Orgánica 30

2.2.3.3. Inmovilización del fósforo en el suelo 31

2.2.3.4. Oxidación – reducción de fósforo 31
2.2.3.5. Método para evaluar la solubilización de fosfatos 32
2.2.3.6. Mecanismos bioquímicos y moleculares de la solubilización 34
2.2.4. Cultivo de rábano (R. sativus) 36
2.2.4.1. Requerimientos Nutricionales del *R. sativus* 37
2.2.4.2. Relevancia Agroecológica del *R. sativus* 37
2.2.4.4. Interacción del *R. sativus* con Microorganismos del Suelo 40
2.3. Definición de términos 41
III. METODOLOGÍA 42
3.1. Tipo y nivel de investigación 42
3.3.1. Tipo de investigación 42
3.3.2. Nivel de investigación 42
3.3.3. Ámbito temporal y espacial 42
3.4. Población y muestra 43
3.4.1. Población 43
3.4.2. Muestra 43
3.5. Instrumentos 46
3.6. Procedimiento 50
3.6.1. Aislamiento y selección de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 50
3.6.1.1. Aislamiento 50
3.6.1.1.1. Muestras de suelos 50
3.6.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 55
3.6.2.1. Caracterización macroscópica 55
3.6.2.2. Caracterización microscópica 56
3.6.2.3. Caracterización bioquímica 57
3.6.3. Caracterización molecular 65
3.6.3.1. Extracción de ADN con Kit comercial Promega 65
3.6.3.2. Extracción de ADN con Kit QuantaBio 67

3.6.3.3. Evaluación mediante NanoDrop 69
3.6.3.4. Electroforesis 70
3.6.3.5. Secuenciamiento del gen 16S 70
3.6.3.6. Análisis de datos 71
3.6.3.6.1. Análisis filogenético 71
3.6.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro .. 71
3.6.4.1. Formación de consorcios bacterianos solubilizadores fosfato 71
3.6.4.1.1. Preparación de los cultivos bacterianos 72
3.6.4.1.2. Integración de las mezclas 72
3.6.4.2. Manejo del cultivo *R. sativus* (rábano) *in vitro* 73
3.6.4.2.1. Producción de semillero 73
3.6.4.2.2. Preparación del suelo / sustrato 74
3.6.4.2.3. Trasplante al prototipo experimental 75
3.6.4.2.4. Aplicación de consorcios 76
3.6.4.2.5. Riego 78
3.6.4.2.6. Cosecha 79
3.6.4.2.7. Monitoreo de parámetros 80
3.7. Análisis estadístico 82
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 83
3.8. Resultados 83
3.8.1. Aislamiento y selección de bacterias solubilizadores de fosfato 83
3.8.1.1. Aislamiento 83
3.8.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato. 95
3.8.2.1. Distribución de cepas según la tinción de Gram 95
3.8.2.2. Descripción macroscópica y microscópicas de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 97
3.8.3. Caracterización molecular de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 107
3.8.3.1. Extracción de ADN bacteriano 107

3.8.3.2. Secuenciamiento del gen ARNr 16S 109
3.8.3.3. Análisis árboles filogenéticos 111
3.8.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro 117
3.8.4.1. Parámetros morfológicos 117
3.8.4.2. Parámetros biomásicos 122
3.8.4.3. Parámetros fisicoquímicos 124
3.9. Discusión 127
3.9.1. Aislamiento y selección de bacterias solubilizadores de fosfato 127
3.9.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 128
3.9.3. Caracterización molecular de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato mediante la secuenciación del gen 16S rRNA 129
3.9.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro 130
V. CONCLUSIONES 132
VI. RECOMENDACIONES 133
VII. REFERENCIAS 134
ANEXOS 146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables de investigación 21
Tabla 2: Fenología del rábano 39
Tabla 3: Instrumentos de gabinete 46
Tabla 4: Instrumentos de muestreo de suelo 46
Tabla 5: Instrumentos de Seguridad de muestreo 46
Tabla 6: Materiales de experimentación 47
Tabla 7: Insumos químicos de laboratorio 48
Tabla 8: Equipos de laboratorio 49
Tabla 9: Georreferenciación del sitio de recolección del sustrato 75
Tabla 10: Diseño experimental de los tratamientos 78
Tabla 11: Monitoreo de parámetros agronómicos de *R. sativu*s "rábano" 81
Tabla 12: Caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas solubilizadores de fósforo de Brasil 99
Tabla 13: Caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas solubilizadores de fósforo de Perú 104
Tabla 14: Relación A260/A280 del ADN bacteriano Gram negativo obtenida mediante NanoDrop 107
Tabla 15: Relación A260/A280 del ADN bacteriano Gram positivo obtenida mediante NanoDrop 108
Tabla 16: Identificación bioquímica de cepas bacterianas aisladas Brasil 167
Tabla 17: Identificaciones bioquímicas de cepas bacterianas aisladas Perú 168
Tabla 18: Conformación de consorcios (Mix) de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Perú y Brasil 169
Tabla 19: Base de datos de la caracterización macroscópica, microscópica y bioquímica de las bacterias solubilizadores de fosfato 170
Tabla 20: Caracterización morfológica de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Brasil 171
Tabla 21: Caracterización morfológica de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Perú 173
Tabla 22: Datos de Nanodrop de bacterias Gram negativo 175
Tabla 23: Datos de Nanodrop de bacterias Gram positivo 176
Tabla 24: Registro del crecimiento de bacterias solubilizadores de fosfato de Brasil durante 10 días 177

Tabla 25: Registro del crecimiento de bacterias solubilizadores de fosfato de Perú durante 10 días 178
Tabla 26: Registro de la altura de las plantas y la temperatura ambiente en el cultivo de *R. sativus*..... 179
Tabla 27: Registro del número de hojas de *R. sativus* 181
Tabla 28: Registro final de parámetros morfológicos y biomásicos del cultivo de *R. sativus* 183
Tabla 29: Componentes de varianza del LMM para la altura de plantas de rábano .. 185
Tabla 30: Efecto de los tratamientos bacterianos sobre el crecimiento de rábano a lo largo de 23 días (media ± SE).. 185
Tabla 31: ANOVA tipo III y post hoc de Tukey de las alturas de las plantas de rábano registrados durante 23 días para los 6 tratamientos. 186
Tabla 32: Interpretación de los resultados del T0, T1, T2, T3, T4 y T5. 187
Tabla 34: Efecto de los tratamientos bacterianos sobre el crecimiento foliar de rábano a lo largo de 10 semanas (media ± SE). 187
Tabla 34: ANOVA tipo III y post hoc de Tukey de las alturas de las plantas de rábano registrados durante 10 semanas para los 6 tratamientos. 188
Tabla 35: Comparación significativa de T0, T1, T2, T3, T4 y T5. 188

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El ciclo del fósforo 28
Figura 2: Colonias microbianas y halos de solubilización 34
Figura 3: Proceso de siembra hasta la cosecha en semanas 38
Figura 4: Ubicación del área de estudio en Brasil, sitio de muestreo de suelos 44
Figura 5: Ubicación del área de estudio en Perú, sitio de muestreo de suelo 45
Figura 6: Muestreo de suelo agrícola 52
Figura 7: Aislamiento de bacterias de muestras de suelo 53
Figura 8: Cultivo en medio específico (Pikovskaya) 54
Figura 9: Morfología de las cepas bacterianas 55
Figura 10: Tinción de Gram 56
Figura 11: Agar TSI con reacción y sin reacción 57
Figura 12: Agar citrato con reacción y sin reacción 58
Figura 13: Agar MIO con reacción y sin reacción 59
Figura 14: Reactivo de kocavs con reacción y sin reacción 60
Figura 15: MRVP con reacción y sin reacción 61
Figura 16: Prueba de rojo de metilo con reacción y sin reacción 62
Figura 17: Procedimiento de pruebas bioquímicas 63
Figura 18: Pruebas bioquímicas catalasa y oxidasa 64
Figura 19: Flujograma de Extracción de ADN con Kit Promega 66
Figura 20: Flujograma de Extracción de ADN con Kit QuantaBio 68
Figura 21: Extracción de ADN bacteriano 69
Figura 22: Conformación de consorcios bacterianos 73
Figura 23: Etapas del brote de semillas de Rábano 74
Figura 24: Preparación del sustrato para trasplante 75
Figura 25: Parcela agrícola con distribución 76
Figura 26: Aplicación de los consorcios bacterianos 77
Figura 27: Riego con aspersor manual 79
Figura 28: Cosecha de R. sativus 80
Figura 29: Número de cepas bacterianas aisladas por país 84
Figura 30: Cepas bacterianas aisladas de muestras de suelo en Brasil 84
Figura 31: Cepas bacterianas aisladas de muestras de suelo en Perú 85
Figura 32: Porcentaje de cepas solubilizadores y no solubilizadores de Brasil 85
Figura 33: Porcentaje de cepas solubilizadores y no solubilizadores en Perú 86
Figura 34: Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días en Brasil 87

Figura 35: Halos de solubilización en 14 cepas bacterianas de Brasil tras 10 días en medio Pikovskaya 88
Figura 36: Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días en Perú 89
Figura 37: Halos de solubilización en 19 cepas bacterianas de Perú tras 10 días en medio Pikovskaya 90
Figura 38: Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días de Brasil y Perú 91
Figura 39: Índice de solubilización de cepas de Brasil 92
Figura 40: Índice de solubilización de cepas seleccionadas de Perú 93
Figura 41: Promedio de Índice de solubilización de cepas seleccionadas de Brasil y Perú 94
Figura 42: Porcentaje de cepas solubilizadores Gram positivas y Gram negativas en Brasil 95
Figura 43: Porcentaje de cepas solubilizadores Gram positivas y Gram negativas en Perú 96
Figura 44: Identificación bioquímica de bacterias solubilizadores de fosfato de Brasil 96
Figura 45: Identificación bioquímica de bacterias solubilizadores de fosfato de Perú 97
Figura 46: Descripción macroscópica y microscópica de las cepas solubilizadores de fosfato de Brasil 98
Figura 47: Descripción macroscópica y microscópica de las cepas solubilizadores fósforo de Perú 102
Figura 48: Amplificación del gen 16S rRNA (1500 pb) a partir de ADN bacteriano .. 109
Figura 49: Géneros bacterianos identificados en Brasil (16S rRNA) 109
Figura 50: Géneros bacterianos identificados en Perú (16S rRNA)..... 110
Figura 51: Árbol filogenético de Bacillus sp.. 112
Figura 52: Árbol filogenético de Enterobacter sp.. 113
Figura 53: Árbol filogenético Lysinibacillus.. 114
Figura 54: Árbol filogenético de Pseudomonas. 115
Figura 55: Árbol filogenético de Serratia. 116
Figura 56: Curva de crecimiento de altura de las plantas promedio del T0, T1, T2, T3, T4 y T5. 117
Figura 57: Crecimiento de número de hojas de R. sativus “rábano” desde el T0, T1, T2, T3, T4 y T5 119
Figura 58: Diámetro del tubérculo de R sativus “rábano” desde T0, T1, T2, T3, T4 y T5 120
Figura 59: Longitud de raíz de R. sativus "rábano” 121

Figura 60: Evaluación del peso fresco de R. sativus "rábano" en los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5 122
Figura 61: Evaluación del peso seco de R. sativus "rábano" en los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5 123
Figura 62: Valores de pH del suelo registrados durante el periodo experimental 124
Figura 63: Temperatura ambiente de invernadero registrada durante 22 días consecutivos 125
Figura 64: Temperatura del suelo registrada durante 22 días consecutivo 126
Figura 65: Toma de muestras de las lomas de Ilo 146
Figura 66: Diluciones seriadas empleadas para el crecimiento bacteriano 146
Figura 67: Aislamiento de cepas bacterianas en placas con medio de cultivo Agar nutritivo 147
Figura 68: Selección de bacterias puras en Agar nutritivo 147
Figura 69: Caracterización morfológica de bacterias 148
Figura 70: Bacterias puras en medio Pikuskaya para evaluar la solubilización de fosfato 148
Figura 71: Bacterias solubilizadores de fosfato en caldo nutritivo 149
Figura 72: Centrifugación de bacterias solubilizadores de fosfato 149
Figura 73: Halo de solubilización en medio Pikovskaya 150
Figura 74: Observación microscópica para la determinación de bacterias Gram positivas y Gram negativas 150
Figura 75: Insumos para las pruebas bioquímicas 151
Figura 76: Preparación de pruebas bioquímicas 151
Figura 77: Resultados de pruebas bioquímicas 152
Figura 78: Resultados diferenciales de pruebas bioquímicas 152
Figura 79: Criopreservación de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato 153
Figura 80: Extracción de ADN de bacterias solubilizadores de fosfato 153
Figura 81: Diseño de Parcela agrícola con distribución 154
Figura 82: Germinación y formación de brotes de R. sativus 155
Figura 83 Trasplante de R. sativus al sistema prototipo de cultivo 155
Figura 84: Preparación de CBSF para aplicación en el cultivo de R. sativus 156
Figura 85: Aplicación de CBSF 156
Figura 86: Riego del cultivo de R. sativus con agua osmotizada 157
Figura 87: Evaluación de variables ambientales, del sustrato y parámetros morfológicos de R. sativus 157
Figura 88: Etapa final de desarrollo del cultivo de R. sativus 158
Figura 89: Cosecha del cultivo de R. sativus 158

Figura 90: Registro de variables del cultivo de R. sativus 159
Figura 91: Vista general del cultivo de R. sativus correspondiente a los tratamientos experimentales T0, T1, T2, T3, T4 y T5 159
Figura 92: Plantas de R. sativus seleccionadas para la comparación de variables entre los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5 160
Figura 93: Medición del diámetro de los tubérculos de R. sativus "rábano”..... 160
Figura 94: Plantas del tratamiento T0 sin aplicación de CBSF (control) 161
Figura 95: Plantas del tratamiento T1 inoculadas con CBSF 162
Figura 96: Plantas del tratamiento T2 inoculadas con CBSF 163
Figura 97: Plantas del tratamiento T3 inoculadas con CBSF 164
Figura 98: Plantas del tratamiento T4 inoculadas con CBSF 165
Figura 99: Plantas del tratamiento T5 inoculadas con CBSF 166

INTRODUCCIÓN

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración y la formación de biomoléculas fundamentales como el ADN y el ARN (Fontes, 2015). Sin embargo, su disponibilidad en el suelo es limitada debido a su tendencia a formar compuestos insolubles como calcio, hierro y aluminio, lo que restringe su absorción por las raíces (Luquet, 2025).

Esta deficiencia de fósforo representa uno de los principales factores que limitan la productividad agrícola en diversas regiones del mundo, especialmente en los suelos tropicales y andinos, caracterizados por su baja fertilidad y alta acidez (Novoa, 2018).

Ante esta problemática, la agricultura ha dependido del uso intensivo de fertilizantes, lo que incrementa costos y genera impactos ambientales como la eutrofización (Fontoura, 2015).Además, el fósforo de estos insumos proviene de reservas minerales no renovables cuya explotación compromete la sostenibilidad agrícola (Bedin, 2019). Por ello, se requieren alternativas biotecnológicas que mejoren la disponibilidad del nutriente en el suelo.

Estas soluciones permitirían reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y promover una producción más sostenible. En este contexto, los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) han surgido como una opción ecológica y eficiente para mejorar la biodisponibilidad de este nutriente en los suelos agrícolas (Pineda, 2015).

Estos microorganismos transforman las formas insolubles de fósforo en compuestos fácilmente asimilables por las plantas mediante la producción de ácidos orgánicos, enzimas fosfatasas y otros metabolitos (Osorio-Vega, 2020).

El estudio tiene como objetivo caracterizar consorcios bacterianos solubilizadores de fosfato con actividades promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de *R. sativus*. La identificación bioquímica y molecular permitirá seleccionar cepas eficientes en la solubilización de este nutriente (Bastidas, 2020). Con ello se busca desarrollar biofertilizantes adecuados a las condiciones agroecológicas locales. Los resultados contribuirán a la sostenibilidad ambiental y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria (Torres, 2022).

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

La baja disponibilidad de fósforo en los suelos agrícolas reduce la productividad de los cultivos. Este nutriente, al transformarse rápidamente en formas no asimilables, no puede ser absorbido por las plantas, lo que incrementa los costos de producción y la dependencia de fertilizantes químicos (Luo D. H., 2024). Para contrarrestar esta deficiencia, países con extensas áreas agrícolas, como Estados Unidos, India y China, han incrementado significativamente con aplicación de fertilizantes fosfatados, lo que ha intensificado impactos hídricos de cuerpos de agua debido al exceso de fósforo lixiviado. Además, el uso excesivo de minerales ricos en fósforo, que son la principal fuente para fabricar fertilizantes, está haciendo que las reservas se acaben cada vez más rápido, planteando un riesgo crítico para la seguridad alimentaria a largo plazo. Estudios advierten que, al ritmo actual de extracción, los depósitos de fósforo podrían agotarse en menos de un siglo, comprometiendo la sostenibilidad de la producción agrícola global (Toribio, 2025).

En países latinoamericanos los suelos agrícolas muestran una elevada capacidad de retención de fósforo debido a la presencia de minerales como óxidos de hierro y aluminio, lo que reduce significativamente la disponibilidad de este nutriente para los cultivos (Echeverri, 2024). En Brasil, el 70 % de los suelos cultivables están clasificados como altamente deficientes en fósforo disponible, lo que ha llevado a un uso intensivo de sustancia nutritiva de fosforo para mantener la producción de cultivos como la soja y el maíz. En Argentina, la fertilización fosfatada ha experimentado un notable incremento en los últimos años para suplir la deficiencia de este nutriente en los suelos de la Pampa Húmeda, donde se concentra gran parte de la producción de cereales y oleaginosas (Gueçaimburu, 2024). En el Perú, diversos estudios reportan que los suelos altoandinos presentan baja disponibilidad de fósforo debido a procesos de acidificación, alta fijación del nutriente en minerales y pérdida de la capa superficial, lo que afecta el rendimiento de cultivos como la papa (*Solanum tuberosum*) (Quispe, 2025). En la región Moquegua, análisis edáficos y estudios de caracterización de suelos realizados por Sardón Nina (2023) señalan que existen condiciones que pueden restringir la disponibilidad de fósforo, especialmente en zonas con baja materia orgánica, limitada actividad biológica y características edafoclimáticas propias de ambientes áridos y semiáridos. Esta situación plantea la necesidad de comprender con mayor precisión la dinámica del fósforo en los suelos de Moquegua, dado que

su disponibilidad es un factor determinante para la productividad agrícola y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo (Sandro, 2023).

Ante esta problemática, la investigación sobre Microorganismos solubililizadores de fosfato (MSF) ha cobrado gran relevancia como una estrategia sostenible para optimizar la accesibilidad del fósforo en los suelos destinados a la agricultura. Diversas bacterias y hongos han demostrado su capacidad para solubilizar fósforo insoluble mediante la generación de compuestos orgánicos ácidos, la liberación de enzimas fosfatasas y la interacción con la rizosfera de las plantas (Sharma, 2024). Se ha identificado que géneros bacterianos como *Pseudomonas, Bacillus* y *Rhizobium* poseen una gran habilidad para desprender fósforo utilizable en el suelo y promover el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas y sideróforos. En ensayos realizados con cultivos de hortalizas, la inoculación de CBSF ha mostrado resultados beneficiosos en el aumento del rendimiento y la capacidad para absorber nutrientes de manera eficiente, lo que indica su posible uso en sistemas agrícolas como una opción sostenible frente a los fertilizantes sintéticos (Luo B. L., 2025).

Si bien los microorganismos solubilizadores de fosfato representan una solución innovadora y ecológica para mejorar la disponibilidad de este nutriente en la agricultura, su implementación a gran escala aún enfrenta desafíos. La caracterización de consorcios bacterianos (CB) con alta capacidad de solubilización y su adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas son aspectos clave para el desarrollo de biofertilizantes eficientes (Luo M. Z., 2025). En este sentido, la investigación actual tiene como objetivo describir y analizar las características de CBSF con actividades promotoras en el desarrollo vegetal del cultivo de *R. sativus* (rábano), con el objetivo de evaluar su impacto en la presencia de fósforo dentro del suelo y en el rendimiento del cultivo. Se prevé que los hallazgos obtenidos ayuden en la creación de estrategias biotecnológicas que faciliten reducir la dependencia de fertilizantes fosfatados sintéticos y promuevan la sostenibilidad ambiental de los sistemas agrícolas.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Interrogante general

- ¿Cómo influye la caracterización de CBSF con actividades promotoras en el cultivo de *R. sativus* “rábano”?

1.2.2. Interrogantes específicas

- ¿Cuáles son los consorcios bacterianos más eficientes para la solubilización de fosfatos a partir de diferentes muestras de suelo?
- ¿Cuáles son las características bioquímicas de las cepas bacterianas aisladas de diferentes muestras de suelo?
- ¿Cuál es el perfil molecular de las bacterias solubilizadores de fosfato según el análisis del gen 16S rRNA?
- ¿Qué efecto tiene la aplicación de los CBSF con actividades promotoras en el crecimiento vegetal en el desarrollo del cultivo de *R. sativus* (rábano)?

1.3. Justificación e importancia

El uso intensivo de fertilizantes químicos en la agricultura presenta limitaciones importantes, debido a su baja eficiencia de absorción y al impacto ambiental generado por su acumulación en el suelo y la contaminación de cuerpos de agua. En particular, el fósforo aplicado suele quedar inmovilizado por su interacción con iones como calcio, hierro o aluminio, reduciendo su disponibilidad para las plantas y ocasionando pérdidas económicas. Ante esta problemática, surge la necesidad de adoptar alternativas sostenibles que incrementen la eficiencia nutricional sin comprometer la salud del ecosistema.

Los microorganismos solubilizadores de fosfato representan una estrategia biotecnológica capaz de liberar formas minerales no disponibles mediante la producción de ácidos orgánicos y enzimas. Estos consorcios bacterianos (CBSF) mejoran la absorción del nutriente y generan compuestos que fortalecen el crecimiento radicular y la tolerancia de las plantas a condiciones adversas.

La incorporación de estos microorganismos reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos, favorece la recuperación de suelos degradados y promueve la conservación de la biodiversidad microbiana, aspectos clave para un manejo agroecológico sostenible.

La justificación económica es también relevante en el contexto peruano, donde la alta dependencia de fertilizantes importados incrementa los costos de

producción y afecta la competitividad de los agricultores de pequeña y mediana escala. El uso de biofertilizantes basados en consorcios bacterianos ofrece una alternativa de menor costo y mayor eficiencia a largo plazo.

Desde la dimensión social, esta tecnología contribuye a fortalecer la seguridad alimentaria mediante sistemas agrícolas más productivos, sostenibles y accesibles para los productores locales. El cultivo de *R. sativus* resulta adecuado para evaluar estos microorganismos debido a su ciclo corto y a su respuesta rápida a cambios en la disponibilidad de nutrientes.

La investigación permitirá aislar, caracterizar y evaluar CBSF con alto potencial para ser utilizados como biofertilizantes adaptados a las condiciones agroecológicas locales. Los resultados servirán como base para el diseño de estrategias de manejo sostenible del suelo, favoreciendo prácticas agrícolas regenerativas y aportando al equilibrio entre productividad, economía rural y sostenibilidad ambiental.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Caracterizar CBSF con actividades promotoras del crecimiento vegetal y evaluar su aplicación en el cultivo de *R. sativus* “rábano”.

1.4.1. Objetivos específicos

- Aislar y seleccionar cepas bacterianas con capacidad de solubilizar fosfato de diferentes muestras de suelo.
- Caracterizar bioquímicamente las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato.
- Caracterizar molecularmente las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato mediante la secuenciación del gen 16S rRNA.
- Evaluar el efecto de CBSF sobre el crecimiento de *R. sativus* “rábano” en condiciones *in vitro*.

1.5. Hipótesis

- **H_1:** Los CBSF posiblemente mejoren la disponibilidad de fósforo en el suelo, e influyen en el desarrollo y crecimiento de *R. sativus* “rábano”
- **H_0:** Los CBSF posiblemente no mejoran la disponibilidad de fósforo en el suelo, ni influyen en el desarrollo y crecimiento de *R. sativus* “rábano”.

1.6. Variables

Tabla 1:

Variables de investigación

Variable Dependiente						
Variable	**Definición conceptual**	**Dimensiones operacionales**	**Indicadores**	**Tipo de Indicador**	**Técnica de recolección de datos**	**Instrumento**
Crecimiento del cultivo de *R. sativus* (rábano)	Desarrollo fisiológico y morfológico del cultivo, evaluado mediante parámetros cuantificables.	a) Altura de la planta	Longitud desde la base hasta el ápice (cm)	Cuantitativo	Observación directa y medición manual	Regla milimetrada y ficha de recolección datos
		b) Desarrollo foliar	Número total de hojas por planta	Cuantitativo	Observación directa y conteo manual	Ficha de recolección de datos
		c) Diámetro del tubérculo	Diámetro máximo del tubérculo (cm)	Cuantitativo	Medición experimental	Calibrador Vernier y ficha de recolección datos
		d) Crecimiento radicular	Longitud de la raíz (cm	Cuantitativo	Medición experimental	Regla milimetrada y ficha de recolección datos
		e) Producción de biomasa	Peso fresco y peso seco (g)	Cuantitativo	Pesaje en laboratorio y registro de dato	Balanza analítica y ficha de recolección
Variable Independiente						
Variable	**Definición conceptual**	**Dimensiones operacionales**	**Indicadores**	**Tipo de Indicador**	**Técnica de recolección de datos**	**Instrumento**
CBSF	Comunidad microbiana con capacidad de solubilizar fosfatos y promover el crecimiento vegetal.	Solubilización de fosfatos	Índice de solubilidad de fósforo	Cuantitativo	Ensayos microbiológicos, análisis bioquímicos y molecular	- Autoclave - Cámara de flujo laminar - Centrífuga - Estufa incubadora

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Internacionales

(Luo B. L., 2025) en el artículo de investigación del sistema de producción de tomate para analizar cómo la inoculación de bacterias solubilizadores de fósforo (PSB) influye en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, así como en el rendimiento y la calidad del cultivo. Se utilizaron *Acinetobacter baumannii* B6 y *Burkholderia cepacia* Z7, aisladas de la rizosfera del maíz, observándose mejoras significativas en las características fisicoquímicas del suelo, la actividad de las enzimas y la composición de la comunidad microbiana. La aplicación combinada de estas cepas incrementó el rendimiento del tomate en un 24,70 % y mejoró la concentración de compuestos esenciales como azúcares solubles, proteínas, vitamina C y ácidos orgánicos. Además, se registró un aumento en los niveles de fósforo total, fósforo disponible y potasio disponible, del mismo modo, en la actividad enzimática de la fosfatasa alcalina, lo que evidencia una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Asimismo, la inoculación de PSB modificó la composición microbiana del suelo, aumentando la abundancia relativa de Proteobacteria, un grupo bacteriano asociado a la mejora de la fertilidad edáfica. Estos hallazgos respaldan el potencial de las PSB como una herramienta biotecnológica para optimizar el uso de fertilizantes fosfatados y fomentar una producción agrícola más eficiente y sostenible.

(Rawat, 2024) en el artículo de investigación se evaluó el impacto de la inoculación de bacterias solubilizadores de fosfato (PSB) en la absorción de fósforo, la eficiencia en su uso y el rendimiento del grano en *Oryza sativa L.* bajo condiciones de secano. La investigación, desarrollada durante dos años consecutivos, analizó el efecto de tres cepas bacterianas *(Bacillus licheniformis, Pantoea dispersa y Staphylococcus sp.)* en combinación con diferentes dosis de fertilizante fosfatado. Los resultados demostraron que el consorcio bacteriano, junto con una reducción del 50% en la dosis recomendada de fósforo, optimizó significativamente la absorción y eficiencia de uso del nutriente, logrando incrementos del rendimiento del 50,58% y 35,64% en 2018 y 2019, en relación con el control no inoculado. Asimismo, se evidenció un aumento en la actividad enzimática del suelo, destacando la deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y fosfatasa ácida. Estos hallazgos

respaldan el uso de PSB como un enfoque biotecnológico sustentable para optimizar la disponibilidad de fósforo en los cultivos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

(Ameye, 2023) en el artículo se realizó estudio sobre el enriquecimiento innovador basado en la rizosfera bajo condiciones de limitación de fósforo (P), con el objetivo de seleccionar aislamientos bacterianos con alto rendimiento en la solubilización de este nutriente. Su investigación evidenció que el uso de bacterias solubilizadores de fosfato (BFP) como inóculos en la rizosfera es una estrategia ampliamente reconocida para mitigar la deficiencia de P en las plantas. Sin embargo, resaltaron que la selección tradicional de estos microorganismos, basada únicamente en la evaluación de un rasgo solubilizador *in vitro*, limita su eficacia en campo. Para abordar esta problemática, evaluaron 250 aislamientos bacterianos procedentes de consorcios enriquecidos en la rizosfera, caracterizando sus principales rasgos solubilizadores de P mediante técnicas *in vitro* y agrupándolos a través del análisis de componentes principales y agrupamiento jerárquico (HCPC). Posteriormente, seleccionaron aislamientos representativos de cada grupo y los sometieron a pruebas en planta bajo condiciones de privación de P. Los resultados demostraron que los CB más eficientes en la mitigación de la deficiencia de P contenían aislados con múltiples mecanismos solubilizadores, lo que contribuyó a reducir el estrés por P en las plantas.

Además, el estudio evidenció que la relación entre la eficacia *in vitro* y el desempeño in planta no siempre es directa, ya que algunos aislamientos con bajo rendimiento en pruebas *in vitro* lograron resultados favorables en condiciones reales de cultivo. Estos hallazgos respaldan la efectividad de la estrategia de enriquecimiento y selección basada en ensayos in planta para aislar bacterias solubilizadores de fósforo altamente eficientes en la rizosfera, proporcionando un enfoque más preciso y aplicable para la optimización de biofertilizantes.

2.1.1. Nacionales

(Jaramillo Calle, 2024) un estudio que se llevó a cabo en el bosque seco de Piura, Perú, analizó el potencial de *rizobacterias* presentes en la rizósfera de *Neltuma pallida* (algarrobo) para estimular el crecimiento vegetal. Se recolectaron muestras de suelo rizosférico tanto de árboles como de tocones de algarrobo con el objetivo de aislar y caracterizar microorganismos con

aplicaciones biotecnológicas. En total, se identificaron 16 cepas bacterianas en los tocones y 18 en los árboles, seleccionando aquellas con características complementarias y sin efectos antagonistas. En laboratorio, se analizaron diversas funciones de las bacterias, como su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, la producción de ácido indolacético, la actividad celulolítica y la solubilización de fosfatos inorgánicos. A partir de estos análisis, se formularon bioinoculantes líquidos con cinco cepas seleccionadas de cada tipo de muestra, los cuales fueron utilizados en la germinación de semillas de algarrobo.

Los resultados indicaron que las semillas tratadas con bacterias obtenidas de los tocones lograron una tasa de germinación del 53 %, mientras que aquellas inoculadas con bacterias de los árboles alcanzaron el 37 %, superando ambas al grupo de control tratado solo con agua, que obtuvo un 34 %. El análisis molecular permitió identificar las cepas como actinomicetos y especies del género *Bacillus*, incluyendo *Bacillus thuringiensis*, *B. paramycoides*, *B. wiedmannii* y *B. subtilis*. Este estudio resalta la importancia de la rizósfera de *Neltuma pallida* como una fuente clave de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), con un alto potencial en programas de reforestación del bosque seco mediante el uso de bioinoculantes. Se concluyó que estas bacterias favorecen la germinación de semillas y pueden aplicarse en la producción de plantines, contribuyendo a la restauración ecológica de ecosistemas áridos.

(Merino-Rafael, 2024) un estudio realizado en la ciudad de Rioja, Perú, se llevó a cabo una investigación centrada en la capacidad de ciertas bacterias rizosféricas para solubilizar fósforo inorgánico en *Coffea americana*. El propósito del estudio fue identificar microorganismos con potencial para ser utilizados como biofertilizantes en suelos dedicados al cultivo de café. La escasa disponibilidad de fósforo en estos suelos representa una limitación significativa para el desarrollo y producción del café. Aunque el uso de fertilizantes fosforados puede ofrecer una solución momentánea, su aplicación prolongada eleva los costos de producción y genera impactos ambientales adversos. Se aislaron 15 cepas bacterianas procedentes de la rizósfera de plantas de café, se evaluó su habilidad para solubilizar fosfatos en los medios de cultivo SMRS1, NBRIP y *Pikovskaya*, utilizando fosfato tricálcico y fosfato monocálcico como fuentes de fósforo. Los índices de solubilización (IS) obtenidos variaron entre 0.1 y 1.33. Además, mediante un kit de detección de ortofosfatos, se llevó a cabo un análisis cuantitativo, registrando

concentraciones máximas de 2.867 mg/L. Entre todas las cepas evaluadas, la cepa WH'B destacó por su notable capacidad solubilizadora, alcanzando un IS de 7.0 en SMRS1, 0.60 en *Pikovskaya* y 1.70 en NBRIP.

Los hallazgos del estudio confirmaron la presencia de bacterias rizosféricas altamente eficientes en la movilización del fósforo, lo que indica su potencial uso como biofertilizantes en suelos cultivados con café. En particular, la cepa WH'B demostró una gran adaptabilidad metabólica y una capacidad significativa para promover el crecimiento vegetal, lo que la convierte en una opción prometedora para optimizar la fertilidad del suelo y disminuir la dependencia de fertilizantes químicos en la región.

(Alvarado Ibáñez, 2021) un estudio en la región Amazonas, Perú, se realizó un estudio para evaluar el potencial de bacterias autóctonas asociadas a la rizósfera de cultivos de gran importancia económica en las provincias de Bagua y Utcubamba. La investigación se centró en examinar la capacidad de estos microorganismos para solubilizar fosfatos, sintetizar ácido indolacético (AIA) y fijar nitrógeno de manera biológica (FBN), además de determinar la cantidad de bacterias diazotróficas en distintas especies vegetales. Para ello, se tomaron muestras de suelo rizosférico en 57 parcelas ubicadas entre los 385 y 1677 metros sobre el nivel del mar, logrando aislar y purificar 235 cepas bacterianas provenientes del rizoplano de cultivos como cacao, café, piña, plátano, papaya, yuca, yacón y arroz. De estas, se seleccionaron 16 aislamientos pertenecientes a cuatro especies vegetales. Los suelos analizados presentaban una textura que variaba entre franco-arenosa y franco-limosa, con un pH comprendido entre 3.30 y 8.09.

Los resultados mostraron que el café alberga la mayor cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, mientras que el cacao y el yacón destacaron por su alto contenido de bacterias productoras de ácido indolacético. Asimismo, las rizósferas del café y la papaya presentaron las concentraciones más significativas de bacterias capaces de solubilizar fosfatos. Es importante señalar que, aunque en el café no se detectaron bacterias productoras de auxinas, sí se identificó una elevada población de bacterias diazotróficas. Estos hallazgos subrayan la importancia de estudiar las comunidades microbianas presentes en cultivos amazónicos como café, cacao, papaya y piña para identificar microorganismos con aplicaciones biotecnológicas. Se sugiere llevar a cabo ensayos en invernadero y campo para

comprobar su eficacia como biofertilizantes, lo que podría favorecer la sostenibilidad agrícola en la región.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo, desde una perspectiva agrícola, es la capa superficial de la Tierra donde se desarrollan las plantas y que se distingue de la roca sólida. Su origen es consecuencia de procesos geológicos afectados por distintas condiciones climáticas y la naturaleza de los materiales de base, lo que determina su evolución continua y su notable diversidad (Rodrigues F. S., 2023). En su composición se hallan nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, cuya ausencia podría comprometer su crecimiento. Además, es el hábitat de una gran variedad de microorganismos, entre los cuales destacan las bacterias, fundamentales en procesos como la nitrificación, la oxidación del azufre, la solubilización del fósforo y la fijación del nitrógeno atmosférico. Estas funciones son clave para la fertilidad del suelo y el adecuado desarrollo vegetal, ya que cualquier alteración en estos mecanismos puede afectar negativamente la vida de las plantas (Rodrigues F. S., 2023).

2.2.2. El fósforo en el suelo

En la naturaleza, el fósforo se encuentra en forma inorgánica, como anión ortofosfato (PO_4^{3-}), y en forma orgánica. A diferencia de elementos como el carbono, nitrógeno y azufre, su intercambio con la atmósfera es extremadamente lento. La mayor parte de este elemento se acumula en las rocas y el suelo, pero cuando es transportado al mar, su ciclo se ralentiza significativamente. Como resultado, los mayores depósitos de fósforo se localizan en los sedimentos marinos (Zaruba, 2024).

2.2.2.1. Fósforo orgánico

El fósforo orgánico en el suelo se presenta en diversas formas degradadas, como fosfolípidos, ácidos nucleicos, fitina y sus derivados, representando entre el 20 % y 80 % del fósforo total, aunque su disponibilidad en solución es limitada. Su origen proviene del proceso de degradación de materiales vegetales y animales mediante la acción de microorganismos, lo que libera compuestos fosfatados y puede constituir entre el 29 % y 65 % del fósforo superficial del suelo (Mateos Naranjo, 2023). Este tipo de fósforo tiende a adsorberse en partículas de arcilla, por lo que

los suelos arcillosos suelen contener mayores cantidades en comparación con los arenosos o francos. Su concentración es mayor en las capas superficiales debido a la acumulación de material orgánico, las formas predominantes en las que se presenta incluyen el fosfato de inositol y los ácidos nucleicos, los cuales provienen principalmente de microorganismos.

2.2.2.2. Fósforo inorgánico

El fósforo en su forma inorgánica es la más abundante en la mayoría de los suelos, excepto en aquellos que presentan un elevado nivel de materia orgánica. Se encuentra principalmente en forma de ortofosfatos, aunque su disponibilidad para las plantas es limitada debido a su baja solubilidad. Para ser asimilado, debe estar en formas solubles como $PO_4H_2^-$ o PO_4H^{-2} en la disolución del suelo, lo que depende de factores como el pH y la actividad microbiana. La absorción por las plantas ocurre mayormente en forma de $PO_4H_2^-$ y, en menor medida, como PO. Estos procesos son esenciales para el desarrollo de las plantas, ya que la falta de fósforo puede impactar la formación de raíces, la producción de flores y el crecimiento del tubérculo (Miranda Capetanópulos, 2024).

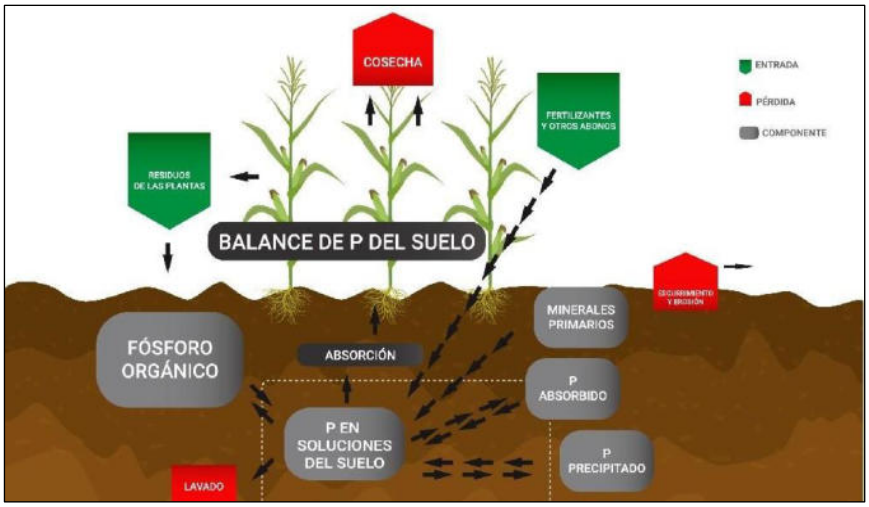
2.2.2.3. Ciclo del fósforo

El ciclo del fósforo en el suelo es un proceso dinámico y complejo en el que este elemento se almacena en la biomasa microbiana, la materia orgánica y diversas formas inorgánicas. Las fuentes de fósforo en el suelo pueden clasificarse en cuatro categorías principales: (1) fósforo inorgánico disponible (HPO_4^{2-} y $H_2PO_4^-$), (2) fósforo orgánico, (3) fósforo adsorbido (lábil) en las arcillas y (4) fósforo presente en minerales primarios, principalmente apatitas (Trujillo-Vargas, 2024).

El elevado nivel de materia orgánica y su rápida descomposición contribuyen al aumento de la población microbiana, la cual, durante su desarrollo, retiene temporalmente una fracción del fósforo (Trujillo-Vargas, 2024). Asimismo, algunos compuestos producidos en el proceso de degradación de la materia orgánica, como los ácidos orgánicos (cítrico, oxálico, málico, entre otros), cumplen un papel fundamental en la generación de complejos con hierro y aluminio, disminuyendo así la precipitación de fosfatos inorgánicos.

Figura 1:

El ciclo del fósforo



***Fuente**:* (Derre, 2023).

2.2.2.4. Factores que afectan su disponibilidad

La disponibilidad del fósforo en el suelo está influenciada por varios factores, entre ellos el pH, la composición mineralógica, la actividad biológica y las interacciones con otros nutrientes. En suelos ácidos, el fósforo tiende a formar compuestos insolubles con hierro y aluminio, mientras que en suelos alcalinos predomina la precipitación con calcio, reduciendo su disponibilidad (López, 2023). La materia orgánica y la actividad microbiana contribuyen a la mineralización del fósforo orgánico, facilitando su absorción por las plantas. Además, factores como la compactación del suelo, la erosión y la lixiviación pueden reducir su eficiencia de uso, lo que resalta la importancia de estrategias de manejo para mejorar su disponibilidad (Moreno Mesa, 2024).

2.2.2.5. Uso del fósforo como fertilizante

El fósforo, después del nitrógeno, es un nutriente crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa activamente en la generación y liberación de energía dentro del metabolismo celular. Su importancia radica en diversos procesos bioquímicos, como la formación de proteínas, la síntesis de lípidos, la producción de clorofila y carotenoides, el metabolismo de ácidos orgánicos y la biogénesis de carbohidratos. Su contribución a la fotosíntesis, mediante la producción de ATP y ADP, es

esencial para el mantenimiento de la actividad metabólica de las plantas (Rodríguez Yparraguirre, 2025). Sin embargo, el fósforo en su forma soluble es un nutriente limitado en la producción de biomasa en ecosistemas naturales, lo que hace indispensable su aplicación mediante fertilización para sostener la productividad agrícola.

Las plantas captan el fósforo en su forma soluble e inorgánica, principalmente como ortofosfato. No obstante, cuando se introduce al suelo, más del 90% del fósforo aplicado se convierte rápidamente en formas insolubles debido a su reacción con iones de calcio, hierro o aluminio, lo que reduce su disponibilidad para los cultivos (Mateos Naranjo, 2023). La disponibilidad de estos compuestos inorgánicos de fósforo depende del pH del suelo, siendo óptima en un rango cercano a 6.5, donde la precipitación de fosfatos de aluminio y calcio es menor. Para mejorar la eficiencia del fósforo como fertilizante, se emplean microorganismos solubilizadores que transforman los compuestos insolubles en formas asimilables para las raíces (Andrade Linarez, 2024). Los fertilizantes fosfatados se producen a partir de roca fosfórica (RP), un mineral natural con alta concentración de fósforo, utilizada como materia prima en la fabricación de fertilizantes como el superfosfato simple, superfosfato triple y fosfato diamónico (Hernandez, 2023). El manejo eficiente de estos fertilizantes, junto con estrategias como la fertilización balanceada y la aplicación localizada, permite optimizar la absorción del fósforo por las plantas, reduciendo pérdidas por fijación y mejorando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

2.2.3. Microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF)

Las raíces de las plantas, junto con los microorganismos del suelo, trabajan en conjunto para favorecer la asimilación del fósforo, un nutriente clave para el desarrollo vegetal. Ciertos microorganismos pueden transformar fosfatos insolubles en formas disponibles para las plantas mediante la liberación de ácidos orgánicos, la acción de fosfatasas y procesos de intercambio iónico. Estos procesos no solo incrementan la disponibilidad de fósforo en el suelo, sino que también contribuyen a una utilización más eficiente de los fertilizantes y a la reducción de costos en la producción agrícola (Rodrigues N. A., 2024).

Entre los microorganismos con capacidad de solubilizar el fósforo se encuentran hongos como *Aspergillus, Fusarium* y *Sclerotium*, además de

actinomicetos y bacterias como *Bacillus, Flavobacterium, Rhizobium* y *Pseudomonas.* En Colombia, estudios han identificado diversas bacterias solubilizadores de fosfato en suelos amazónicos, como *Pseudomonas spp., P. cepacea, P. gladioli, Xanthomonas spp*. y *Enterobacter agglomerans*, mientras que los hongos encontrados incluyen *Penicillium spp., A. niger, A. fumigatus* y *Scopulariopsis spp*. (Soares, 2025).

2.2.3.1. Solubilización de Fosfatos

Los microorganismos tienen la habilidad de convertir fosfatos insolubles en formas que las plantas pueden absorber, utilizando diversos mecanismos. La solubilización se debe principalmente a la producción de ácidos orgánicos que reducen el pH del suelo, lo que facilita la liberación del fósforo retenido en compuestos insolubles como fosfato tricálcico, hidroxiapatita y roca fosfórica. Además, ciertos ácidos, como el oxálico y el cítrico, pueden formar complejos solubles con metales como Ca^{2+}, Al^{3+} y Fe^{3+}, desestabilizando los minerales y liberando el fósforo disponible para las plantas (Tamariz-Angeles, 2021). Otro mecanismo ocurre cuando los microorganismos absorben fosfatos insolubles y los liberan posteriormente. La eficiencia de estos procesos depende de factores como el pH, la concentración de calcio y la materia orgánica en el suelo. Entre los principales microorganismos solubilizadores se encuentran bacterias del género *Bacillus, Pseudomonas, Micrococcus* y ciertos hongos, que representan aproximadamente el 10 % del microbiota del suelo. La fermentación de la glucosa también contribuye a la acidificación del entorno, promoviendo la solubilización del fósforo mediante la competencia con los sitios de adsorción y la modificación de las cargas superficiales de los minerales (Moreno Mesa, 2024).

2.2.3.2. Mineralización de Materia Orgánica

La mineralización del fósforo es un proceso microbiano que convierte el fósforo orgánico en ortofosfatos ($H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-}), formas disponibles para las plantas. Este fenómeno puede tener lugar debido a la descomposición de la materia orgánica en el suelo o mediante la acción de enzimas específicas que responden a la demanda de este nutriente. Las enzimas fosfatasas, tanto alcalinas como ácidas, producidas por microorganismos y raíces de plantas, cumplen un papel fundamental en esta conversión. Dentro de los compuestos orgánicos de fósforo presentes en el

suelo se incluyen la lecitina, los ácidos nucleicos y la fitina, los cuales, en presencia de fuentes de carbono y nitrógeno de fácil asimilación, pueden ser degradados por estas enzimas, liberando fósforo en forma de fosfatos (Alexander M. , 1987).

$$C_6H_{24}O_{27} + 6\ O_2 \rightarrow 6\ H_3PO_4 + 6\ CO_2 + 3\ H_2O$$

Fitina Fosfato Disponible

Degradación de Fitina
(Alexander M. , 1987)

2.2.3.3. Inmovilización del fósforo en el suelo

La retención de fosfatos sucede cuando las formas accesibles de fósforo en el suelo son incorporadas por los microorganismos, incorporándose en su biomasa y convirtiéndolas en fósforo orgánico no asimilable por las plantas. Este proceso reduce temporalmente la disponibilidad de este nutriente en el suelo, ya que queda retenido en los organismos hasta que estos mueren y su contenido es liberado nuevamente mediante la mineralización. Factores como la actividad microbiana, la presencia de materia orgánica y las condiciones ambientales influyen en la tasa de inmovilización, lo que puede afectar la nutrición vegetal y la eficiencia del uso de fertilizantes fosfatados (Rodrigues F. S., 2023).

2.2.3.4. Oxidación – reducción de fósforo

El fósforo puede presentar distintos estados de oxidación, que van desde -3, como en la fosfina, hasta +5, como en el ortofosfato. Su conversión es facilitada por microorganismos, los cuales transforman el fosfito en fosfato dentro de sus células, aunque este proceso puede ser inhibido por sustancias como el tolueno. Además, la absorción se refiere a la fijación química del fósforo disponible a las partículas del suelo, lo que limita su acceso para las plantas, mientras que la desorción es el mecanismo mediante el cual el fósforo retenido se libera en la solución del suelo (Toribio, 2025).

2.2.3.5. Método para evaluar la solubilización de fosfatos

La evaluación de la solubilización de fosfatos es crucial en diversos campos, desde la agricultura hasta la microbiología ambiental. Existen varios métodos para evaluar este proceso, que pueden clasificarse en cualitativos y cuantitativos (Andrade Linarez, 2024). A continuación, se describen algunos de los métodos más comunes:

a) Medios de Cultivo Sólidos

Este método se basa en la observación de halos claros alrededor de colonias microbianas que crecen en medios de cultivo que contienen fosfato insoluble, como el fosfato tricálcico. La formación de un halo indica la solubilización del fosfato, debido a la producción de ácidos orgánicos por los microorganismos (Ulloa Muñoz, 2020).

El medio de *Pikovskaya* (PVK) y el medio NBRIP son ejemplos de medios de cultivo utilizados para este propósito. La medición del halo se puede hacer utilizando software de análisis de imágenes para obtener datos más precisos sobre la capacidad solubilizadora de diferentes cepas microbianas.

b) Observación del Cambio de pH

La disolución de fosfatos suele estar asociada con la generación de ácidos, lo que provoca una reducción en el pH del medio. El uso de indicadores de pH puede proporcionar una indicación cualitativa de la solubilización, ya que los cambios de color en el medio reflejan variaciones en la acidez (Andrade Linarez, 2024).

Este método es útil para una evaluación rápida, aunque no permite cuantificar con precisión la cantidad de fósforo liberado. Sin embargo, al complementarse con técnicas de espectrofotometría, se pueden obtener datos más detallados sobre la actividad de los microorganismos solubilizadores.

c) Determinación del Fósforo Soluble

El método consiste en cuantificar el fósforo soluble que se libera en un medio de cultivo líquido (Cordero, 2023). Para ello, se utilizan técnicas espectrofotométricas como el método del ácido ascórbico, el cual permite determinar la concentración de ortofosfato en solución.

Este método proporciona una medida precisa de la actividad solubilizadora de fosfatos, permitiendo comparaciones entre diferentes microorganismos (Cordero, 2023). Además, su sensibilidad y precisión pueden mejorarse utilizando controles adecuados y curvas de calibración con estándares de fosfato.

d) Medición de la Disminución del pH

Aunque el cambio de pH puede usarse cualitativamente, también se puede medir cuantitativamente con un medidor de pH. La disminución del pH puede correlacionarse con la cantidad de fósforo solubilizado, ya que una mayor producción de ácidos orgánicos generalmente indica una mayor solubilización (Ibarra Castillo, 2022). Este método es útil para analizar la capacidad en la solubilización de cepas microbianas en diferentes condiciones experimentales, como variaciones en la fuente de carbono o la concentración inicial de fosfato en el medio.

e) Análisis de Ácidos Orgánicos

La generación de ácidos orgánicos constituye un mecanismo fundamental para la solubilización de fosfatos. La medición de compuestos como el ácido cítrico, láctico y glucónico puede aportar datos relevantes sobre la capacidad solubilizadora (Paredes Mendoza, 2022).

Para este análisis, una técnica ampliamente utilizada es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), ya que permite la identificación y cuantificación de los ácidos generados. Además, el uso de espectrometría de masas acoplada a cromatografía líquida (LC-MS) ofrece una mayor sensibilidad y precisión en la detección (Sharma, 2024).

f) Métodos Colorimétricos Avanzados

Además del método del ácido ascórbico, existen otros procedimientos colorimétricos para evaluar la solubilización de fosfatos. Entre ellos destacan:

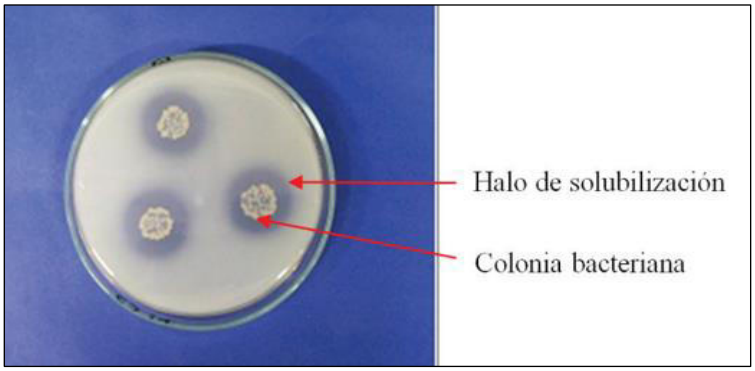
- Método del ácido vanadomolibdato-fosfato, que genera un complejo amarillo cuya intensidad es proporcional a la cantidad de fosfato liberado (Ibarra Castillo, 2022).
- Método Mo-Blue (azul de molibdeno), en el que el ácido molibdofosfórico se reduce a un complejo azul estable,

permitiendo una medición precisa mediante espectrofotometría (Moreno Mesa, 2024).

- Método verde de malaquita, basado en la formación de un complejo de color verde que indica la presencia de fosfatos en la muestra (Andrade Linarez, 2024).

Figura 2:

Colonias microbianas y halos de solubilización



Fuente: (Moreno Mesa, 2024).

2.2.3.6. Mecanismos bioquímicos y moleculares de la solubilización

a) Ácidos orgánicos

Los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) liberan ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como ácido cítrico, oxálico, málico, láctico y glucónico, que juegan un papel esencial en la movilización de fosfatos minerales insolubles. Estos ácidos actúan mediante dos mecanismos principales: (1) acidificación del medio, disminuyendo el pH y facilitando la solubilización de compuestos fosfatados, y (2) quelación de cationes como Ca^{2+}, Fe^{3+} y Al^{3+} que mantienen al fósforo en formas insolubles (RodríGuez, 2020).

La producción de ácido glucónico a través de la enzima glucosa deshidrogenasa (GDH) es uno de los mecanismos más estudiados en bacterias como *Pseudomonas y Bacillus.* La liberación de ácido glucónico se asocia directamente con la capacidad de incrementar el fósforo disponible en la rizosfera (Spaepen, 2021).

b) Genes implicados en la solubilización de fosfato

La solubilización de fosfatos por bacterias está regulada por diversos genes que controlan la producción de ácidos orgánicos, enzimas y transportadores. Entre los más estudiados se encuentran:

- gcd (glucose dehydrogenase): codifica la enzima GDH, responsable de la formación de ácido glucónico a partir de glucosa. Es uno de los genes más determinantes en la solubilización de fosfatos inorgánicos (Sashidhar, 2020).
- pqqABCDEF: genes que participan en la biosíntesis del pirroloquinolina quinona (PQQ), cofactor esencial para la actividad de GDH (An, 2019).
- ppx y ppa: involucrados en el metabolismo del polifosfato, regulando la disponibilidad interna de fósforo.
- pho regulon (phoA, phoB, phoD): grupo de genes reguladores de la respuesta bacteriana a condiciones de baja disponibilidad de fósforo, esenciales para la secreción de fosfatasas y fosfodiesterasas.

c) Sideróforos

Los sideróforos son compuestos de bajo peso molecular producidos por bacterias y hongos para captar hierro (Fe^{3+}) en condiciones de deficiencia. En el contexto de la promoción del crecimiento vegetal, los sideróforos cumplen dos funciones esenciales:

- Incrementan la disponibilidad de hierro para la planta, mejorando procesos metabólicos asociados a la fotosíntesis y respiración.
- Compiten con microorganismos fitopatógenos, limitando su acceso al hierro y reduciendo su crecimiento (Kloepper, 2019).

Bacterias como *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* y *Azotobacter spp.* son reconocidas por la alta producción de sideróforos, los cuales contribuyen indirectamente a la solubilización de fosfatos al quelar metales que forman complejos con el fósforo (Patten, 2019).

d) Fitohormonas

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), incluidos los solubilizadores de fosfato, producen

fitohormonas que regulan el desarrollo radical y aéreo de las plantas. Entre las más importantes se encuentran:

- Ácido indolacético (AIA): estimula la elongación celular, la formación de raíces laterales y pelos radicales, facilitando la absorción de nutrientes, incluido el fósforo.
- Giberelinas: promueven la germinación, elongación del tallo y floración.
- Citoquininas: regulan la división celular y retrasan la senescencia.
- Ácido salicílico: participa en la respuesta sistémica adquirida (SAR), aumentando la resistencia frente a patógenos.

La síntesis de AIA por bacterias del género *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* es uno de los mecanismos de promoción de crecimiento más documentados en la literatura (Patten, 2019).

2.2.4. Cultivo de rábano (R. sativus)

El *R. sativus,* conocido como rábano, es una hortaliza de ciclo corto perteneciente a la familia *Brassicaceae*, caracterizada por su capacidad de adaptación a diversas condiciones agroclimáticas, especialmente en suelos de diferente textura y climas templados a cálidos. Presenta un tallo ramoso con abundantes tricomas, hojas dentadas y flores de tonalidades blancas o amarillas (Kumar D. K., 2025). Su principal órgano de consumo es la raíz tuberosa, cuya morfología varía según la variedad cultivada. Desde el punto de vista fisiológico, destaca por su eficiente absorción de nutrientes, favorecida por un sistema radicular bien desarrollado. Su rápido crecimiento le permite completar su ciclo entre 20 y 60 días, dependiendo de factores ambientales y del manejo agronómico aplicado, lo que lo convierte en un cultivo estratégico en sistemas de producción sostenible (Dentato, 2025).

Clasificación Taxonómica del rábano (*R. sativus)*

Colaborador (Dentato, 2025),menciona la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Brassicales*

Familia: *Brassicaceae*

Género: *Raphanus*

Especie: *Raphanus sativus*

Nombre vulgar: *Rábano*

2.2.4.1. Requerimientos Nutricionales del *R. sativus*

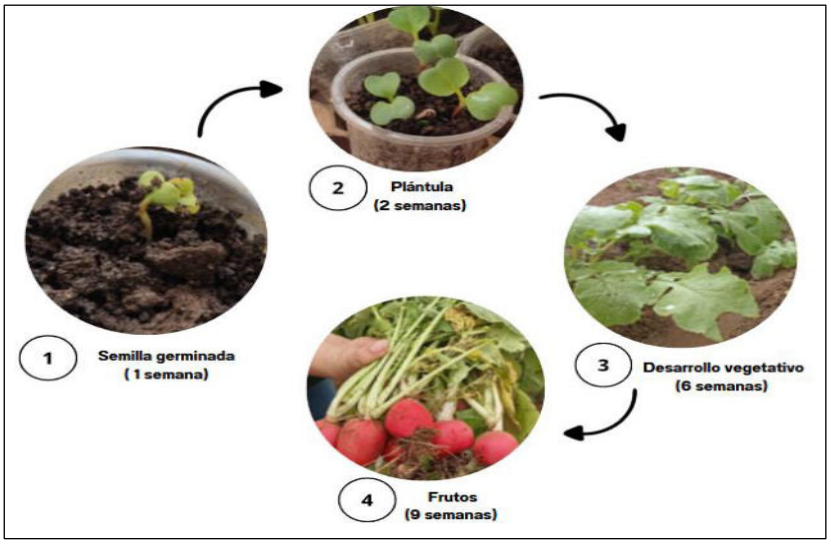
El cultivo de rebanó requiere un equilibrio adecuado de macronutrientes y micronutrientes para un desarrollo óptimo (Fonseca R. C., 2021). Su crecimiento depende de un suministro moderado de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca), fundamentales para la formación de su sistema radicular y la calidad comercial del producto. Además, es particularmente susceptible a la deficiencia de boro (B), lo que puede comprometer la acumulación y almacenamiento de carbohidratos en la raíz (Zhang, 2025). Para su cultivo, el suelo debe mantener un pH entre 5.5 y 7.5, con una estructura adecuada y buen drenaje para prevenir encharcamientos y asfixia radicular (Nowak, 2024). La incorporación de materia orgánica y el uso de biofertilizantes favorecen la disponibilidad de nutrientes y reducen la necesidad de fertilizantes químicos.

2.2.4.2. Relevancia Agroecológica del *R. sativus*

El rebanó es una hortaliza de gran importancia agroecológica por su capacidad para mejorar la estructura del suelo, limitar el crecimiento de malezas y facilitar la rotación de cultivos. Su rápido desarrollo permite su integración en sistemas de policultivo, donde actúa como cultivo trampa para plagas y enfermedades del suelo. Además, su bajo requerimiento de insumos químicos lo hace ideal para la producción orgánica y agroecológica (Pelesz, 2024). La aplicación de enfoques de gestión integral, que combinan enmiendas orgánicas, biofertilizantes y cultivos de cobertura, contribuye a la resiliencia del agroecosistema y mitiga el impacto ambiental de la producción intensiva (Demasi, 2019). En este contexto, el estudio de las interacciones entre el rebanó y su microbioma rizosférico resulta fundamental para mejorar su productividad y sostenibilidad en la agricultura moderna.

Figura 3:

Proceso de siembra hasta la cosecha en semanas



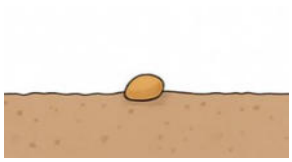
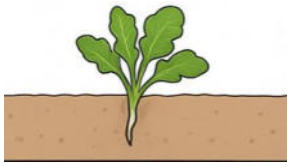
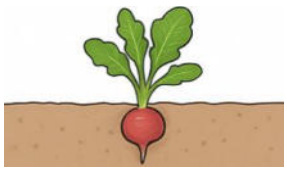
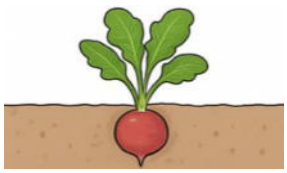
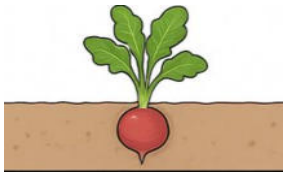
Fuente: *Propia*

2.2.4.3. Fenología del rábano

La fenología del rábano *R. sativus* se caracteriza por un ciclo de crecimiento corto y bien definido, que inicia con la germinación durante los primeros 3 días, cuando la semilla absorbe agua y emerge la radícula. Entre los días 3 y 12 ocurre la emergencia y establecimiento de la plántula, etapa en la que se observan los cotiledones y las primeras hojas verdaderas (Agroempresario, 2021). Posteriormente, entre los días 12 y 25, la planta entra en un crecimiento vegetativo activo que permite acumular biomasa y sostener el proceso de engrosamiento radicular. El desarrollo del bulbo comienza alrededor del día 15 y se intensifica entre los días 20 y 30, periodo en el que la raíz alcanza hasta el 80% de su tamaño final (Admin, 2025). Finalmente, entre los días 30 y 35, el rábano llega a la madurez fisiológica y está listo para la cosecha; si no se recolecta, después del día 40 la planta entra en fase reproductiva, emitiendo un tallo floral y dando inicio a la floración. Esta secuencia fenológica resume las etapas críticas que determinan el rendimiento y la calidad del cultivo.

Tabla 2:

Fenología del rábano

Imagen	Días	Etapa fenológica
	Días: 0-3	Germinación inicial
	Días: 3-7	Emergencia de plántula
	Días: 7-12	Desarrollo de las primeras hojas verdaderas
	Días: 12-18	Crecimiento vegetativo activo
	Días: 15-25	Inicio del engrosamiento de la raíz (bulbo)
	Días: 20-30	Engrosamiento acelerado del bulbo
	Días: 30- 35	Bulbo listo para cosechar
	Días: > 40	Se forma un tallo floral

Fuente: (Admin, 2025)***.***

2.2.4.4. Interacción del *R. sativus* con Microorganismos del Suelo

R. sativus establece relaciones simbióticas con diversos microorganismos del suelo que contribuyen a su nutrición y protección frente a patógenos (Booali, 2024). Entre ellos, destacan las bacterias solubilizadores de fosfato, como *Bacillus spp*. y *Pseudomonas spp.*, que incrementan la disponibilidad de este nutriente esencial para el desarrollo radicular y la producción de ATP. Asimismo, los hongos *micorrícicos arbusculares* (*Glomus spp.)* mejoran la absorción de agua y minerales, aumentando la tolerancia del cultivo a condiciones de estrés abiótico. Las bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Azospirillum spp.* y *Rhizobium spp*., también cumplen una función esencial en la provisión de nitrógeno para la planta, Además, los microorganismos que favorecen el crecimiento de las plantas (PGPR) estimulan la síntesis de fitohormonas, como el ácido indolacético (AIA), que favorece la elongación radicular y la captación de nutrientes (Seimandi, 2023). El uso de biofertilizantes formulados con estos microorganismos no solo mejora el rendimiento del cultivo, sino que también reduce la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles (Mateos Naranjo, 2023). Estudios recientes indican que la inoculación con consorcios microbianos en la rizósfera del rabanito puede incrementar su productividad hasta en un 30% en condiciones de campo.

2.3. Definición de términos

a) **Consorcios:** Conjunto de microorganismos que conviven y colaboran para aumentar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el desarrollo de las plantas, empleados en biotecnología agrícola para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de los cultivos (Villalobos, 2024).

b) **Biofertilizantes**: Bioproductos que contienen microorganismos beneficiosos, los cuales favorecen la fertilidad del suelo y promueven el desarrollo de las plantas de forma sustentable (Vieira, 2024).

c) **Cepa bacteriana:** Grupo de bacterias con rasgos genéticos y fenotípicos específicos, empleadas en biofertilización y biotecnología, donde cada cepa puede desempeñar funciones particulares, como la disolución de fosfatos o la síntesis de hormonas que favorecen el crecimiento de las plantas (Aguilar Luis, 2025).

d) ***R. sativus:*** Especie vegetal de la familia *Brassicaceae,* conocida como rábano, utilizada en estudios de biofertilización por su rápido crecimiento, lo que permite evaluar el impacto de biofertilizantes y microorganismos solubilizadores en su desarrollo (Pérez Gutiérrez, 2023).

e) **Microorganismos solubilizadores:** Microorganismos, como bacterias y hongos, que liberan nutrientes clave del suelo, como el fósforo y el potasio, optimizando su absorción por las plantas a través de la generación de ácidos orgánicos y enzimas que descomponen minerales y favorecen su disponibilidad (Chen, 2023).

f) **Crecimiento vegetal:** Mecanismo biológico mediante el cual las plantas crecen y forman sus órganos, estando este proceso condicionado por elementos ambientales y biológicos, como la presencia de nutrientes, la regulación hormonal y la relación con microorganismos beneficiosos (Smith, 2023).

g) **Actividad promotora:** Habilidad de algunos microorganismos o sustancias para potenciar procesos que benefician el crecimiento y desarrollo de las plantas, como la síntesis de fitohormonas, la fijación de nitrógeno y la movilización de nutrientes esenciales en el suelo (Singh, 2023).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo prospectivo y experimental, ya que se orienta a evaluar los efectos de los CBSF en el crecimiento de *R. sativus* (rábano) bajo condiciones controladas. Se considera de tipo experimental porque se manipulan deliberadamente las variables del sistema mediante la aplicación de consorcios microbianos (Mix), evaluando su impacto en la absorción de nutrientes y en el desarrollo del cultivo (Torres Cuesta, 2023).

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación corresponde a los niveles descriptivo y experimental. En la fase descriptiva, se realiza la caracterización microbiológica y bioquímica de los consorcios bacterianos, identificando sus propiedades y capacidades funcionales. En la fase experimental, se evalúa su capacidad de solubilización de fosfato y su efecto en el desarrollo del cultivo de *R. sativus* bajo condiciones controladas, con el fin de determinar su potencial como biofertilizantes naturales (Torres Cuesta, 2023).

3.3.3. Ámbito temporal y espacial

La investigación se llevó a cabo durante el año 2025 en la Universidad Nacional de Moquegua – Filial Ilo, desarrollándose en dos ambientes especializados. En el Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología se efectuaron las etapas de aislamiento, caracterización y preparación de los consorcios bacterianos. Posteriormente, en el invernadero de la UNAM, se implementó un prototipo experimental destinado a la germinación y crecimiento del cultivo de *R. Sativus*, donde se aplicaron los consorcios microbianos a lo largo de su desarrollo.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Bacterianos solubilizadores de fósforo (BSF) presentes en suelos agrícolas y vegetación nativa.

3.4.2. Muestra

Las muestras de suelo se recolectaron en cuatro regiones de Brasil: Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO) y Paraná (PR), y en tres departamentos del sur del Perú: Moquegua, Tacna y Puno, conforme se detalla en el anexo base de datos, **Tabla 19.**

Figura 4:

Ubicación del área de estudio en Brasil, sitio de muestreo de suelos

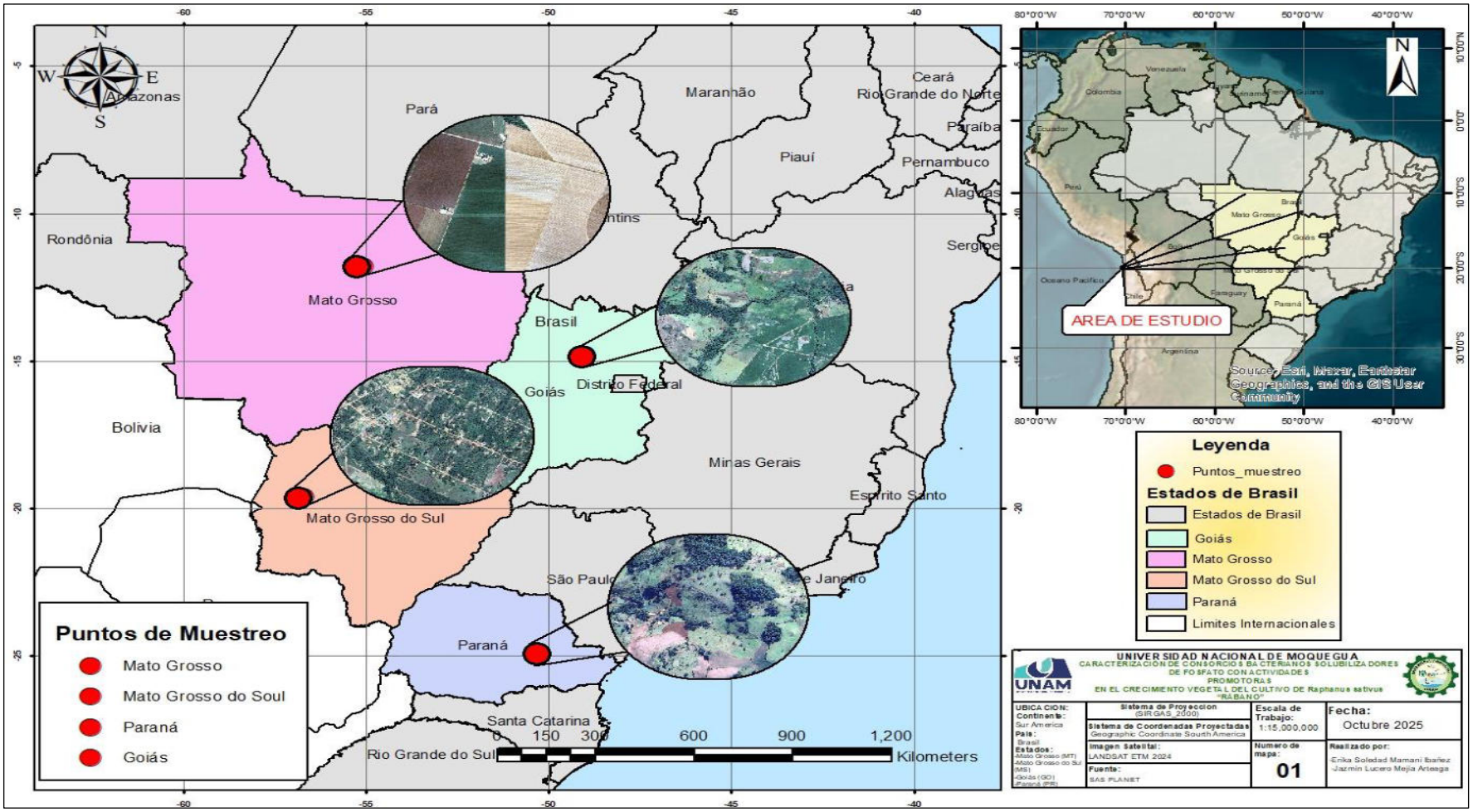
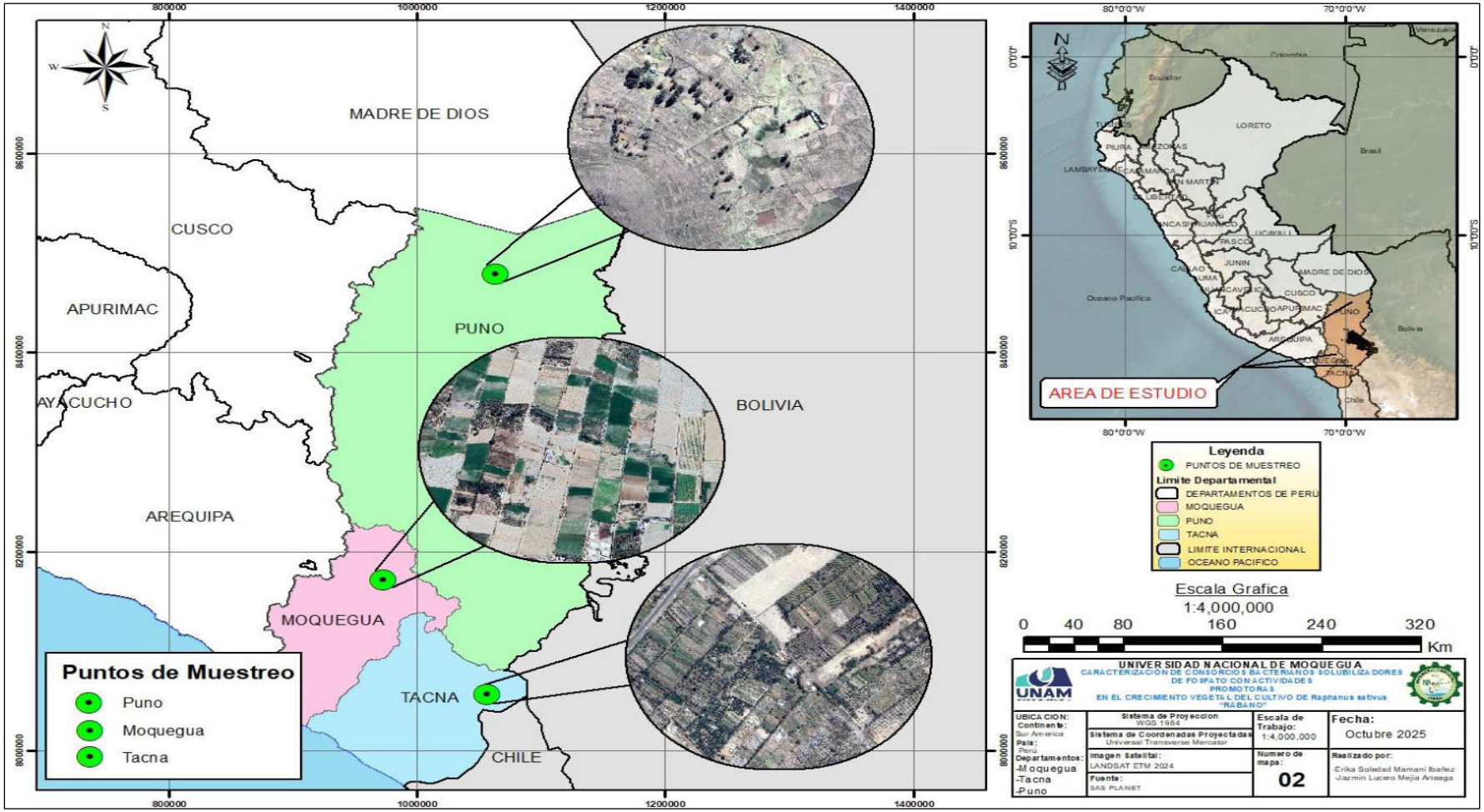


Figura 5:

Ubicación del área de estudio en Perú, sitio de muestreo de suelo



3.5. Instrumentos

Tabla 3:

Instrumentos de gabinete

Gabinete	
- Cámara fotográfica	- Programa ArcGIS: Versión 10.5
- Laptop	- Guía para identificación de microorganismos solubilizadores de fósforo
- GPS	- Guía de extracción de muestra de tierra
- Programa Microsoft Excel	- Guía de extracción de muestras de suelo

Tabla 4:

Instrumentos de muestreo de suelo

Materiales de muestreo inicial	
- Bolsas de hielo (ice pack)	- Mapa
- Bolsas en Rollo	- Cinta métrica
- Plumón indeleble	- Balde industrial
- Cinta adhesiva	- Regla metálica
- Pala	- Pizarra acrílica
- Caja térmica (cooler)	

Tabla 5:

Instrumentos de Seguridad de muestreo

Instrumentos de Seguridad de muestreo	
- Zapatos de seguridad	- Chalecos de seguridad
- Cofias desechables	- Mascarilla descartable KN95
- Guantes de látex descartables	- Gafas de seguridad o lentes protectores

Tabla 6:

Materiales de experimentación

Materiales de experimentación	
- Placa Petri	- Papel craf
- Asa de siembra o material estéril	- Papel aluminio
- Rotulador permanente	- Tubos Eppendorf Safe-Lock
- Matraz Erlenmeyer 100,500,1000 mL	- Cajas para congelación Safe Lock de polipropileno
- Probeta 50,100,500,1000 mL	- Asa de Digraski
- Propipeta	- Tubos de ensayo
- Pipeta 10 mL	- Gradillas
- Puntillas 100 µl - 1000 µl	- Algodón
- Micropipeta 100 µl – 1000 µl	- Porta objetos
- Vaso de precipitado 50,100,500 ml	- Cubre objetos
- Papel secante	- Frascos viales 8 ml
- Cinta masking	- Cinta doble cara transfer
- Regla Metálica	- Calibrador Digital Vernier
- Tela De Gasa	- Bandejas de plástico
- Film Plástico	- Papel Toalla
- Plástico azul doble cara 10 mts.	- Malla rachel
- Tijeras	- Encendedor

Tabla 7:

Insumos químicos de laboratorio

Insumos químicos de laboratorio	
- Glicerol (Chem cruz)	- Agar tres azucares TSI
- Agua peptonada estéril	- Agar MIO (Merck)
- Caldo nutritivo (Himedia)	- MRVP (Merck)
- Cristal violeta (Biodisc)	- CRITATO (Merck)
- Reactivo de Kovács	- Rojo de metilo
- Safranina (Biodisc)	- Agua oxigenada (Alkofarma)
- Alcohol Isoamilico	- Ácido Clorhídrico concentrado
- Lugol (Biodisc)	- Agua destilada
- Alfa naftol al 5% en etanol	- p-dimetilaminobenzaldehído
- Alcohol etílico 95%	- Agar nutritivo (Himedia)
- Fucsina (Biodisc)	- Yodo (Biodisc)
- Etanol (Biodisc)	- Hidróxido de Potasio al 40%
- Decolorante (Biodisc)	- Kit de extracción de ADN (promega)
- Agar *pikovskaya* (Himedia)	- Aceite de inmersión de 100 mL

Tabla 8:

Equipos de laboratorio

Equipos de laboratorio	
- Microscopio óptico (Zeiss)	- Balanza Analítica (Ohaus)
- Ultra congelador – 80°C. (Telstar)	- Centrifugadora (eppendorf)
- Estufa de laboratorio (Ecocell)	- Máquina de hielo (Biobase)
- Mechero Bunsen	- Proyector (Epson)
- Cámara de flujo laminar (Biobase)	- Autoclave (Pselecta)
- Refrigerador (Electrolux)	- Termómetro

3.6. Procedimiento

3.6.1. Aislamiento y selección de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato

3.6.1.1. Aislamiento

3.6.1.1.1. Muestras de suelos

- **Muestreo**: Se recolectaron muestras de suelo en parcelas agrícolas y en áreas de vegetación nativa de cuatro regiones de Brasil (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás y Paraná) y tres departamentos del sur del Perú (Moquegua, Tacna y Puno), según se indica en el Anexo, base de datos, **Tabla 19.**

  El muestreo se realizó a dos profundidades (0–10 cm y 10–30 cm), obteniéndose 250 g por muestra. Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas tipo Ziploc, debidamente rotuladas para su identificación, tal como se observa en la **Figura 6,** siguiendo la metodología (Díaz Romeu, 1978).
- **Aislamiento**: Para el procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio, se pesaron 2 gramos de cada muestra y se realizaron diluciones seriadas en agua estéril. De cada dilución se sembró 1 mL, por duplicado, en placas Petri con medio agar nutritivo, las cuales fueron incubadas a 30 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se seleccionaron las placas que presentaron crecimiento bacteriano, y las colonias obtenidas fueron aisladas en agar nutritivo con el fin de obtener cultivos puros (Lozano, 2021). A cada cultivo bacteriano purificado se le efectuó la correspondiente caracterización macroscópica y microscópica. La metodología de aislamiento se presenta en la **Figura 7** mientras que en el anexo del panel fotográfico **Figura 61 y Figura 62** se muestran las evidencias.
- **Cultivo en medio específico (*Pikovskaya*):** Las colonias bacterianas seleccionadas en agar nutritivo (AN) fueron transferidas e inoculadas en placas con medio *Pikovskaya*, incubándose a 30 °C durante 10 días para su monitoreo y selección, en función de la formación de halos de solubilización alrededor de las colonias, como se observa en el anexo del panel fotográfico **Figura 63**.

Las cepas que presentaron actividad solubilizadora fueron posteriormente inoculadas en 3 mL de caldo nutritivo e incubadas a 30 °C durante 24 horas. Luego, los cultivos fueron centrifugados a 1500 rpm durante 45 minutos para obtener el *pellet* bacteriano, el cual se transfirió a placas de reloj (200 mm) con medio *Pikovskaya.* Estas se incubaron nuevamente a 30 °C durante un periodo de 10 días, realizando un monitoreo y registro diario de su desarrollo. Al finalizar la incubación, se midieron en centímetros los halos de solubilización generados por cada cepa (Rojas, 2017). A las cepas aisladas se les asignó un código de laboratorio para su identificación y para la posterior conformación de los CBSF, como se muestra en el anexo del panel fotográfico **Figura 67** y en la base de datos **Tablas 24** y **Tabla 25.**

- **Determinación del índice de solubilidad (IS):** Con los datos registrados y el promedio del tamaño de los halos, se aplicó el criterio de selección basado en el índice de solubilización (IS), siguiendo la metodología descrita por (Kumar V. y., 1999).

$$IS = A/B$$

Donde:

A: Diámetro total (Diámetro de la colonia + Diámetro del halo)

B: Diámetro de la colonia

(Kumar V. y., 1999).

- **Preservación:** Las bacterias solubilizadores de fosfato fueron conservadas en un ultracongelador a -80 °C, en una mezcla compuesta por 300 µL de caldo nutriente (CN) y 300 µL de glicerol al 30 %, empleado como agente crioprotector, y almacenadas en microtubos de 1.5 mL (Gutiérrez Jiménez, 2015). En el anexo del panel fotográfico **Figura 73** se observa el proceso de preservación de la cepa.

Figura 6:

Muestreo de suelo agrícola

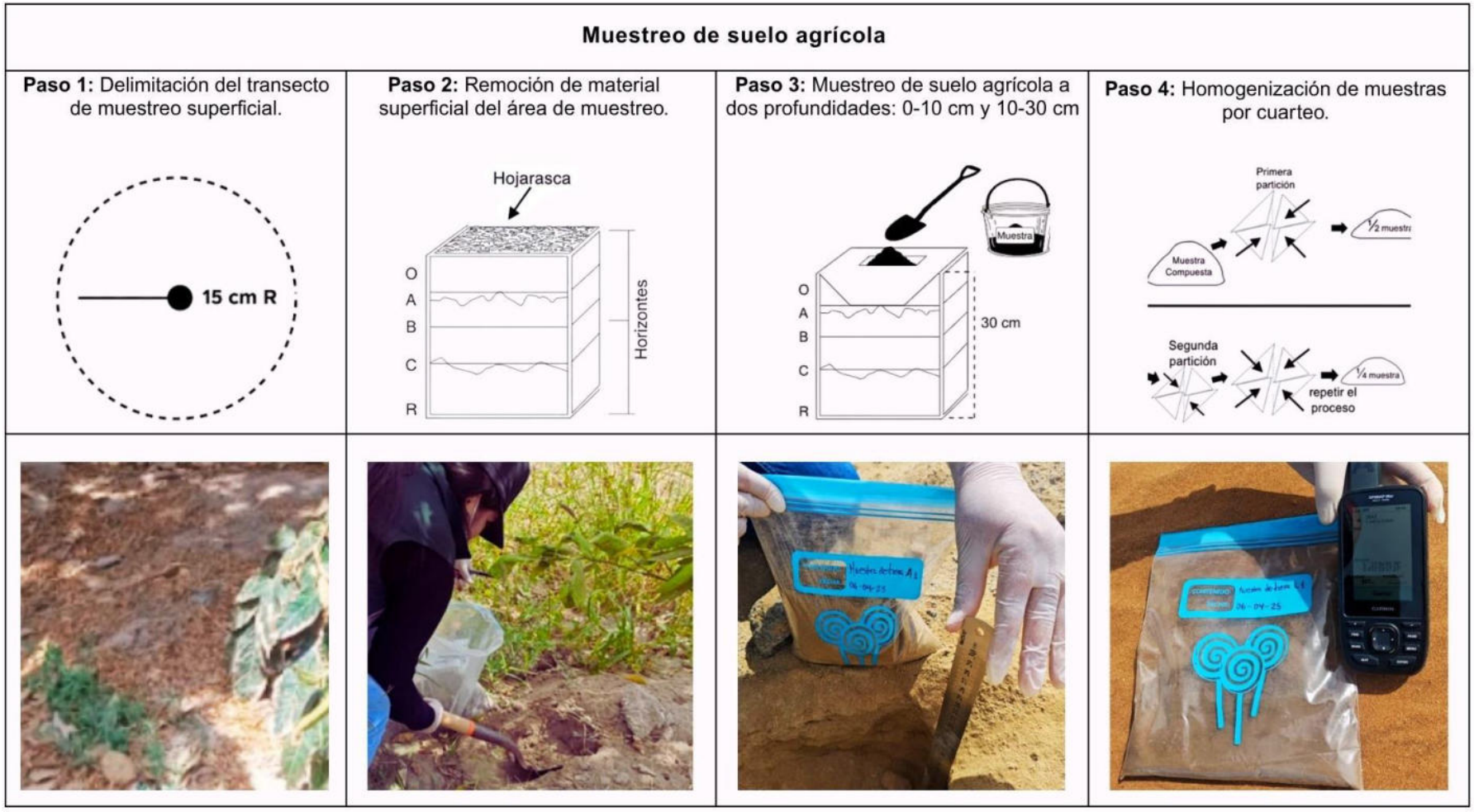


Figura 7:

Aislamiento de bacterias de muestras de suelo

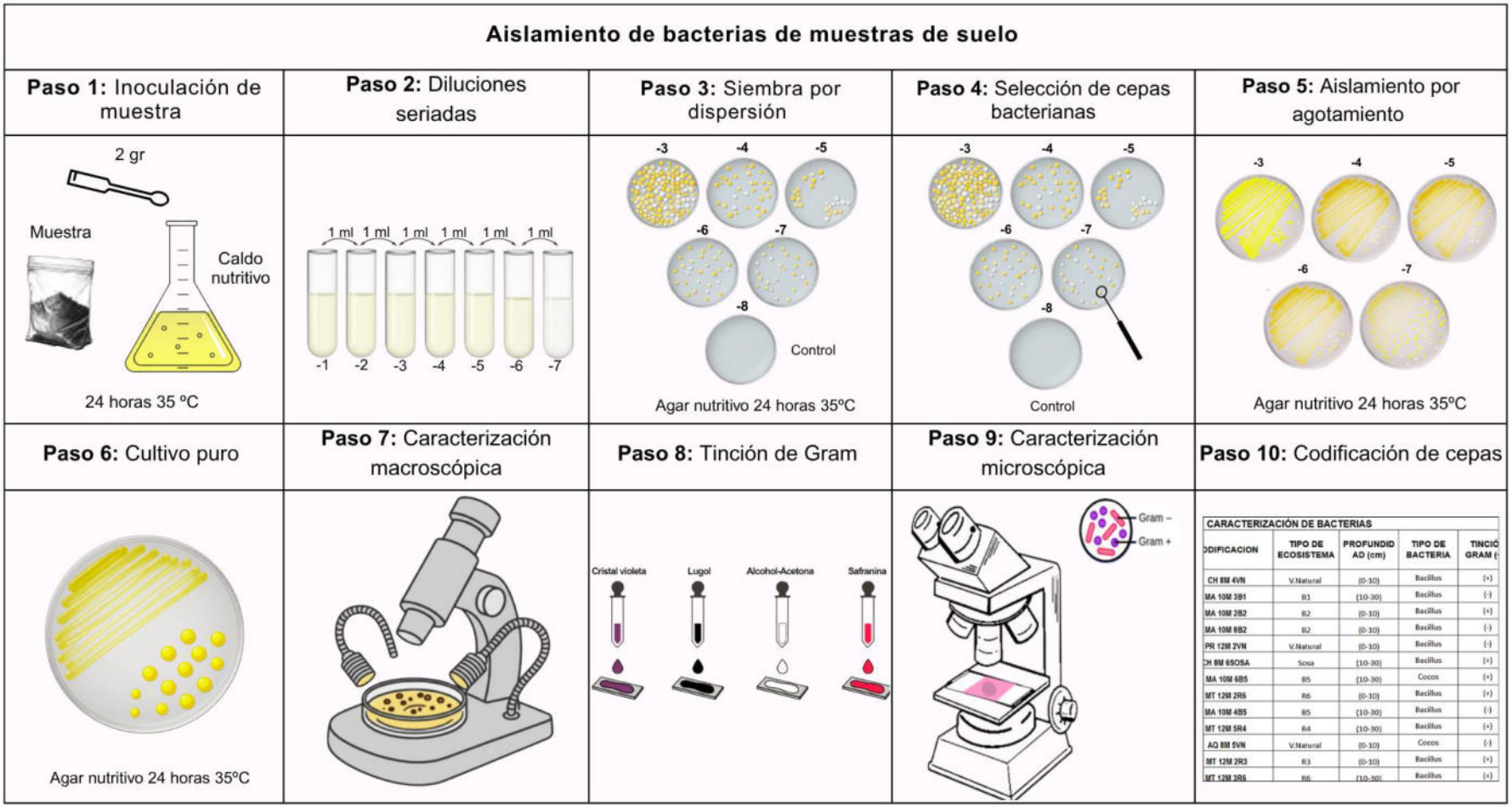
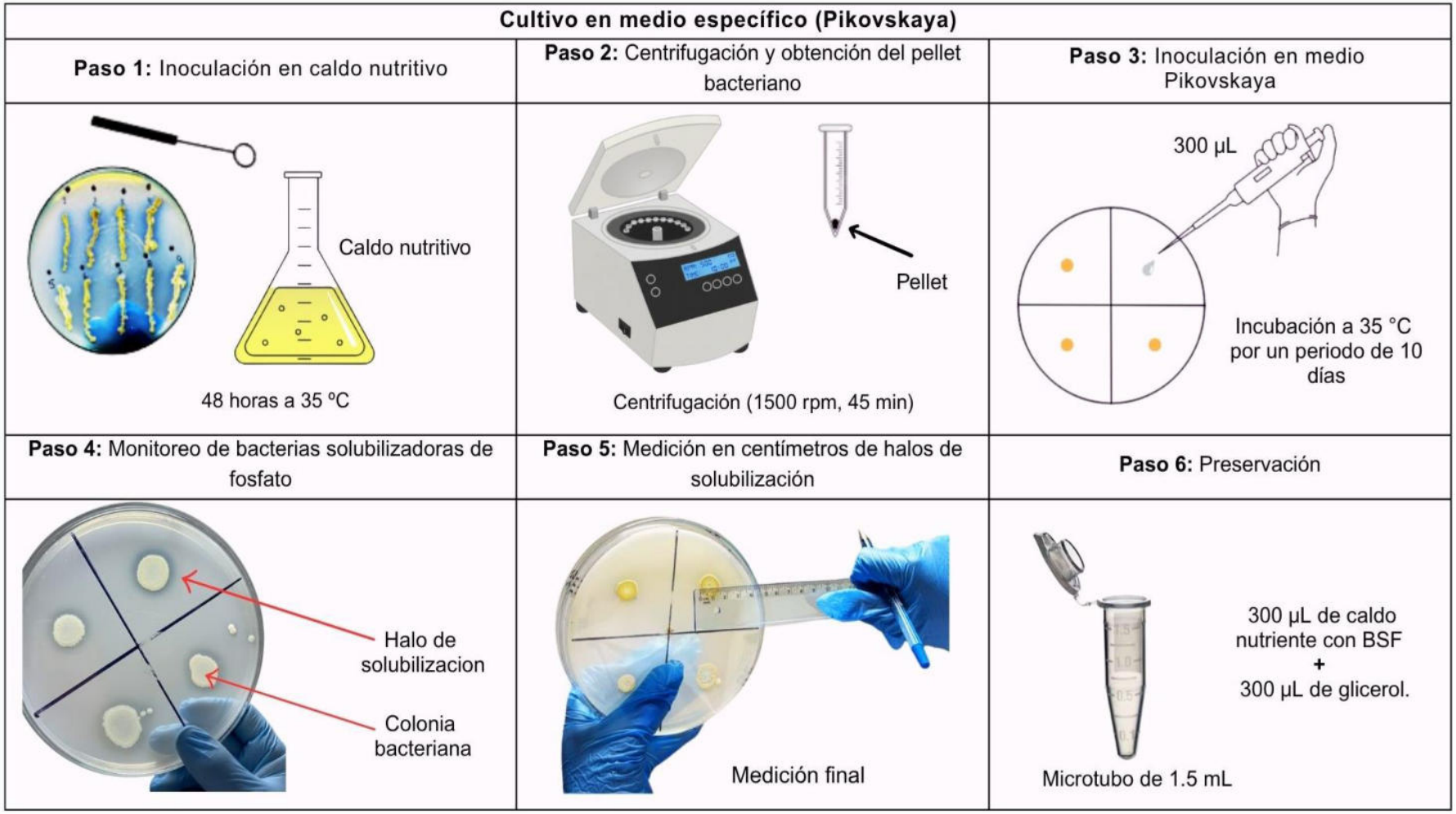


Figura 8:

Cultivo en medio específico (Pikovskaya)



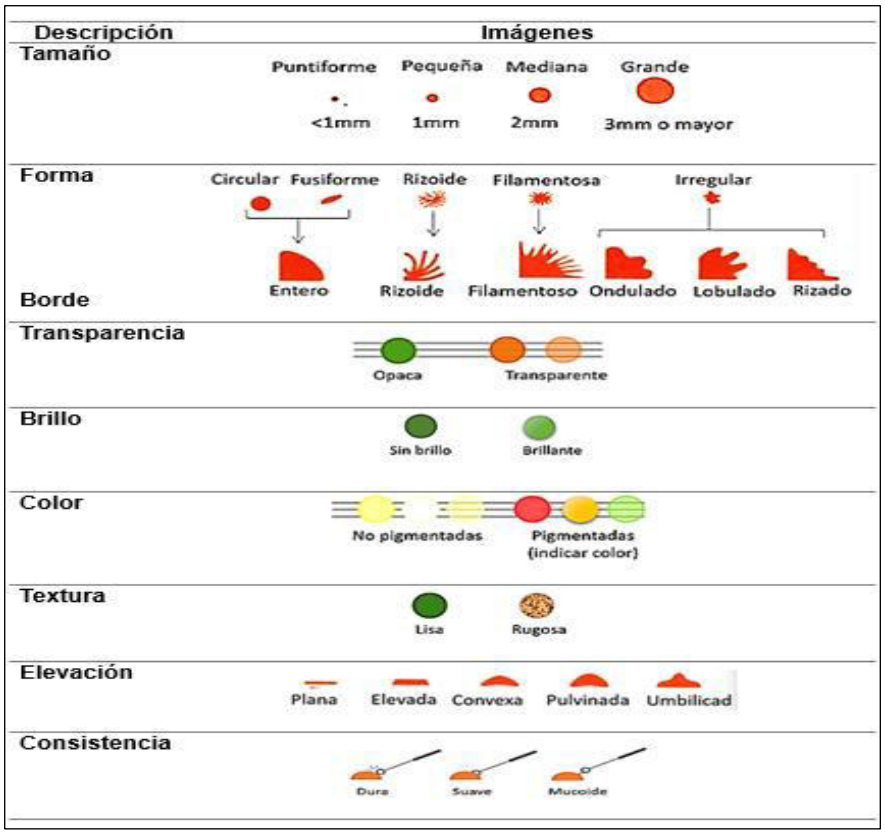
3.6.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato

3.6.2.1. Caracterización macroscópica

La evaluación macroscópica de bacterias solubilizadores es de suma importancia en la caracterización inicial, pues permite diferenciar cepas a través de la observación de sus colonias en medios de cultivo. Este análisis contempla atributos como forma, tamaño, color, borde, elevación, textura, opacidad y producción de pigmentos, que proporcionan información relevante para su estudio. Para ello, las bacterias se siembran y se incuban a 28–30 °C durante 24 horas, tras lo cual se procede a la descripción y registro fotográfico de las colonias. En la **Figura 9** se presenta la morfología utilizada para la caracterización macroscópica de las cepas aisladas.

Figura 9:

Morfología de las cepas bacterianas



Fuente: (Krzyżek, 2018), (Thomas, 2020).

3.6.2.2. Caracterización microscópica

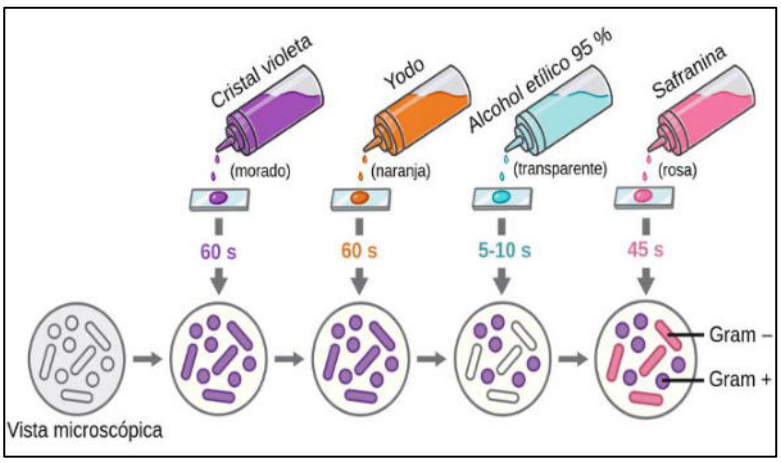
Se utilizaron cultivos puros aislados en agar nutritivo, de los cuales, con un asa de Kolle estéril, se transfirió una pequeña cantidad de biomasa a un portaobjetos limpio con una gota de agua destilada para su homogenización. Para la identificación microscópica, las preparaciones debían estar completamente secas antes de la tinción. Se realizaron dos tipos de frotis: con fijación por calor y simple. En el primero, la muestra reposó cinco minutos a temperatura ambiente y posteriormente se fijó al calor de un mechero Bunsen; en el segundo, se dejó secar únicamente a temperatura ambiente (Reinoso Caicedo, 2018).

a) Tinción de Gram

Este método permite identificar la morfología celular y diferenciar el tipo de bacteria, considerando que las Gram negativas se observan de color rojo y las Gram positivas de color azul violeta. Para ello, se aplicó un frotis con fijación por calor, tiñendo la muestra con cristal violeta durante 60 segundos y enjuagando con agua destilada. Posteriormente, se cubrió con solución de Lugol por 60 segundos y se repitió el lavado. La decoloración se realizó con alcohol al 95% durante 30 segundos, tras lo cual se aplicó safranina por 60 segundos. Una vez seca la preparación, se examinó al microscopio con objetivo de inmersión (100X) para determinar el tipo de bacteria (Reinoso Caicedo, 2018).

Figura 10:

Tinción de Gram



Fuente: (Reinoso Caicedo, 2018).

3.6.2.3. Caracterización bioquímica

a. Agar TSI (Triple Sugar Iron Agar)

Es un medio diferencial utilizado para identificar bacterias entéricas según su capacidad de fermentar glucosa, lactosa y sacarosa, así como producir gas o sulfuro de hidrógeno (Thompson, 2018). Para su preparación se pesaron 10,72 g para 165 mL, se distribuyeron 5 mL por tubo, se esterilizaron a 121 °C por 15 minutos y se dejaron solidificar en posición inclinada antes de inocular mediante punción y estría con un cultivo puro, en el anexo del panel fotográfico **Figura 68** se observa el resultado de su preparación.

La finalidad del Agar TSI es evidenciar reacciones bioquímicas que permitan diferenciar microorganismos por los cambios en el color del medio (De Araújo Maia, 2019). El amarillo indica acidez (A) y el rojo una reacción alcalina (K). La presencia de gas se observa como burbujas o fisuras, y el sulfuro de hidrógeno se detecta por la coloración negra en el fondo del tubo. Estas características permiten interpretar el metabolismo y la identificación del microorganismo.

Figura 11:

Agar TSI con reacción y sin reacción



Fuente: (Auctores., 2023).

b. Agar citrato de Simons

El Agar Citrato de Simons es un medio selectivo y diferencial utilizado para determinar si un microorganismo es capaz de utilizar el citrato como única fuente de carbono (Mendoza, 2010). Para su

preparación se pesaron 3,71 g para 165 mL, se distribuyeron 5 mL en tubos y se esterilizaron a 121 °C por 15 minutos, dejándolos solidificar en posición inclinada. La siembra se realizó mediante punción y estría en superficie con un cultivo puro, incubándose luego a 33 °C durante 24 horas, en el anexo del panel fotográfico **Figura 69** se observa el insumo químico que se utilizó para esta prueba bioquímica.

La finalidad de este medio es evidenciar el metabolismo del citrato a través del cambio de color. Un resultado positivo se observa cuando el medio adquiere un tono azul, indicando que el microorganismo utiliza el citrato y alcaliniza el entorno. Si no hay cambio y el medio permanece verde, se interpreta como resultado negativo. Esta prueba permite diferenciar bacterias, especialmente dentro de *Enterobacteriaceae*.

Figura 12:

Agar citrato con reacción y sin reacción



Fuente: (Auctores., 2023).

c. Agar MIO (Motilidad – Indol – Ornitina)

El Agar MIO es un medio diferencial empleado para evaluar simultáneamente la motilidad bacteriana, la producción de indol y la capacidad de descarboxilar ornitina. Para su preparación se pesaron 5,1 g para 165 mL, se distribuyeron 5 mL en tubos y se esterilizaron a 121 °C por 15 minutos, como se observa en la **Figura 17**. La inoculación se realizó mediante punción profunda sin tocar el fondo y estría en superficie, incubando los tubos a 33 °C durante 24 horas, en

el anexo del panel fotográfico **Figura 69** se observa el insumo químico que se utilizó para esta prueba bioquímica.

La interpretación se basa en tres parámetros: la motilidad se confirma por el crecimiento difuso o turbidez lejos del punto de inoculación; la descarboxilación de ornitina se evidencia mediante una coloración púrpura (positivo) o amarilla (negativo); y la producción de indol se determina añadiendo reactivo de Kovács, donde un anillo rojo indica un resultado positivo. Este medio permite diferenciar bacterias según su actividad metabólica.

Figura 13:

Agar MIO con reacción y sin reacción



***Fuente**:* (Ahmad Hafezi, 2024).

d. Reactivo de kocavs al 5%:

El reactivo de Kovacs al 5% se prepara disolviendo 0.5 g de p-dimetilaminobenzaldehído en 7.5 mL de alcohol isoamílico y, posteriormente, agregando cuidadosamente 2.5 mL de ácido clorhídrico concentrado, mezclando hasta obtener una solución homogénea. En el anexo del panel fotográfico **Figura 70** se observa el resultado de su preparación.

Esta preparación debe realizarse en campana extractora debido a los vapores irritantes del HCl. El reactivo se utiliza principalmente para detectar la producción de indol en bacterias, especialmente en pruebas bioquímicas como el medio SIM o MIO. Tras la incubación, se añaden de 3 a 5 gotas sobre el cultivo para

observar el desarrollo de un anillo rojo característico en caso de resultado positivo. Su correcta preparación garantiza sensibilidad y precisión en la identificación bacteriana.

Figura 14:

Reactivo de kocavs con reacción y sin reacción



Fuente: (Ahmad Hafezi, 2024).

e. MRVP (Rojo de Metilo – Voges Proskauer)

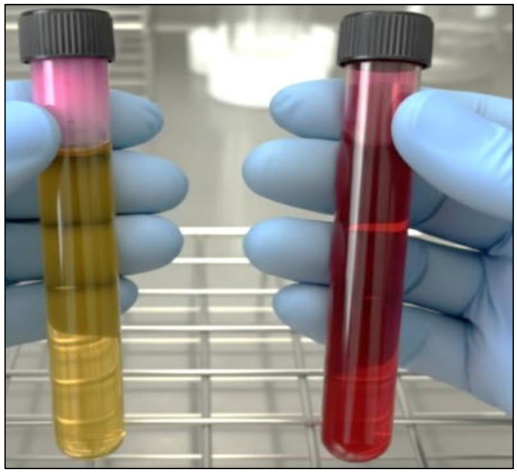
El ensayo MRVP (Rojo de Metilo – Voges Proskauer) es una prueba bioquímica utilizada para diferenciar microorganismos según la vía metabólica que emplean durante la fermentación de la glucosa. El componente Rojo de Metilo detecta la producción de ácidos estables, mientras que Voges-Proskauer identifica la formación de acetoína como intermediario neutro. En el anexo del panel fotográfico **Figura 67** se observa el insumo químico que se utilizó para esta prueba bioquímica. Su importancia radica en que permite distinguir entre bacterias del grupo coliforme y enterobacterias con rutas fermentativas distintas. De esta manera, aporta información clave para la identificación microbiológica.

Metodológicamente, el ensayo requiere la incubación del caldo RM–VP bajo condiciones controladas, seguido del fraccionamiento del cultivo para aplicar cada prueba por separado. El Rojo de Metilo se interpreta por el cambio inmediato de color, mientras que Voges-Proskauer depende de reacciones químicas graduales que revelan compuestos neutros. La correcta preparación de reactivos y el tiempo

de reposo son esenciales para obtener resultados confiables. En conjunto, ambos procedimientos permiten una diferenciación precisa de los patrones fermentativos bacterianos.

Figura 15:

MRVP con reacción y sin reacción



Fuente: (Ahmad Hafezi, 2024).

f. Prueba de rojo de metilo - Vogues Proskauer

La prueba Rojo de Metilo – Voges Proskauer (RM–VP) es un conjunto de ensayos bioquímicos diseñado para diferenciar bacterias según los productos finales generados durante la fermentación de la glucosa (Hafezi, 2024). El reactivo de Rojo de Metilo permite identificar microorganismos que producen ácidos estables, mientras que Voges Proskauer detecta la presencia de acetoína, un metabolito neutro (Roy, 2023). En el anexo del panel fotográfico **Figura 72** se observa su reaccion.

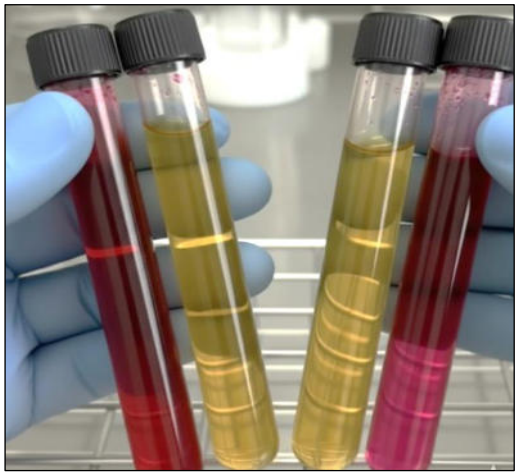
Esta distinción es esencial en la caracterización de *enterobacterias*. Su importancia radica en que ofrece un criterio preciso para la identificación y clasificación microbiana. El Rojo de Metilo evalúa la acidificación del medio mediante un cambio inmediato de color, mientras que Voges Proskauer involucra la reacción química entre α-naftol y KOH para revelar acetoína tras un periodo de reposo. La correcta preparación y manipulación de los reactivos garantizan resultados confiables. En conjunto, ambos procedimientos aportan una evaluación integral del metabolismo fermentativo bacteriano.

Reactivos empleados:

- α-Naftol: solución al 5 % preparada en alcohol etílico absoluto.
- Hidróxido de potasio (KOH) al 40 %: disuelto en agua destilada.
- Solución de rojo de metilo: 0,1 g disueltos en 300 mL de etanol al 95 %, completando con 500 mL de agua destilada.

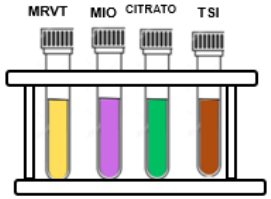
Figura 16:

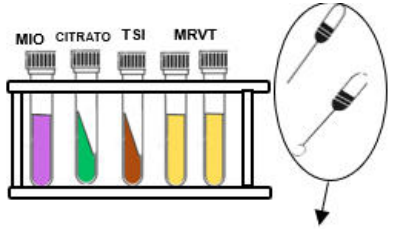
Prueba de rojo de metilo con reacción y sin reacción



Fuente: (Ahmad Hafezi, 2024)***.***

Figura 17: *Procedimiento de pruebas bioquímicas*

<table>
<tr><th colspan="3">Preparación, aplicación de pruebas bioquímicas</th></tr>
<tr><td>Paso 1: Extracción</td><td>Paso 2: Preparación</td><td>Paso 3: Aplicación</td></tr>
<tr><td>
Bacteria en placa de Agar por 24 horas.</td><td>

Se preparo los insumos y se pasa a la autoclave por 30 minutos.</td><td>

Herramientas para hacer la punción en el medio de cultivo.</td></tr>
<tr><td>Equipos del laboratorio</td><td colspan="2">Paso 4: Pruebas bioquímicas</td></tr>
<tr><td>
Incubadora

Cámara de flujo laminar.

Autoclave</td><td colspan="2">
Después de la siembra en el cultivo se encuba por 24 horas y se ve los resultados.</td></tr>
</table>

a) **Pruebas de identificación preliminar, con lectura inmediata:**

a. Catalasa

La enzima catalasa se encuentra en la mayoría de los microorganismos aerobios y facultativos que poseen sistemas respiratorios con citocromos (Canuto Cortés, 2014). Su función principal consiste en descomponer el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno, manifestándose este último en forma de burbujeo como se observa en la **Figura 18**.

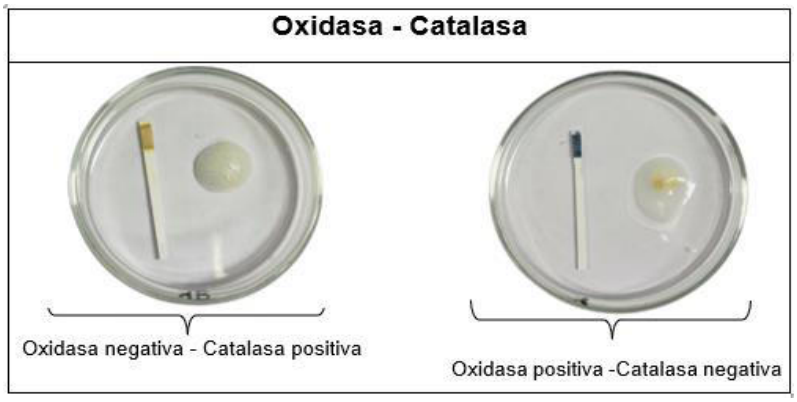
- **Resultado positivo:** aparición evidente de burbujas tras el contacto con el reactivo.
- **Resultado negativo:** ausencia de burbujeo o producción mínima después de 30 segundos.

b. Oxidasa

La prueba de oxidasa permite identificar la presencia de enzimas del complejo citocromo oxidasa en determinados microorganismos (Romero, 2019). La reacción se basa en la capacidad del sistema enzimático de transferir electrones al oxígeno molecular, generando como producto final peróxido de hidrógeno, dependiendo de la especie bacteriana. La aparición de una coloración azul en la tira reactiva indica un resultado positivo para oxidasa, mientras que la ausencia de cambios de color corresponde a un resultado negativo como se observa en la figura.

Figura 18:

Pruebas bioquímicas catalasa y oxidasa



Fuente: *propia*

3.6.3. Caracterización molecular

3.6.3.1. Extracción de ADN con Kit comercial Promega

La extracción de ADN genómico de bacterias se realizó utilizando el kit comercial Wizard HMW DNA Extraction Kit (Promega). El procedimiento se inició con la centrifugación de 1 mL de cultivo bacteriano nocturno a una fuerza centrífuga de 13 000–16 000 RCF durante 2 minutos, con el fin de sedimentar las células y separarlas del medio de cultivo. El sobrenadante fue eliminado y el *pellet* celular obtenido constituyó el punto de partida para la extracción del ADN (Wood E. J., 1983).

El siguiente paso correspondió a la lisis celular, para lo cual se añadieron 600 µL de una solución específica de lisis de núcleos al pellet, asegurando una mezcla homogénea mediante pipeteo suave. Esta mezcla se incubó a 80 °C durante 5 minutos para favorecer la ruptura celular y, posteriormente, se normalizó la temperatura a condiciones ambientales (Wood E. J., 1983). Con el fin de eliminar el ARN presente, se adicionaron 4 µL de solución de ARNasa y la mezcla se incubó a 37 °C por un periodo de 15 a 60 minutos, enfriándose después nuevamente a temperatura ambiente.

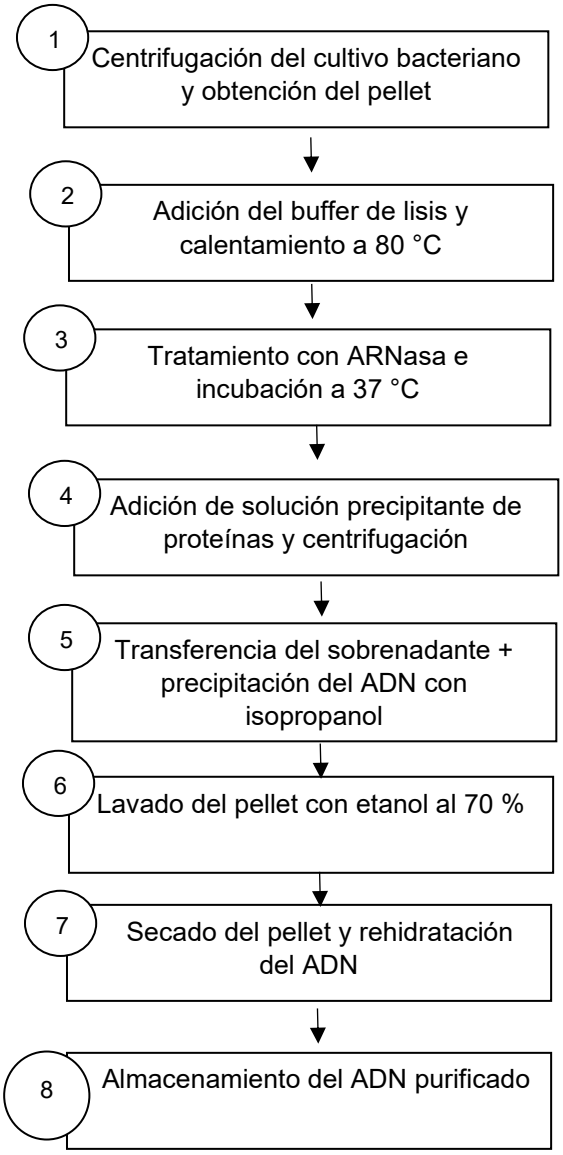
Para la eliminación de proteínas, se incorporaron 200 µL de una solución precipitante específica, agitando la mezcla en vórtex. La incubación en hielo durante 5 minutos permitió consolidar la precipitación proteica, tras lo cual la muestra fue centrifugada a 13 000–16 000 RCF durante 3 minutos. El sobrenadante, que contenía el ADN, fue cuidadosamente transferido a un tubo limpio al que se añadieron 600 µL de isopropanol a temperatura ambiente. La mezcla se agitó suavemente y se centrifugó nuevamente bajo las mismas condiciones, decantando posteriormente el sobrenadante.

El pellet de ADN obtenido se lavó con 600 µL de etanol al 70 %, centrifugándose durante 2 minutos a 13 000–16 000 RCF. Posteriormente, el etanol fue retirado y el pellet se dejó secar al aire durante 10 a 15 minutos para eliminar residuos. Finalmente, el ADN se rehidrató con 100 µL de solución de rehidratación, incubándose durante 1 hora a 65 °C o, alternativamente, durante la noche a 4 °C.

Este procedimiento permitió obtener ADN genómico bacteriano de alta pureza y calidad, garantizando su idoneidad para los análisis genéticos posteriores contemplados en la presente investigación (Wood E. J., 1983).

Figura 19:

Flujograma de Extracción de ADN con Kit Promega



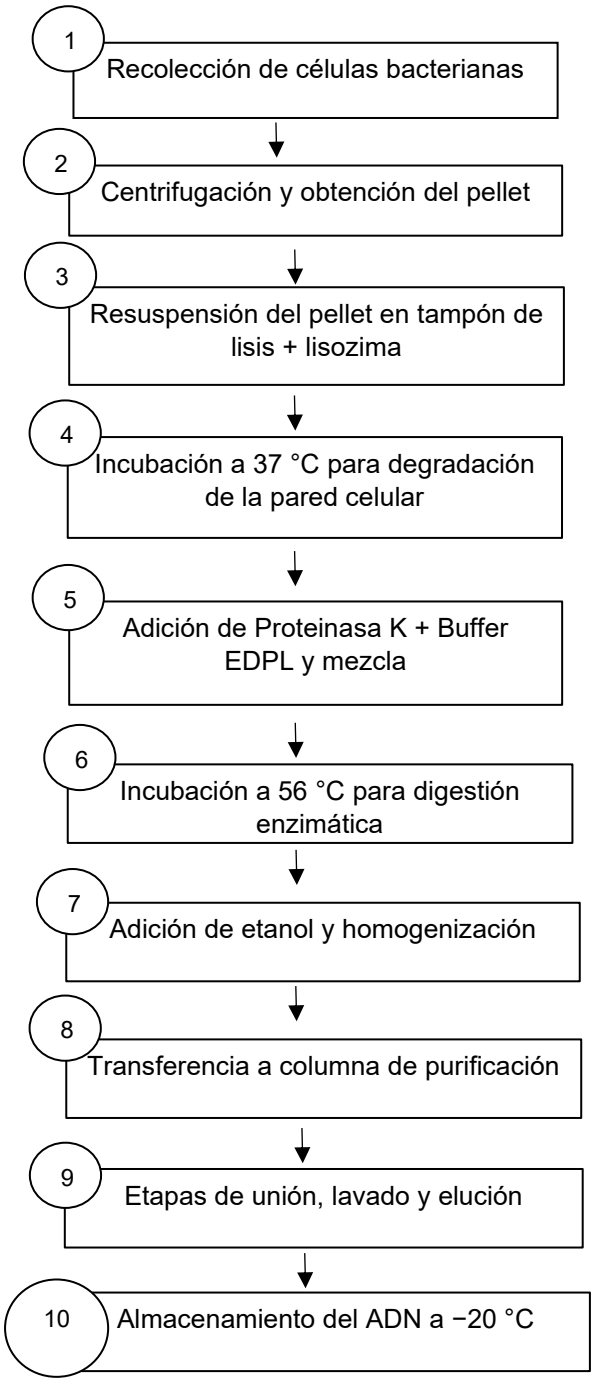
Fuente: (Abdulamir, 2010)***.***

3.6.3.2. Extracción de ADN con Kit QuantaBio

La extracción de ADN genómico se realizó con el kit QuantaBio, el cual permite obtener material genético de alta pureza y libre de inhibidores, adecuado para análisis moleculares posteriores. En este estudio, el procedimiento se aplicó únicamente a bacterias Gram positivas, procesándose un total de 17 muestras. Para ello, se recolectaron aproximadamente 2×10^9 células bacterianas mediante centrifugación a 5000 g por 10 minutos, y el pellet resultante fue resuspendido en 180 µL de tampón de lisis suplementado con 20 mM Tris-HCl (pH 8.0), 2 mM EDTA, 1,2 % Triton X-100 y lisozima a una concentración final de 20 mg/mL, con el fin de favorecer la degradación de la pared celular (QuantaBio, 2018). Posteriormente, las muestras se incubaron a 37 °C durante 30 minutos en baño térmico, y al lisado resultante se añadieron 20 µL de Proteinasa K y 200 µL de Buffer EDPL, mezclando vigorosamente por vortex. La digestión enzimática se llevó a cabo a 56 °C durante 30 minutos, asegurando la liberación del ADN (QuantaBio, 2018). Seguidamente, se incorporaron 200 µL de etanol absoluto y se homogeneizó por agitación para permitir la unión del ADN a la matriz de purificación (QuantaBio, 2018). Finalmente, las muestras fueron transferidas a las columnas de purificación incluidas en el kit y sometidas a los pasos de unión, lavado y elución según las indicaciones del fabricante, obteniéndose así el ADN genómico, el cual fue almacenado a −20 °C hasta su utilización en los análisis posteriores.

Figura 20:

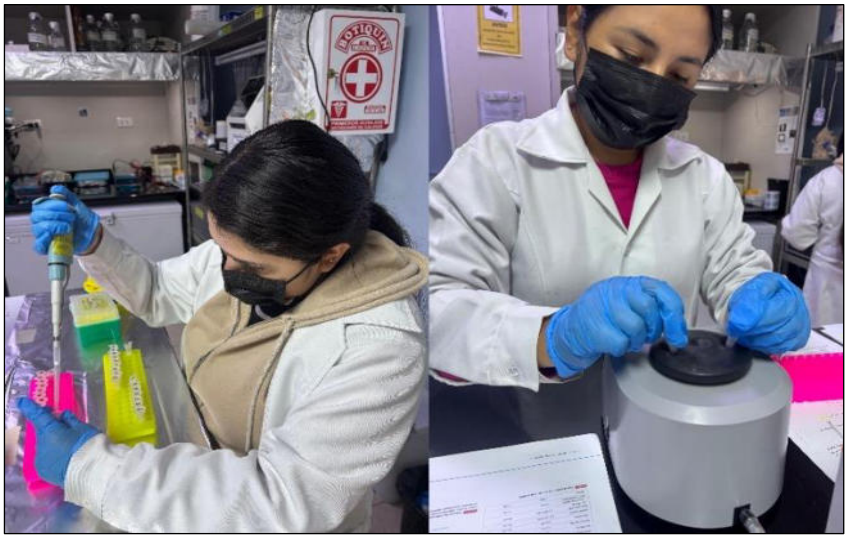
Flujograma de Extracción de ADN con Kit QuantaBio



Fuente: (Cawthorn, 2010)***.***

Figura 21:

Extracción de ADN bacteriano



Fuente: *Propia*

3.6.3.3. Evaluación mediante NanoDrop

La cuantificación y evaluación de la pureza del ADN extraído de bacterias Gram positivas y Gram negativas se realizó mediante espectrofotometría utilizando un equipo NanoDrop (Thermo Scientific). Este instrumento permite medir con alta precisión la concentración de ácidos nucleicos y proteínas a partir de volúmenes muy pequeños de muestra, sin necesidad de reactivos adicionales. El NanoDrop se basa en la medición de la absorbancia a longitudes de onda específicas (260 nm y 280 nm), lo que posibilita determinar tanto la concentración como la pureza del ADN (Contreras, 2018).

La importancia de esta medición radica en que la calidad del ADN es fundamental para garantizar resultados fiables en análisis moleculares posteriores, como PCR, secuenciación o clonación. La relación A260/A280 se utiliza como un indicador de contaminación proteica, mientras que la relación A260/A230 permite detectar la presencia de compuestos orgánicos o sales residuales (Contreras, 2018).

Los valores óptimos de pureza del ADN son:

- A260/A280: 1.8 ± 0.1 → indica ADN relativamente puro sin contaminación proteica significativa.
- A260/A230: 2.0–2.2 → indica ausencia de compuestos orgánicos o sales que puedan interferir en los ensayos moleculares.

De esta manera, se verificó que las muestras de ADN extraídas presentaban una adecuada pureza y concentración, garantizando su calidad para posteriores análisis moleculares confiables, como se detalla en el anexo base de datos, **Tabla 22** y **Tabla 23.**

3.6.3.4. Electroforesis

La evaluación de las muestras de ADN se realizó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5 %, aplicando una corriente de 100 V durante 40 minutos. Posteriormente, el gel fue teñido con bromuro de etidio por 10 minutos y enjuagado con agua destilada para retirar el exceso del colorante. Las bandas obtenidas se visualizaron con un fotodocumentador Bio-Rad, permitiendo una captura precisa de las imágenes. Asimismo, el ADN extraído fue cuantificado con un espectrofotómetro NanoDrop, registrando absorbancias a 260 y 280 nm para verificar su concentración y pureza.

3.6.3.5. Secuenciamiento del gen 16S

Las cepas bacterianas aisladas en este estudio fueron sometidas a un proceso de secuenciación del gen 16S rRNA con el fin de determinar su diversidad genética. Para ello, se procedió a la creación de bibliotecas de secuenciación utilizando el kit 16S Barcoding (SQK-RAB204, Oxford Nanopore Technologies, Oxford, Reino Unido), siguiendo estrictamente los lineamientos establecidos por el fabricante, lo que aseguró la estandarización y reproducibilidad de los resultados. La purificación de los amplicones generados se realizó mediante el reactivo AMPure XP (Beckman Coulter, Brea, CA, EE. UU.), permitiendo la eliminación eficiente de componentes no incorporados y posibles impurezas presentes en las muestras.

Posteriormente, el cebado y la carga de las bibliotecas en la celda de flujo se llevaron a cabo empleando el kit Cell Priming (EXP-FLP002, Oxford Nanopore Technologies, Oxford, Reino Unido), conforme a las especificaciones del protocolo suministrado. La secuenciación se efectuó en el dispositivo MinION (Mk1C, Oxford Nanopore Technologies, Oxford, Reino Unido), recientemente adquirido por el Laboratorio de Biología Molecular y Biotecnología de la UNAM, utilizando una celda de flujo R9.4.

Las secuencias obtenidas fueron procesadas mediante el protocolo WIMP (What's In My Pot) en la plataforma bioinformática EPI2ME (Oxford

Nanopore Technologies, Oxford, Reino Unido), empleando los flujos de trabajo específicos para 16S (versión v2023.04.21-1804452), lo que facilitó la identificación taxonómica y la caracterización de la diversidad genética de las cepas bacterianas analizadas.

Finalmente, se implementaron controles de calidad en todas las etapas del procedimiento desde la recolección y preparación de las muestras hasta el análisis bioinformático con el propósito de asegurar la integridad, confiabilidad y precisión de la información generada.

3.6.3.6. Análisis de datos

3.6.3.6.1. Análisis filogenético

Para el análisis filogenético se utilizaron las secuencias obtenidas del gen 16S rDNA. Estas se compararon con un grupo de secuencias de referencia obtenidas de la base de datos GenBank (NCBI). Para ello, se empleó el software MEGA (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) para realizar un alineamiento múltiple de secuencias (Multiple Sequence Alignment, MSA) utilizando el algoritmo Muscle. En herramienta BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), se analizaron las secuencias de los vibrios aislados de las diferentes muestras obtenidas y se compararon con el GenBank para identificar la especie de cada aislado. Luego se realizó el armado del árbol filogenético en el software MEGA (Molecular Evolutionary Genetic Analysis).

3.6.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro

3.6.4.1. Formación de consorcios bacterianos solubilizadores fosfato

La formación de los CBSF se realizó mediante un diseño experimental completamente aleatorizado, con el propósito de conformar consorcios integrados por cepas con elevada capacidad de solubilización de fosfato. Para este fin, se seleccionaron las cepas bacterianas con los índices de solubilidad más altos, procedentes de cuatro regiones de Brasil (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás y Paraná) y de tres departamentos del sur del Perú (Moquegua, Tacna y Puno), como se presenta en el anexo, panel de datos, **Tabla 19.**

3.6.4.1.1. Preparación de los cultivos bacterianos

Cada cepa seleccionada fue cultivada individualmente en matraces Erlenmeyer con 80 mL de caldo nutritivo, inoculados con 300 µL de suspensión bacteriana en fase activa. Las incubaciones se efectuaron a 35 °C durante 48 horas en condiciones estáticas, obteniéndose biomasa bacteriana homogénea y con densidad celular adecuada (UFC/mL), garantizando la comparabilidad entre tratamientos.

3.6.4.1.2. Integración de las mezclas

Tras alcanzar el crecimiento óptimo, se conformaron cinco tratamientos experimentales, cada uno integrado por cinco cepas distintas. Las mezclas se llevaron a cabo mediante un diseño completamente al azar (Martínez Nieto, 2012). Se transfirieron volúmenes equivalentes de los cultivos individuales hasta completar 200 mL por cada mezcla. Una vez obtenidos los inoculantes, se ajustó su concentración celular a una densidad óptica (DO_{600} = T1 = **1.73**, T2 = **1.81**, T3 = **1.84**, T4 = **1.70** y T5 = **1.82**), siguiendo metodologías estándar empleadas para la normalización de inóculos bacterianos en estudios de consorcios microbianos (Reynoso-Cereceda, 2015). Este procedimiento permitió establecer combinaciones microbianas estandarizadas, orientadas a evaluar posibles interacciones interespecíficas, incluyendo potenciales sinergismos metabólicos en la solubilización de fosfatos. La metodología aplicada y la organización experimental de los consorcios se presentan en la **Figura 22.**

Figura 22:

Conformación de consorcios bacterianos



Fuente: *Propia*

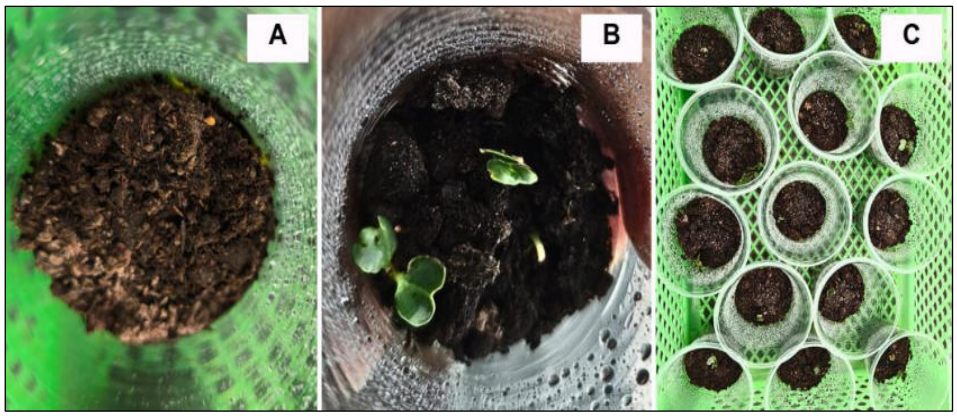
3.6.4.2. Manejo del cultivo *R. sativus* (rábano) *in vitro*

3.6.4.2.1. Producción de semillero

La germinación se realizó en vasos plásticos utilizados como unidades individuales de germinación, cada uno rellenado con sustrato de tierra previamente esterilizada (Indira, 2012). Las semillas de *R. sativus* fueron sembradas a una profundidad de 2 a 4 cm, colocando de tres a cuatro semillas por vaso y manteniendo una adecuada separación para favorecer la aireación y el crecimiento uniforme de las plántulas como se observa en la **Figura 23**. En este procedimiento se consideraron 25 vasos, los cuales conformaron las unidades experimentales de germinación, siguiendo la metodología propuesta por (Yolanda, 2012).

Figura 23:

Etapas del brote de semillas de Rábano



Nota: *Siembra inicial (**A**), Emergencia de brotes (**B**), Desarrollo uniforme (**C**).*

3.6.4.2.2. Preparación del suelo / sustrato

El sustrato utilizado en la investigación fue recolectado en las Lomas de Ilo, cuya ubicación se detalla en la **Tabla 9**, y posteriormente sometido a un proceso de esterilización en autoclave antes de su uso, tal como se observa en **la Figura 24**. En total, se recolectaron 160 kg de sustrato, los cuales fueron distribuidos en seis unidades de 26 kg cada una, correspondientes a los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5.

La esterilización en autoclave permitió obtener un sustrato libre de microorganismos, esporas y patógenos, asegurando un medio experimental uniforme y controlado para la evaluación de los consorcios microbianos (Wood J. P., 2024). Debido a este proceso, el sustrato quedó reducido a una matriz física inerte, sin actividad microbiana funcional, por lo que las características químico-biológicas originales no representan las condiciones reales del sustrato utilizado durante el ensayo, dado que estas propiedades se ven significativamente modificadas tras la esterilización.

Este procedimiento garantizó condiciones adecuadas para el llenado de la parcela agrícola y la posterior siembra de las semillas, permitiendo un desarrollo inicial uniforme del cultivo y evitando interferencias externas en la actividad biológica asociada a los tratamientos evaluados (Carrión, 2024).

Tabla 9:

Georreferenciación del sitio de recolección del sustrato

Ubicación	Coordenadas UTM (Zona 19S)	Altitud (m s. n. m.)
Lomas de Ilo	Este: 261,738 m	608 m s. n. m
	Norte: 1,957,603 m S	

Figura 24:

Preparación del sustrato para trasplante



Nota: *Preparación del sustrato (**A**), Esterilización en autoclave (**B**), Distribución del sustrato esterilizado (**C**)*

3.6.4.2.3. Trasplante al prototipo experimental

El trasplante de las plántulas de *R. sativus* se realizó desde el semillero hacia la parcela agrícola con distribución, cuyo diseño se observa en el panel fotográfico **Figura 75** y en la **Figura 25**. Esta actividad se llevó a cabo dos semanas después de la germinación, una vez que las plantas alcanzaron el estado fenológico adecuado para su manipulación.

El experimento estuvo conformado por seis tratamientos, utilizando 12 plantas por tratamiento, lo que dio un total de 72 plantas trasplantadas. Esta distribución permitió mantener una estructura experimental uniforme y ordenada en cada unidad. Durante el proceso de trasplante se aplicaron técnicas adecuadas de manipulación para evitar daños en las raíces y estructuras en desarrollo. Asimismo, se seleccionaron únicamente plantas que presentaban mayor vigor,

uniformidad y sanidad, asegurando condiciones óptimas para el inicio de la fase de evaluación y monitoreo. Estas acciones se ejecutaron conforme a las recomendaciones técnicas para la producción y manejo de especies hortícolas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Dadther, 2024).

Figura 25:

Parcela agrícola con distribución



Fuente: *Propia*

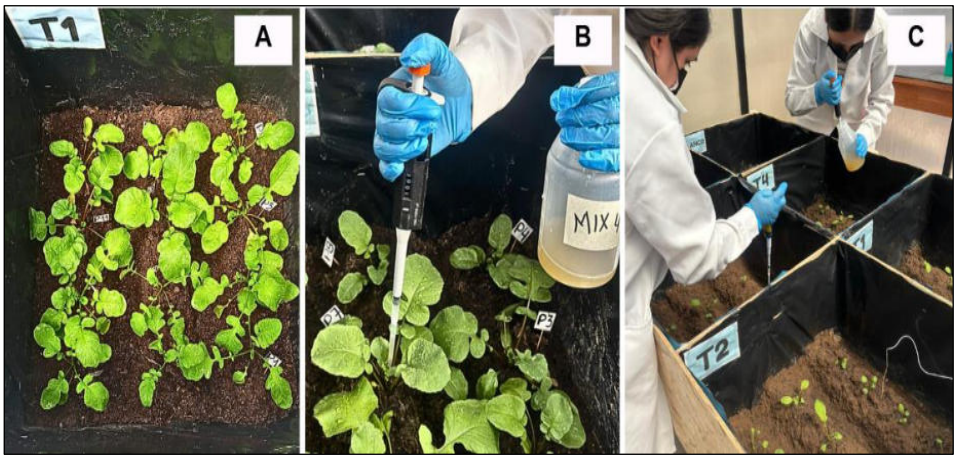
3.6.4.2.4. Aplicación de consorcios

Con el fin de evaluar la eficiencia de los CB en la promoción del crecimiento de *R. sativus*, se diseñaron seis tratamientos experimentales: cinco conformados por consorcios bacterianos integrados por cinco cepas solubilizadores de fosfato, y un tratamiento control sin inoculación bacteriana. La inoculación se efectuó en dos fases, correspondientes a las etapas críticas del desarrollo del cultivo: desarrollo de plántula y crecimiento vegetativo. La primera aplicación se realizó durante el trasplante, cuando las plántulas presentaban las primeras hojas verdaderas, mientras que la segunda se llevó a cabo en la fase de crecimiento vegetativo, caracterizada por una mayor actividad foliar y radicular. En cada aplicación se administró la suspensión bacteriana directamente en la base de las plantas mediante pipeteo, utilizando un volumen estandarizado de 1000 mL por tratamiento y realizando cinco

repeticiones por unidad experimental. Todas las actividades se ejecutaron bajo protocolos de bioseguridad y siguiendo la metodología establecida por (Hurtado-Salazar, 2023), a fin de garantizar la precisión experimental y la confiabilidad de los resultados.

Figura 26:

Aplicación de los consorcios bacterianos



Nota: *Tratamiento T1 (**A**), Aplicación de CBSF (**B**), Repetición de la aplicación de CBSF (**C**)*

Tabla 10:

Diseño experimental de los tratamientos

Tratamiento	Cepas integradas	Etapas de aplicación	Volumen aplicado	Número de repeticiones	Método de inoculación	DO_{600}
T1	5	Desarrollo de la planta y crecimiento vegetativo	1000 mL	5	Pipeteo en la base de la planta	1.73
T2	5	Desarrollo de la planta y crecimiento vegetativo	1000 mL	5	Pipeteo en la base de la planta	1.81
T3	5	Desarrollo de la planta y crecimiento vegetativo	1000 mL	5	Pipeteo en la base de la planta	1.84
T4	5	Desarrollo de la planta y crecimiento vegetativo	1000 mL	5	Pipeteo en la base de la planta	1.70
T5	5	Desarrollo de la planta y crecimiento vegetativo	1000 mL	5	Pipeteo en la base de la planta	1.82
T0 (control)	-	-	-	-	-	-

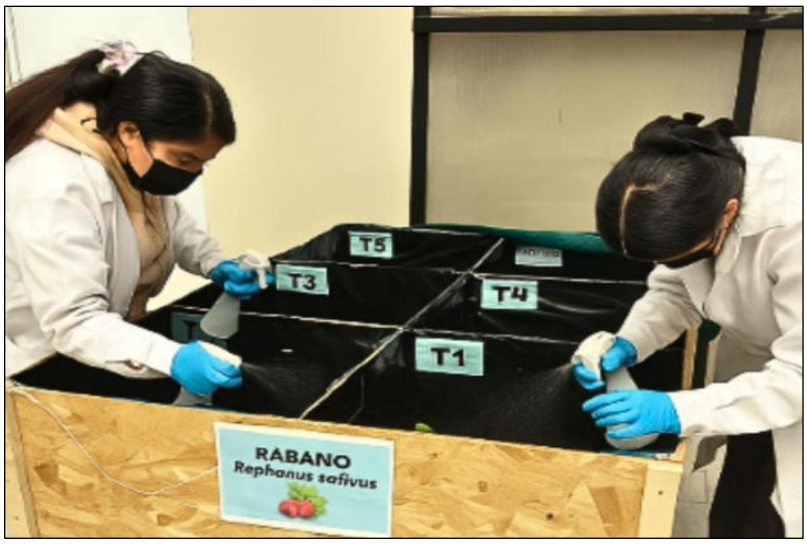
3.6.4.2.5. Riego

El riego se realizó utilizando agua osmotizada, seleccionada por su baja concentración de sales disueltas y la ausencia de compuestos que puedan interferir en la disponibilidad de nutrientes o generar estrés osmótico en las plantas. El uso de agua purificada permite un mayor control experimental y reduce las variaciones en el pH y la absorción nutrimental del cultivo, tal como señalan diversos autores que estudian el riego con agua desalada u obtenida mediante ósmosis inversa (Silber, 2014).

El riego se aplicó de forma interdiaria mediante un sistema de aspersión manual, como se muestra en la **Figura 27**. Este procedimiento permitió mantener una humedad uniforme y condiciones hídricas estables en el sustrato, garantizando un ambiente adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas durante todo el periodo experimental.

Figura 27:

Riego con aspersor manual



Fuente: *Propia*

3.6.4.2.6. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo al cumplirse los tres meses de cultivo, siguiendo las recomendaciones descritas en la Guía completa de cultivo de rábano en el huerto (Redacción, 2024), la cual señala que la recolección debe realizarse cuando las raíces alcanzan su tamaño óptimo y antes de que se endurezcan. La recolección se efectuó de manera manual, aplicando procedimientos cuidadosos para evitar daños en las raíces y en las estructuras vegetativas. Posteriormente, las muestras fueron lavadas y conservadas bajo condiciones de temperatura controlada con el fin de mantener su integridad fisiológica. Finalmente, se registraron las variables agronómicas para evaluar las diferencias en crecimiento y desarrollo entre los tratamientos inoculados y el control.

Figura 28:

Cosecha de R. sativus



Fuente: *Propia*

3.6.4.2.7. Monitoreo de parámetros

Se llevó a cabo el seguimiento de los parámetros de crecimiento y desarrollo del cultivo, tal como se detalla en la **Tabla 11.**

Tabla 11:

Monitoreo de parámetros agronómicos de R. sativus "rábano"

Tipo de parámetros	Parámetro	Etapa de monitoreo	Frecuencia	Unidad de medida
Morfológicos	Altura de plantas	Desarrollo del cultivo	Interdiario	cm
	Número de hojas	Desarrollo del cultivo	Semanal	hojas/planta
	Diámetro del tubérculo	Cosecha	Una vez	g
	Longitud de raíz	Cosecha	Una vez	cm
Biomásicos	Peso del tubérculo fresco	Cosecha	Una vez	g
	Peso del tubérculo seco	Cosecha	Una vez	g
Fisicoquímicos	pH del suelo	Inicio, desarrollo y cosecha	Una vez por etapas	unidades de pH
	Temperatura	Desarrollo del cultivo	Interdiario	°C

Fuente: *Propia*

3.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos durante la caracterización microbiológica, bioquímica y fisiológica de los consorcios bacterianos fueron organizados y procesados en Microsoft Excel, donde se realizó el registro, ordenamiento y representación de la información mediante gráficos de barras y circulares, lo que permitió una interpretación clara de los resultados cualitativos (Belotto, 2018).

En la fase experimental correspondiente al cultivo de *R. sativus*, los datos cuantitativos fueron depurados en Excel y posteriormente analizados en el entorno estadístico RStudio (versión 2022.12.0+353). Para determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable de respuesta, se aplicó un modelo lineal mixto (LMM), considerando efectos fijos asociados a los tratamientos y efectos aleatorios correspondientes a las repeticiones experimentales.

La significancia estadística de los factores principales y sus interacciones se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) tipo III, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Cuando se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey (HSD), con el propósito de establecer diferencias entre medias.

Los resultados se expresaron como media ± error estándar, presentándose en tablas y gráficos que facilitan la interpretación y comparación de los tratamientos evaluados. Este procedimiento permitió determinar con precisión el impacto de los CBSF sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de *R. sativus* bajo condiciones controladas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.8. Resultados

3.8.1. Aislamiento y selección de bacterias solubilizadores de fosfato

3.8.1.1. Aislamiento

Se procesaron 85 muestras de suelo procedentes de áreas agrícolas y de vegetación nativa en cuatro regiones de Brasil (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás y Paraná), así como 27 muestras de suelos agrícolas y no agrícolas pertenecientes a los departamentos del sur del Perú (Moquegua, Tacna y Puno), como se detalla en el anexo, panel de datos, **Tabla 19.** A partir de estas muestras se aislaron 56 cepas bacterianas en Brasil y 63 en Perú, mediante diluciones seriadas en agua estéril y cultivo en agar nutritivo a 30 °C durante 24 horas.

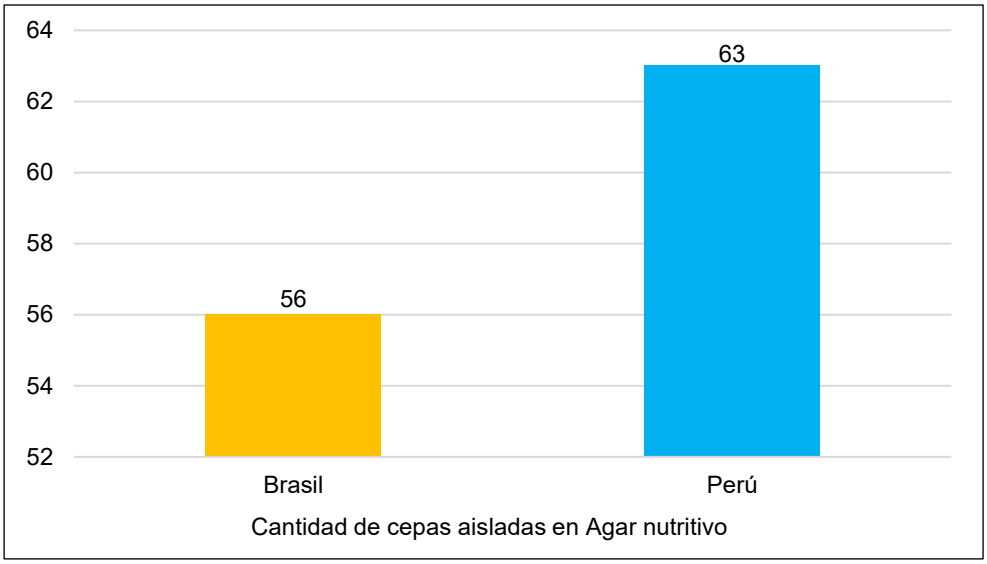
Las colonias obtenidas fueron posteriormente aisladas en placas Petri con agar nutritivo, logrando cultivos puros. Las cepas aisladas se inocularon en medio especifico *Pikovskaya* para evaluar su capacidad de solubilización de fosfato, considerando la formación de halos alrededor de las colonias como criterio principal de selección.

Los resultados indicaron que en Brasil el 25 % (14) de las cepas mostraron actividad solubilizadora. En Perú, el 30 % (19) de las cepas fueron solubilizadores.

Las cepas positivas se sometieron a un monitoreo de 10 días, registrándose los diámetros de halo, que oscilaron entre 1 y 4 cm, con promedios de 1.85 cm para Brasil y 2.80 cm para Perú. A partir de estos datos se calculó el índice de solubilización (IS), obteniéndose promedios de 1.69 para las cepas brasileñas y 2.80 para las peruanas, lo que evidencia un mayor potencial solubilizador en las bacterias aisladas de los suelos del sur de Perú estos resultados se encuentran detallado en anexos en la **Tabla 25.**

Figura 29:

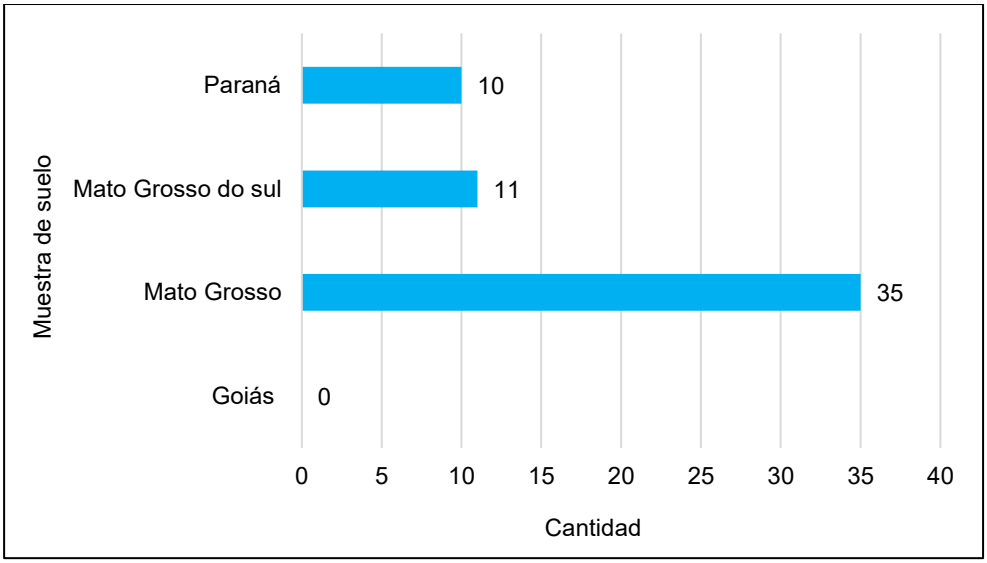
Número de cepas bacterianas aisladas por país



En la **Figura 29** se observa que se aislaron 56 cepas nativas bacterianas en Brasil y 63 en Perú, siendo Perú el país con el mayor número de aislamientos.

Figura 30:

Cepas bacterianas aisladas de muestras de suelo en Brasil

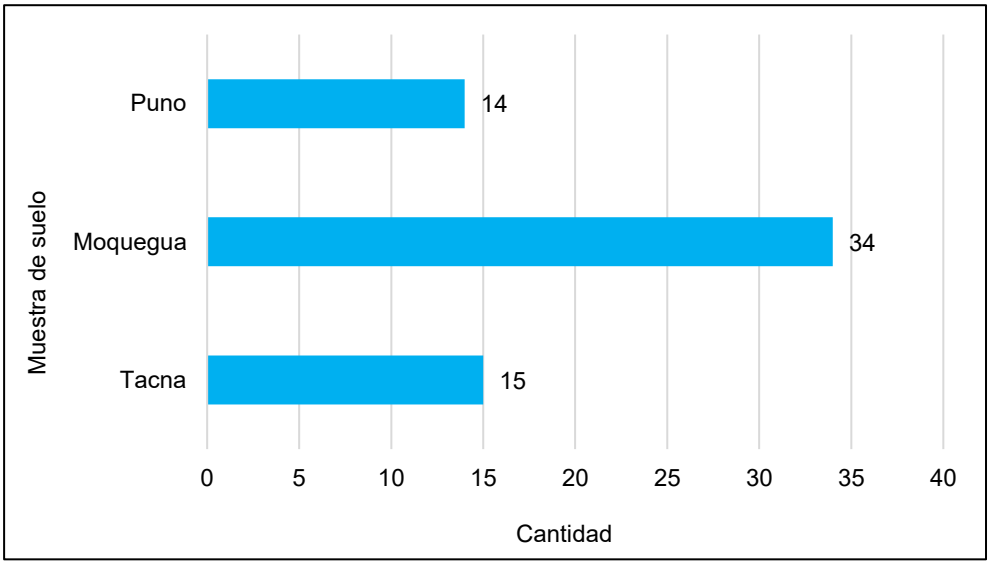


La **Figura 30** presenta la distribución de cepas bacterianas obtenidas a partir de las muestras de suelo utilizadas. La mayor cantidad de cepas se registró en las muestras de Mato Grosso, con 35 cepas, representando el 62.5 % del total de 56 cepas aisladas. En las muestras de Mato Grosso do Sul se identificaron 11 cepas (19.64 %) y en Paraná 10 cepas (17.86 %),

siendo esta última la proporción más baja de cepas obtenidas entre las muestras evaluadas.

Figura 31:

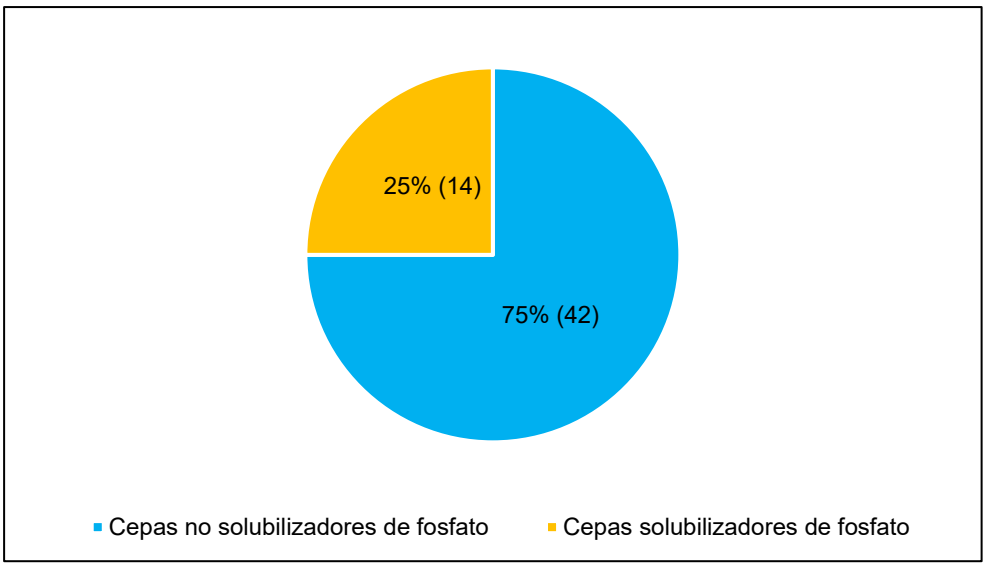
Cepas bacterianas aisladas de muestras de suelo en Perú



La **Figura 31** ilustra la distribución de cepas bacterianas obtenidas a partir de las muestras de suelo utilizadas. La mayor cantidad de cepas se registró en las muestras de Moquegua, con 34 cepas, representando el 54.0 % del total de 63 cepas aisladas. En las muestras de Tacna se identificaron 15 cepas (23.8 %) y en Puno 14 cepas (22.2 %), siendo esta última la proporción más baja de cepas obtenidas entre las muestras evaluadas.

Figura 32:

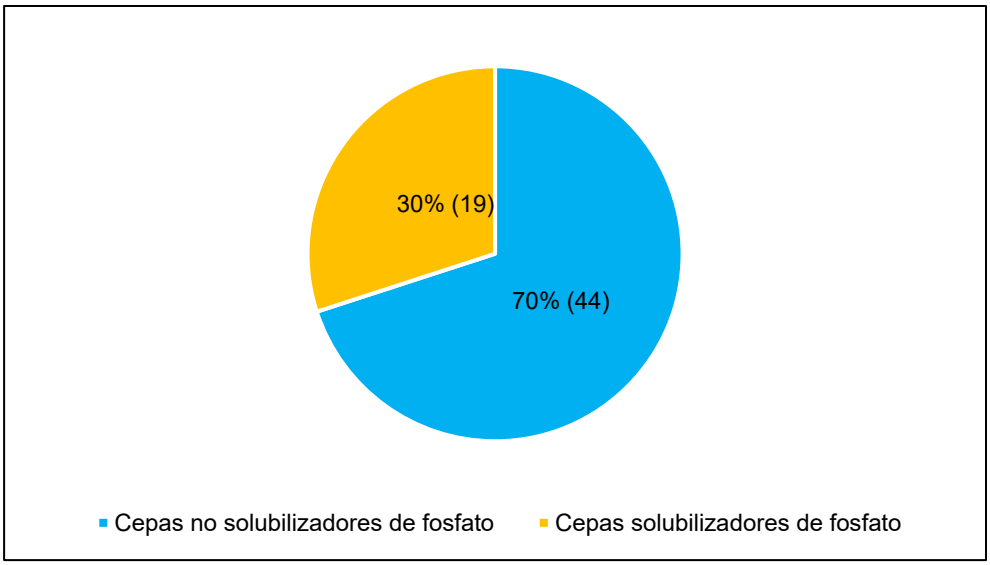
Porcentaje de cepas solubilizadores y no solubilizadores de Brasil



La **Figura 32** presenta la distribución de las cepas bacterianas aisladas, indicando que 42 cepas no son solubilizadores, representando el 75 %, mientras que 14 cepas son solubilizadores, representando el 25 % del total de 56 cepas obtenidas a partir de las muestras de suelo. Estos resultados evidencian que, aunque existe presencia de bacterias capaces de liberar fósforo disponible en el suelo, su proporción es relativamente baja.

Figura 33:

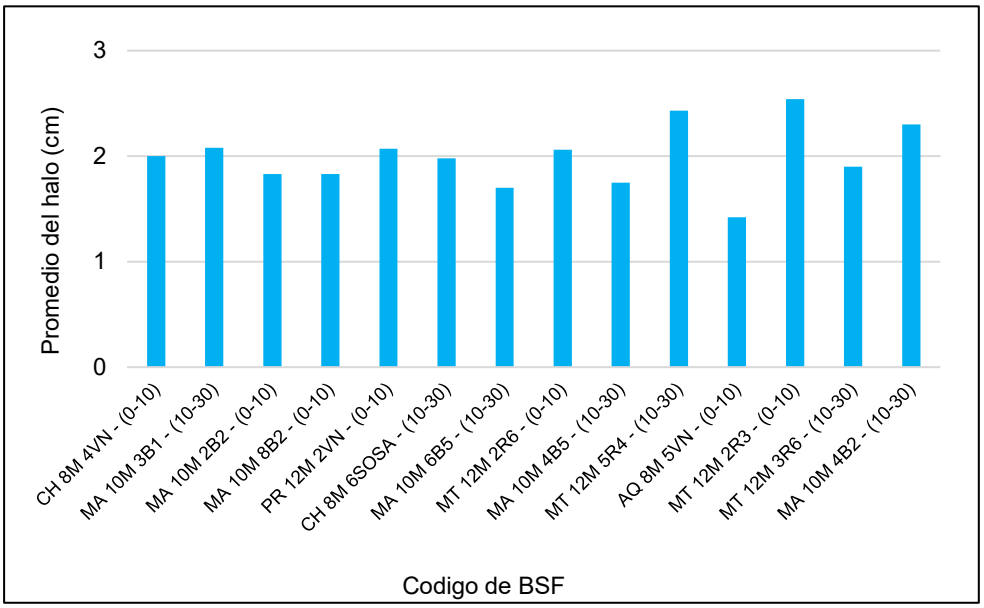
Porcentaje de cepas solubilizadores y no solubilizadores en Perú



La **Figura 33** representa la proporción de cepas bacterianas obtenidas a partir de las muestras de suelo, donde 44 cepas no son solubilizadores, representando el 70 %, y 19 cepas son solubilizadores de fósforo, representando el 30 % del total de 63 cepas aisladas. Estos resultados indican que la presencia de bacterias con capacidad de liberar fósforo disponible en el suelo es limitada.

Figura 34:

Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días en Brasil



La **Figura 34** presenta los promedios del diámetro de los halos de solubilización medidos durante 10 días de incubación en las 14 cepas bacterianas solubilizadores evaluadas, con un promedio general de 1.85 cm. Las cepas que destacaron por su mayor actividad fueron MT 12M 2R3 (0-10) con 2.54 cm, MT 12M 5R4 (10-30) con 2.43 cm, MA 10M 3B1 (10-30) con 2.08 cm, PR 12M 2VN (0-10) con 2.06 cm, MA 10M 4B2 (10-30) con 2.30 cm, CH 8M 6SOSA (10-30) con 1.90 cm y CH 8M 4VN (0-10) con 1.83 cm. Por otro lado, las cepas con menores diámetros de halo fueron MT 12M 2R6 (0-10) con 1.06 cm, MA 10M 4B5 (10-30) con 1.75 cm, MA 10M 2B2 (0-10) con 1.80 cm, MA 10M 6B5 (10-30) con 1.50 cm, MT 12M 3R6 (10-30) con 1.50 cm y AQ 8M 5VN (0-10) con 1.41 cm. Los resultados evidencian una variabilidad en la capacidad de solubilización de fósforo entre las cepas analizadas, lo que permitió identificar aquellas con mayor potencial para liberar fósforo disponible en el suelo. Los datos del crecimiento del halo durante el periodo de incubación se presentan en el base de datos de anexo **Tabla 24**, y la representación visual de los halos de solubilización observados en las **14** cepas bacterianas se muestra en la **Figura 35**.

Figura 35:

Halos de solubilización en 14 cepas bacterianas de Brasil tras 10 días en medio Pikovskaya

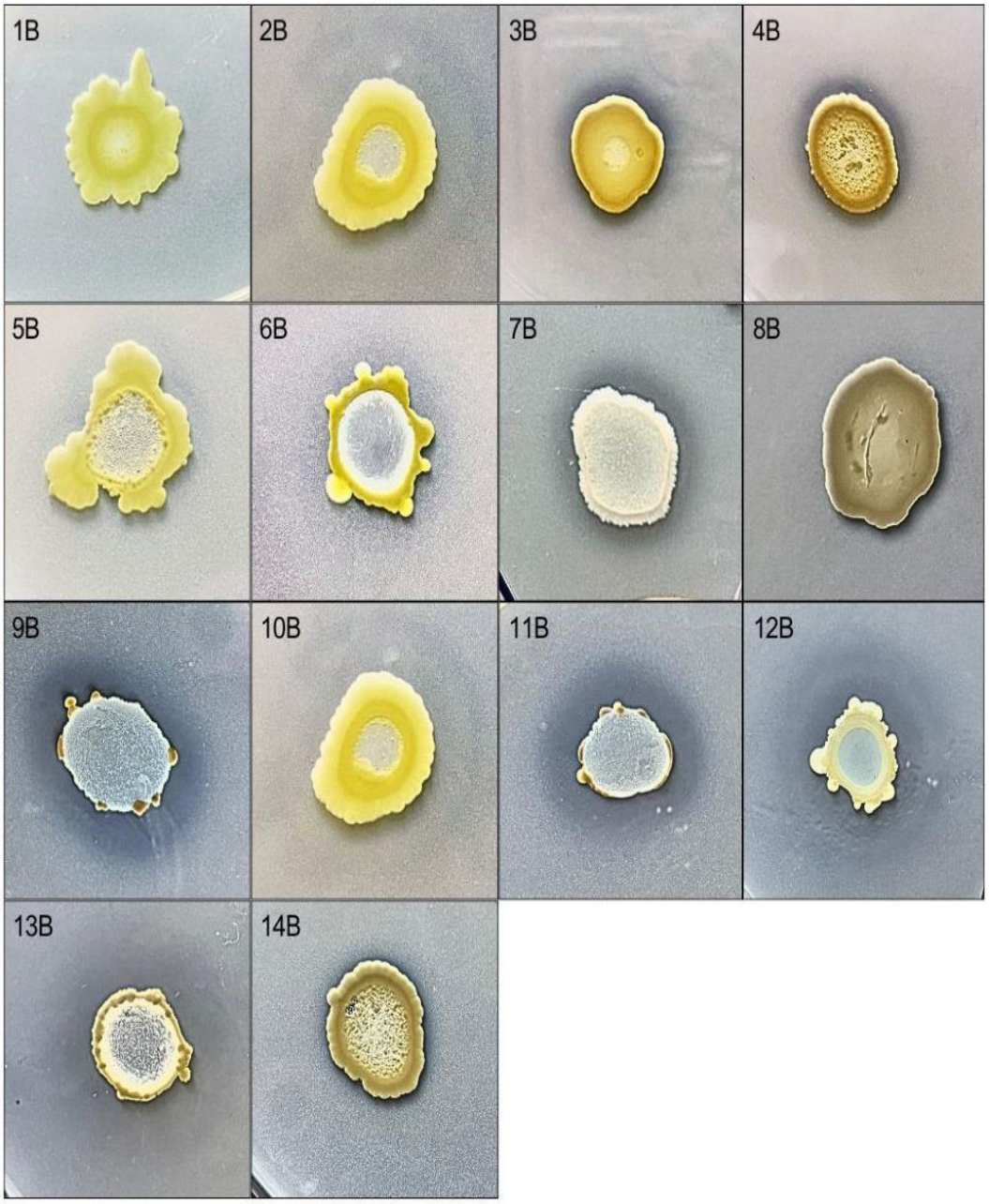
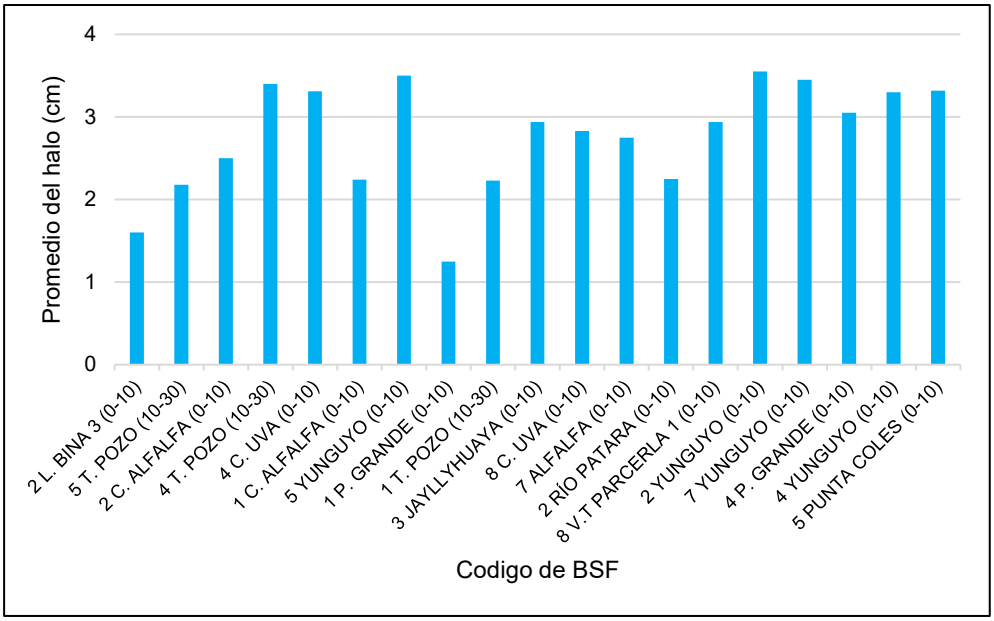


Figura 36:

Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días en Perú



La **Figura 36** presenta los promedios del diámetro de los halos de solubilización medidos durante 10 días de incubación en 19 cepas bacterianas solubilizadores de fosfato, con un promedio general de 2.80 cm. Las cepas con mayor actividad fueron 15: 4 T. POZO (10-30) con 3.40 cm, 5 YUNGUYO (0-10) con 3.50 cm, 2 YUNGUYO (0-10) con 3.35 cm, 4 C. UVA (0-10) con 3.31 cm, 7 YUNGUYO (0-10) con 3.40 cm, 5 PUNTA COLES (0-10) con 3.12 cm, 4 P. GRANDE (0-10) con 3.05 cm, 4 YUNGUYO (0-10) con 3.00 cm, 3 JAYLLYHUAYA (0-10) con 2.94 cm, 7 ALFALFA (0-10) con 2.88 cm, 8 V.T PARCERLA 1 (0-10) con 2.85 cm, 2 C. ALFALFA (0-10) con 2.82 cm, 8 C. UVA (0-10) con 2.83 cm, 5 T. POZO (10-30) con 2.80 cm y 2 RIO PATARA (0-10) con 2.80 cm. Por otro lado, las cepas con menor diámetro de halo fueron 4: 1 P. GRANDE (0-10) con 1.25 cm, 1 C. ALFALFA (0-10) con 2.24 cm, 1 T. POZO (10-30) con 2.23 cm y 2 L. BINA 3 (0-10) con 1.60 cm, reflejaron la variabilidad en la capacidad de solubilización de fósforo entre las cepas, permitiendo identificar aquellas con mayor potencial funcional para liberar este nutriente en el suelo. Los registros del crecimiento del halo durante los 10 días de incubación se presentan en el base de datos de anexo **Tabla 25**, y la evidencia visual de los halos de solubilización observados en las 19 cepas bacterianas se muestra en la **Figura 37.**

Figura 37:

Halos de solubilización en 19 cepas bacterianas de Perú tras 10 días en medio Pikovskaya

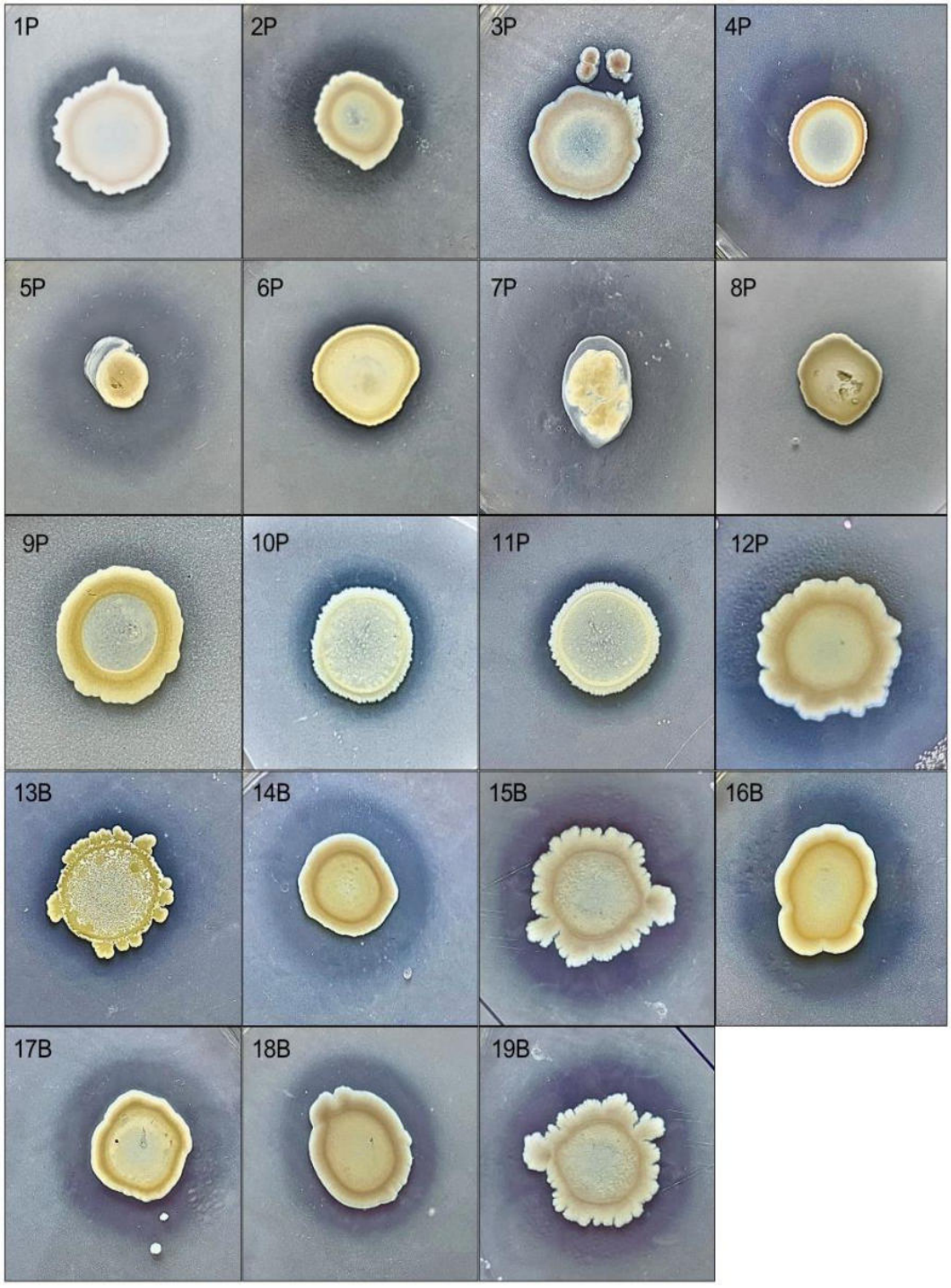
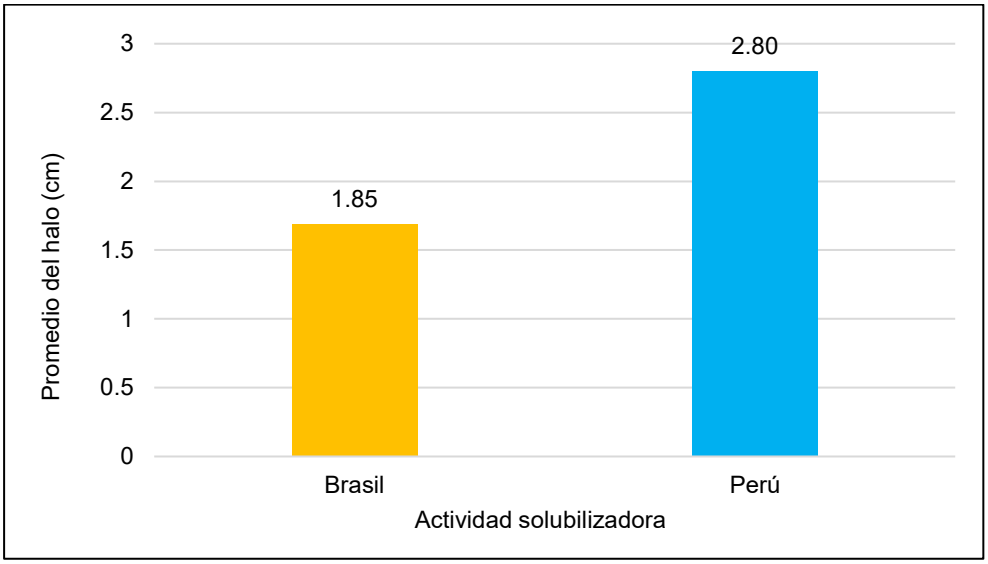


Figura 38:

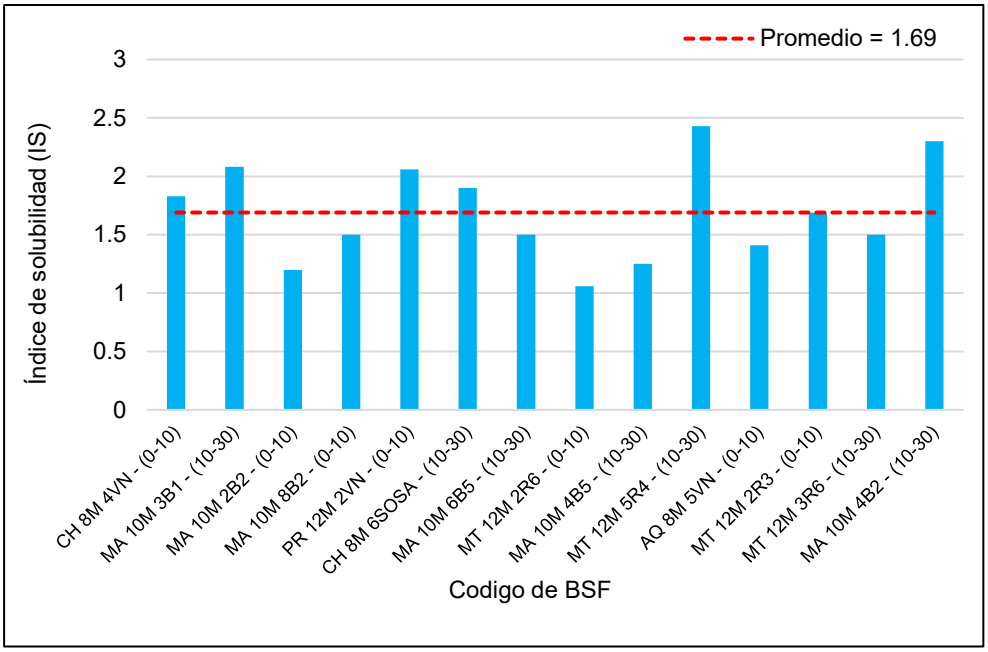
Promedio del diámetro del halo de solubilización durante 10 días de Brasil y Perú



La **Figura 38** ilustra la comparación de los promedios del diámetro del halo de solubilización entre las cepas bacterianas aisladas de Brasil y Perú. Las cepas brasileñas exhibieron un promedio de 1.85 cm, mientras que las cepas peruanas alcanzaron un promedio de 2.80 cm, lo que indica que las bacterias provenientes de Perú poseen un mayor potencial de solubilización de fósforo disponible en el suelo. Estos resultados sugieren diferencias en la eficiencia de liberación de fósforo entre los consorcios bacterianos de ambos países, reflejando el impacto potencial de su origen geográfico sobre la actividad solubilizadora de las cepas evaluadas.

Figura 39:

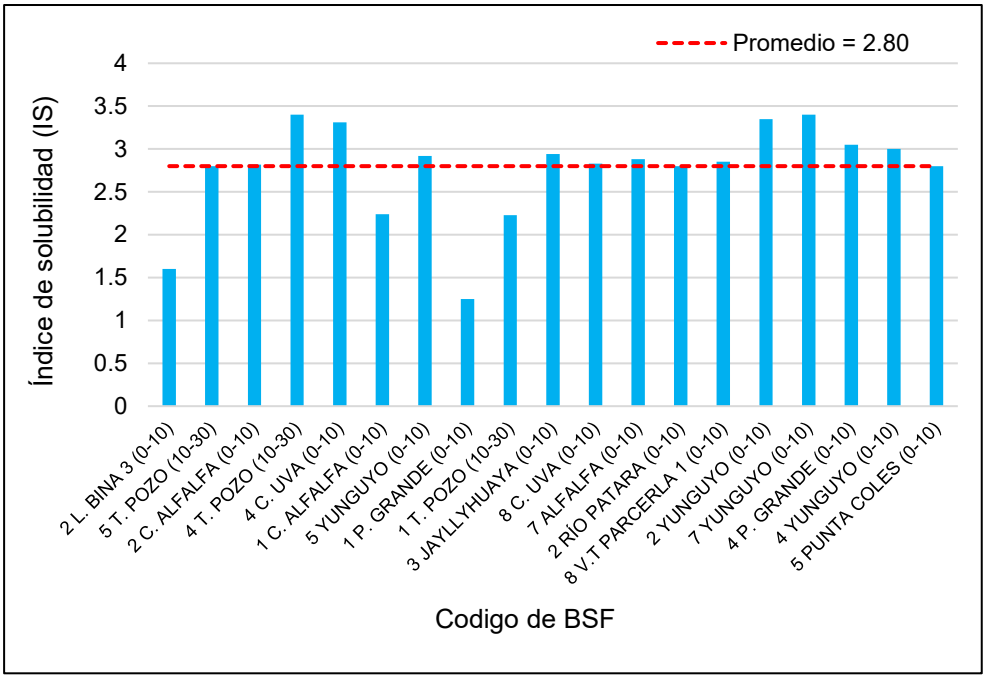
Índice de solubilización de cepas de Brasil



La **Figura 39** presenta el índice de solubilidad (IS) de catorce cepas bacterianas solubilizadores de fosfato obtenidas a partir de muestras de suelo de Brasil. Los resultados mostraron que siete cepas superaron el promedio general de 1.69, evidenciando una mayor capacidad de solubilización. Las cepas con mayor IS fueron las siguientes: MT 12M 5R4 (10–30 cm) con 2.43, MA 10M 4B2 (10–30 cm) con 2.3, PR 12M 2VN (0–10 cm) con 2.06, CH 8M 6SOSA (10–30 cm) con 1.9, CH 8M 6SOSA (10–30 cm) con 1.83, y MT 12M 2R3 (0–10 cm) con 1.69. Por otro lado, las siete cepas restantes mostraron un índice de solubilidad inferior al promedio, correspondiendo a los siguientes aislamientos: MA 10M 8B2 con 1.5, MA 10M 6B5 con 1.5, MT 12M 3R6 con 1.5, AQ 8M 5VN con 1.41, MA 10M 4B5 con 1.25, MA 10M 2B2 con 1.2 y MT 12M 2R6 con 1.06. Estos resultados permiten identificar claramente las cepas con mayor potencial solubilizador de fosfato.

Figura 40:

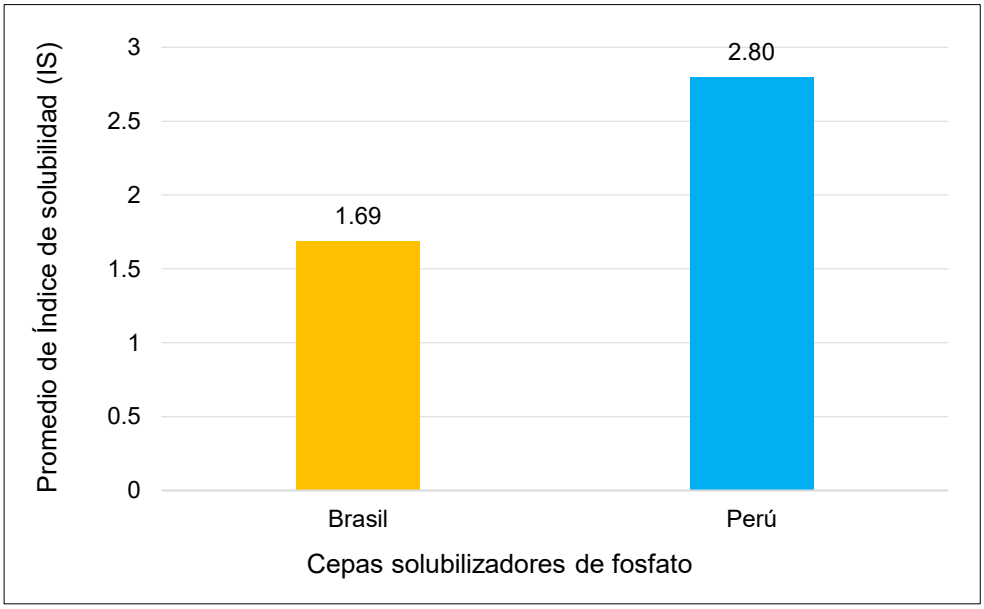
Índice de solubilización de cepas seleccionadas de Perú



La **Figura 40** presenta el índice de solubilidad (IS) de quince cepas seleccionadas con mayor actividad, obtenidas a partir de muestras de suelo de Perú. El promedio general de IS fue 2.80. Los valores individuales de las cepas con mayor solubilización fueron los siguientes: 4 T. POZO (10–30 cm) con 3.4, 7 YUNGUYO (0–10 cm) con 3.4, 2 YUNGUYO (0–10 cm) con 3.35, 4 C. UVA (0–10 cm) con 3.31, 4 P. GRANDE (0–10 cm) con 3.05, 4 YUNGUYO (0–10 cm) con 3, 3 JAYLLYHUAYA (0–10 cm) con 2.94, 5 YUNGUYO (0–10 cm) con 2.92, 7 ALFALFA (0–10 cm) con 2.88, 8 V.T PARCERLA 1 (0–10 cm) con 2.85, 2 C. ALFALFA (0–10 cm) con 2.82, 8 C. UVA (0–10 cm) con 2.83, 5 T. POZO (10–30 cm) con 2.8, 2 RÍO PATARA (0–10 cm) con 2.8 y 5 PUNTA COLES (0–10 cm) con 2.6. En contraste, las cepas restantes presentaron un índice de solubilidad inferior al promedio, correspondiendo a los siguientes aislamientos: 1 T. POZO (10–30 cm) con 2.23, 1 C. ALFALFA (0–10 cm) con 2.24, 1 P. GRANDE (0–10 cm) con 1.25 y 2 L. BINA 3 (0–10 cm) con 1.6. Estos resultados permiten identificar las cepas con mayor capacidad de solubilización de fosfato.

Figura 41:

Promedio de Índice de solubilización de cepas seleccionadas de Brasil y Perú



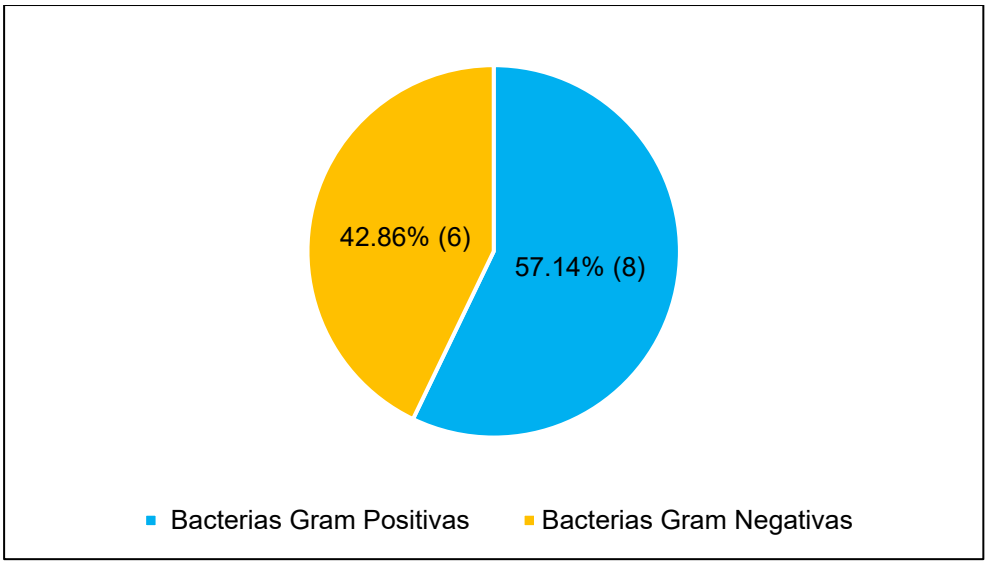
En la **Figura 41** se presenta el promedio del índice de solubilización (IS) de las cepas bacterianas seleccionadas de Brasil y Perú. Las cepas brasileñas mostraron un promedio de 1.69 IS, mientras que las peruanas alcanzaron un promedio de 2.80 IS, evidenciando que las cepas peruanas presentan una mayor capacidad de solubilización de fósforo disponible en el suelo en comparación con las brasileñas. Estos resultados muestran que las cepas peruanas tienen una mayor eficiencia en la liberación de fósforo, reflejando diferencias en la actividad solubilizadora entre las bacterias de ambos países.

3.8.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato.

3.8.2.1. Distribución de cepas según la tinción de Gram

Figura 42:

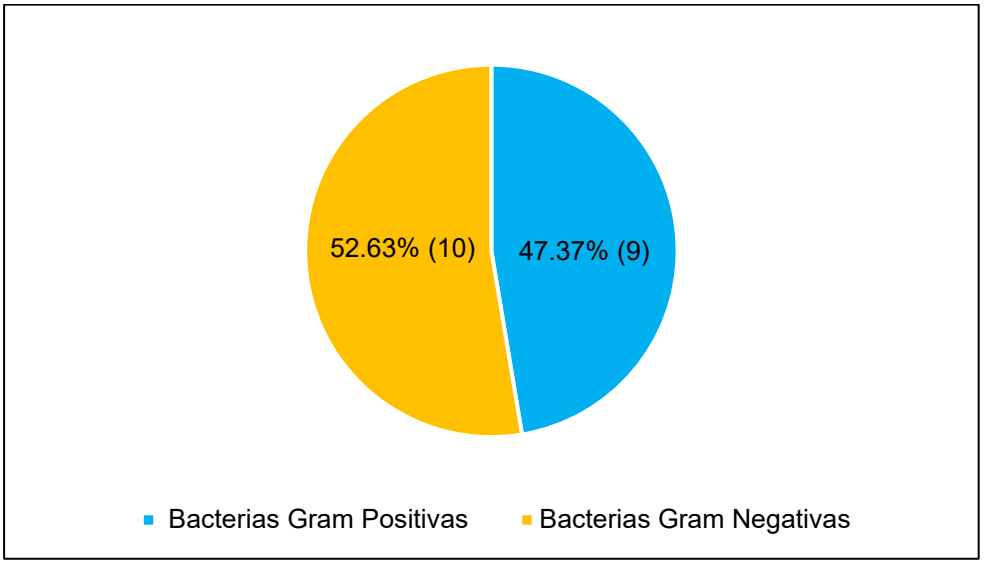
Porcentaje de cepas solubilizadores Gram positivas y Gram negativas en Brasil



En la **Figura 42** presenta la distribución de las 14 cepas bacterianas solubilizadores de fosfato aisladas de Brasil, según su clasificación por la tinción de Gram. Se observó que ocho cepas, equivalentes al 57.14 %, fueron Gram positivas, mientras que seis cepas, que corresponden al 42.86 %, fueron Gram negativas. Estos resultados evidencian que, entre las cepas con mayor actividad solubilizadora de fósforo, predominan las bacterias Gram positivas, lo cual sugiere una mayor resistencia y adaptación a las condiciones del suelo, así como una potencial capacidad para producir metabolitos asociados a la solubilización del fósforo.

Figura 43:

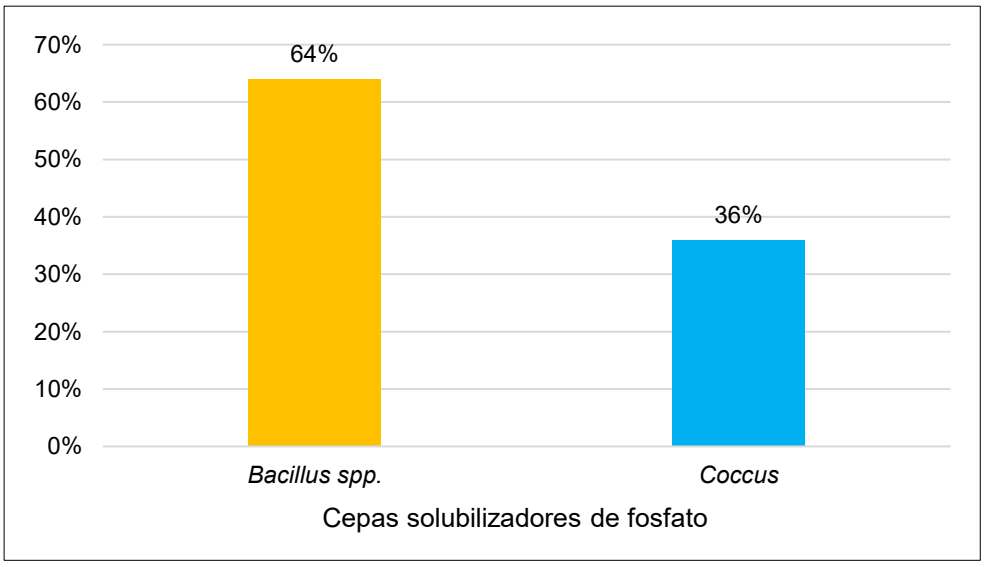
Porcentaje de cepas solubilizadores Gram positivas y Gram negativas en Perú



En la **Figura 43** indica la distribución de las 19 cepas bacterianas solubilizadores de fosfato aisladas de Perú, según su clasificación por la tinción de Gram. Se determinó que diez cepas, equivalentes al 52.63 %, correspondieron a bacterias Gram negativas, mientras que nueve cepas, que representan el 47.37 %, fueron Gram positivas. Estos resultados evidencian una distribución relativamente equilibrada entre ambos grupos, con una ligera predominancia de bacterias Gram negativas entre las cepas con capacidad de solubilizar fósforo en el suelo.

Figura 44:

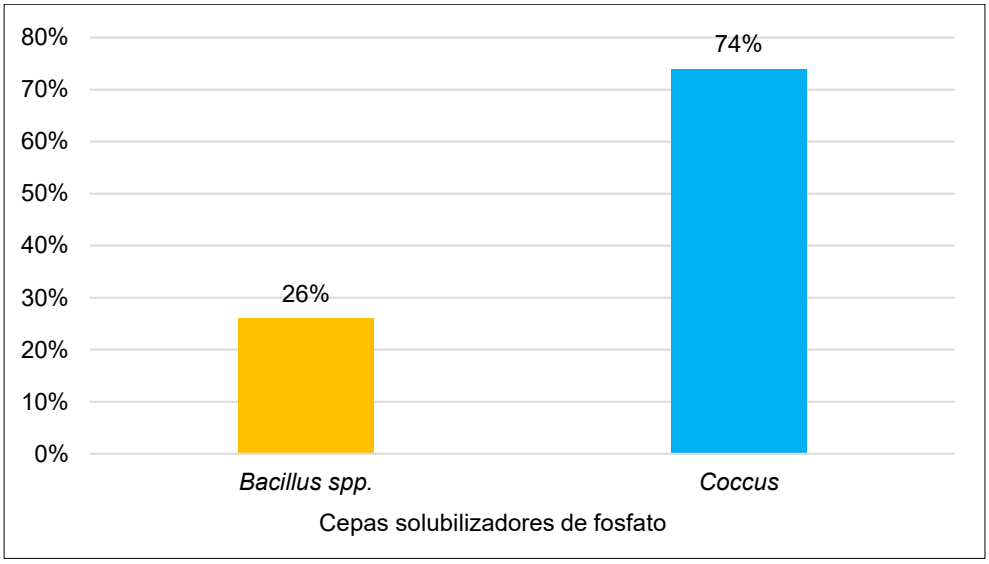
Identificación bioquímica de bacterias solubilizadores de fosfato de Brasil



La **Figura 44** presenta la distribución porcentual de los géneros identificados bioquímicamente en las 14 cepas solubilizadores de fosfato aisladas en Brasil. El género *Bacillus spp*. registró nueve aislamientos (64%), mientras que cinco aislamientos (36%) correspondieron al género *Coccus*, caracterizado por su morfología *cocoide*. Estos resultados evidencian el predominio de *Bacillus spp.,* reconocido por su destacada capacidad para la solubilización de fosfatos.

Figura 45:

Identificación bioquímica de bacterias solubilizadores de fosfato de Perú



La **Figura 45** presenta la distribución porcentual de los géneros identificados en las 19 cepas solubilizadores de fosfato procedentes del Perú. De estas, catorce aislamientos (74%) correspondieron al género *Coccus,* mientras que cinco aislamientos (26%) pertenecieron al género *Bacillus spp.* Estos resultados indican un predominio del género *Coccus* en las muestras analizadas, lo que sugiere diferencias en la composición microbiana entre ambos países.

3.8.2.2. Descripción macroscópica y microscópicas de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato

Del total de cepas, se realizó la descripción de 33 cepas solubilizadores de fosfato, obtenidas a partir de muestras de suelo, de las cuales 14 proceden de Brasil y 19 de Perú. Las características macroscópicas y microscópicas se muestran en la **Figura 46**, **Figura 47, Tabla 12** y la **Tabla 13.**

Figura 46:

Descripción macroscópica y microscópica de las cepas solubilizadores de fosfato de Brasil





Nota: Fotos macroscópicas de las cepas de BSF (derecha) y Fotos microscópicas (izquierda).

Tabla 12:

Caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas solubilizadores de fósforo de Brasil

Código	N° Morfotipos	Descripción macroscópica, microscópica y bioquímica
CH 8M 4VN - (0-10)	1A 1B	**Característica macroscópica:** Colonias circulares, convexas, de borde entero, opacas y blancas, con un halo de 2.5 cm. **Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MA 10M 3B1 - (10-30)	2A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, pulvinadas, de borde entero, opacas y de color beige, con un

		halo de 3 cm.
	2B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram negativo.
MA 10M 2B2 (0-10)	3A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, pulvinadas, de borde crenado, translúcidas y de color blanco, con un halo de 2 cm.
	3B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MA 10M 8B2 (0-10)	4A	**Características macroscópicas:** Colonias puntiuniformes, planas, de borde entero, opacas y de color perla clara, con un halo de 2 cm.
	4B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram negativo.
PR 12M 2VN - (0-10)	5A	**Características macroscópicas:** Colonias puntiiformes, planas, de borde entero, opacas y de color perla clara, con un diámetro de 2.5 cm.
	5B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram negativo.
CH 8M 6SOSA - (10-30)	6A	**Características macroscópicas:** Colonias puntiiformes, planas, de borde entero y de color amarillo, con un halo de 2.5 cm.
	6B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MT 12M 2R6 (0-10)	7A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero, de aspecto viscoso, opacas y de color crema, con un halo de 2 cm.
	7B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivos.
MT 12M 2R6 - (0-10)	8A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado y de color amarillo, con un halo de 2.3 cm.
	8B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MA 10M 4B5 - (10-30)	9A	**Características macroscópicas:** Colonias fusiformes, umbonadas, de borde entero, opacas y de color blanco, con un halo de 2 cm.
	9B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram negativo.
MT 12M 5R4 - (10-30)	10A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado, opacas y de color crema bajo, con un halo de 2.5 cm.
	10B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.

AQ 8M 5VN (0-10)	11A	**Características macroscópicas:** Colonias rizoides, elevadas, de borde crenado y de color crema, con un halo de 1.5 cm.
	11B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
MT 12M 2R3 - (0-10)	12A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado y de color crema, con un halo de 3 cm.
	12B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MT 12M 3R6 (10-30)	13A	**Características macroscópicas:** Colonias fusiformes, umbonadas, de borde entero y aspecto opaco, con un halo de 2 cm.
	13B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
MA 10M 4B2 - (10-30)	14A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado, opacas y de color crema bajo, con un halo de 2.5 cm.
	14B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.

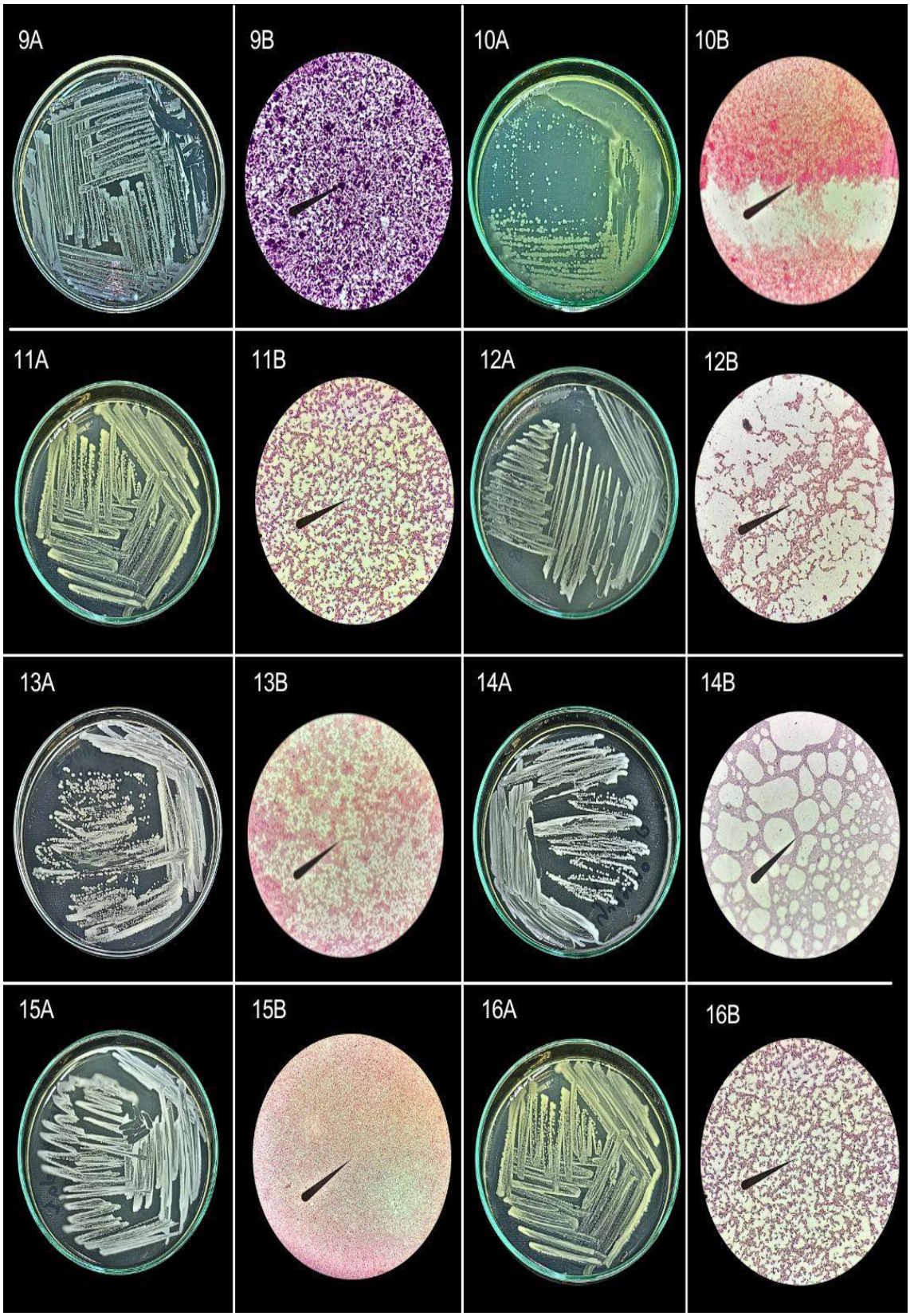
Fuente: *Propia*

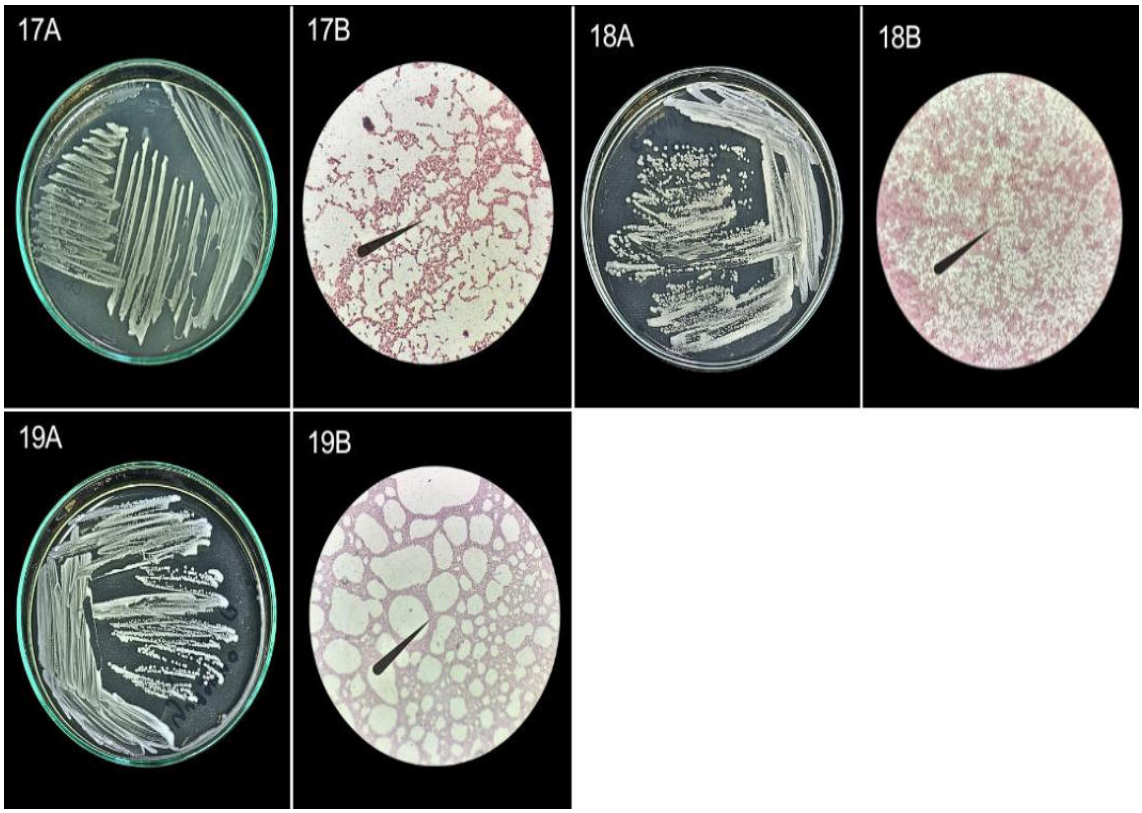
En el análisis macroscópico de las 14 colonias bacterianas en la **Figura 46** y **Tabla 12**, se identificaron 8 morfotipos distintos, cada uno con características propias de forma, elevación, borde, color, opacidad y diámetro o halo. Además, se observó que 3 pareja de morfotipos compartían similitudes macroscópicas, lo que indica la presencia de colonias con rasgos visuales semejantes, aunque pueden diferir en sus características microscópicas o bioquímicas.

Figura 47:

Descripción macroscópica y microscópica de las cepas solubilizadores fósforo de Perú




9A
9B
10A
10B
11A
11B
12A
12B
13A
13B
14A
14B
15A
15B
16A
16B



Nota: *Fotos macroscópicas de las cepas de BSF (derecha) y Fotos microscópicas (izquierda).*

Tabla 13:

Caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas solubilizadores de fósforo de Perú

Código	N° Morfotipos	Descripción macroscópica, microscópica y bioquímica
2 L. BINA 3 (0-10)	1A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero y de color blanco, con un halo de 2 cm.
	1B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
5 T. POZO (10-30)	2A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero y de color beige, con un halo de 3 cm.
	2B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
2 C. ALFALFA (0-10)	3A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero y de color blanco, con un halo de 2.5 cm.
	3B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativos.

4 T. POZO (10-30)	4A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero y de apariencia translúcida, con un halo de 3.5 cm.
	4B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
4 C. UVA (0-10)	5A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado y de color blanco, con un halo de 3.5 cm.
	5B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram negativo.
1 C. ALFALFA (0-10)	6A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde rizoide y de color blanco amarillento, con un halo de 2.3 cm.
	6B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
5 YUNGUYO (0-10)	7A	**Características macroscópicas:** Colonias fusiformes, planas, de borde lobulado, semitransparentes y de color amarillento, con un halo de 4 cm.
	7B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
1 P. GRANDE (0-10)	8A	**Características macroscópicas:** Colonias puntiuniformes, planas, de borde entero y de color amarillo, con un halo de 1.5 cm.
	8B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
1 T. POZO (10-30)	9A	**Características macroscópicas:** Colonias fusiformes, elevadas, de borde ondulado, semitransparentes y de color blanco opaco, con un halo de 2.3 cm.
	9B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
3 JAYLLYHUAY A (0-10)	10A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, elevadas, de borde entero y de color blanco, con un halo de 3.5 cm.
	10B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
8 C. UVA (0-10)	11A	**Características macroscópicas:** Colonias amiboides, elevadas, de borde ondulado y opacas, con un halo de 3 cm.
	11B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
7 ALFALFA (0-10)	12A	**Características macroscópicas:** Colonias punteadas, elevadas, de borde entero y de color amarillo, con un halo de

		3 cm.
	12B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
2 RÍO PATARA (0-10)	13A	**Características macroscópicas:** Colonias punteadas, planas, de borde entero y opacas, con un halo de 2.5 cm.
	13B	**Características microscópicas:** Bacilos Gram positivo.
8 V.T PARCERLA 1 (0-10)	14A	**Características macroscópicas:** Colonias punteadas, planas, de borde entero y de color beige, con un halo de 3.5 cm.
	14B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
2 YUNGUYO (0-10)	15A	**Características macroscópicas:** Colonias filamentosas, elevadas, de borde filamentoso y de color amarillo, con un halo de 4 cm.
	15B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
7 YUNGUYO (0-10)	16A	**Características macroscópicas:** Colonias punteadas, planas, de borde entero y de color beige, con un halo de 4 cm.
	16B	**Características microscópicas:** Cocos Gram negativo.
4 P. GRANDE (0-10)	17A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, planas, de borde entero y de color blanco, con un halo de 3.5 cm.
	17B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
4 YUNGUYO (0-10)	18A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, convexas, de borde entero y de color crema, con un halo de 3.3 cm.
	18B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.
5 PUNTA COLES (0-10)	19A	**Características macroscópicas:** Colonias circulares, convexas, de borde entero y de color crema, con un halo de 4 cm.
	19B	**Características microscópicas:** Cocos Gram positivo.

Fuente: *Propia*

En el análisis macroscópico de las 19 colonias bacterianas en la **Figura 47** y **Tabla 13**, se identificaron 9 morfotipos distintos, cada uno con características propias de forma, elevación, borde, color, opacidad y diámetro o halo. Además, se observó que 10 cepas presentan morfotipos similitudes macroscópicas, lo que indica la presencia de colonias con rasgos visuales semejantes, a pesar de posibles diferencias microscópicas o bioquímicas

3.8.3. Caracterización molecular de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato

3.8.3.1. Extracción de ADN bacteriano

Tabla 14:

Relación A260/A280 del ADN bacteriano Gram negativo obtenida mediante NanoDrop

N°	Código de cepa bacteriana	A 260/A 280
1	7 YUNGUYO (0-10)	1.37
2	1 P. GRANDE (0-10)	1.45
3	3 JAYLLYHUAYA (0-10)	1.56
4	1 T. POZO (10-30)	1.92
5	5 T. POZO (10-30)	1.97
6	2 YUNGUYO (0-10)	1.78
7	2 C. ALFALFA (0-10)	1.63
8	1 C. ALFALFA (0-10)	1.69
9	4 T. POZO (10-30)	1.58
10	4 C. UVA (0-10)	1.87
11	MA 10M 4B5 - (10-30)	1.81
12	MA 10M 8B2 - (0-10)	1.94
13	MA 10M 3B1 - (10-30)	1.54
14	AQ 8M 5VN - (0-10)	2.80
15	MA 10M 4B2 - (10-30)	1.76
16	PR 12M 2VN - (0-10)	1.88

En la **Tabla 14** se presentan los valores A260/A280 de las 16 cepas bacterianas Gram negativas, los cuales oscilaron entre 1.37 y 2.80, con un promedio aproximado de 1.75. La mayoría de las muestras presentó ADN con pureza adecuada, considerando que el rango óptimo se encuentra entre 1.8 y 2.0 (Reinoso Caicedo, 2018). No obstante, las cepas 7 Yunguyo y AQ

8M 5VN mostraron valores fuera de este intervalo, lo que evidencia posibles interferencias por contaminantes.

Tabla 15:

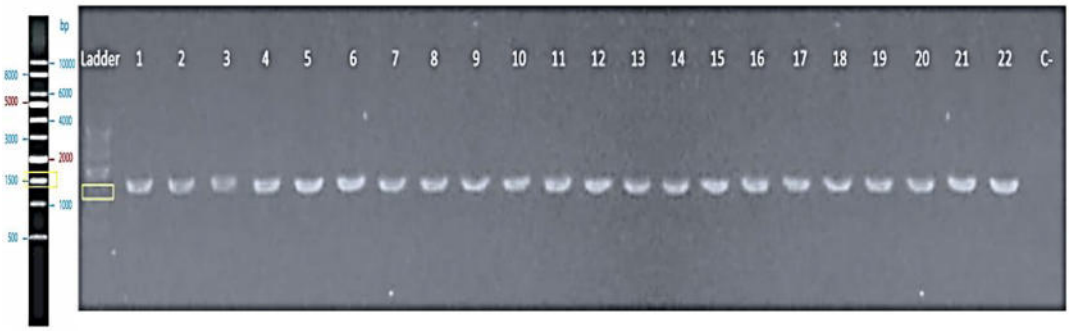
Relación A260/A280 del ADN bacteriano Gram positivo obtenida mediante NanoDrop

N°	Código de cepa bacteriana	A 260/A 280
1	2 L. BINA 3 (0-10)	1.915
2	7 ALFALFA (0-10)	1.93
3	5 YUNGUYO (0-10)	1.48
4	8 C. UVA (0-10)	1.96
5	5 PUNTA COLES (0-10)	1.875
6	4 YUNGUYO (0-10)	1.93
7	4 P. GRANDE (0-10)	1.925
8	8 V.T PARCERLA 1 (0-10)	1.92
9	2 RÍO PATARA (0-10)	1.93
10	CH 8M 4VN - (0-10)	1.645
11	MT 12M 5R4 - (10-30)	1.96
12	MT 12M 2R3 - (0-10)	1.87
13	MT 12M 3R6 - (10-30)	1.845
14	MA 10M 6B5 - (10-30	1.655
15	MT 12M 2R6 - (0-10)	1.95
16	CH 8M 6SOSA - (10-30)	1.95
17	MA 10M 2B2 - (0-10)	2.08

En la **Tabla 15** se muestran los valores A260/A280 correspondientes a 17 cepas bacterianas, los cuales variaron entre 1.48 y 2.08, con un promedio aproximado de 1.85, evidenciando que la mayoría de las muestras presentó ADN con pureza adecuada para análisis moleculares. El rango óptimo de 1.8–2.0 es indicativo de ADN libre de contaminantes proteicos (Reinoso Caicedo, 2018). No obstante, las cepas 5 Yunguyo (1.48) y MA 10M 2B2 (2.08) mostraron ligeras desviaciones, sugiriendo posible contaminación proteica o presencia de ARN/compuestos residuales.

Figura 48:

Amplificación del gen 16S rRNA (1500 pb) a partir de ADN bacteriano

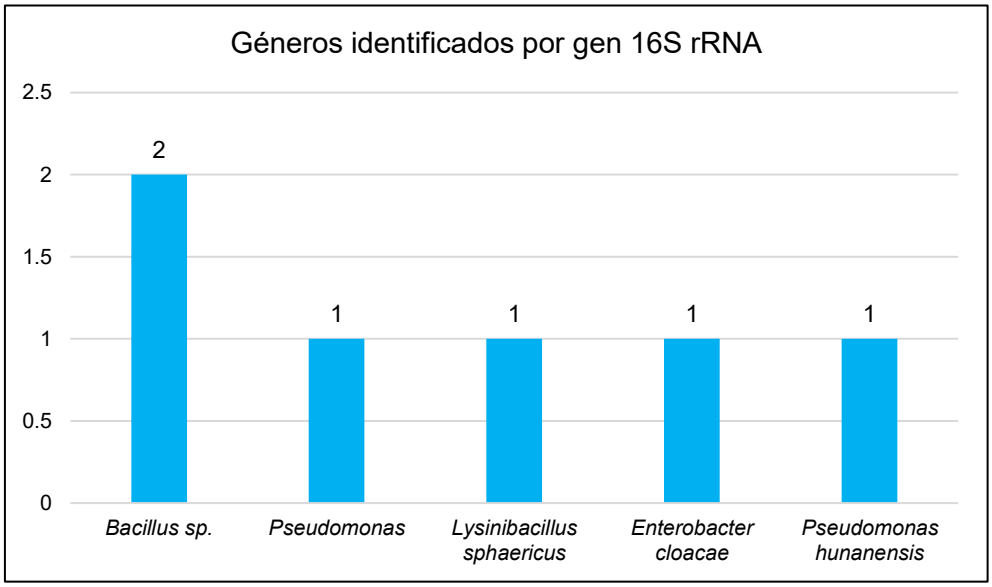


En la **Figura 48** se muestra la imagen obtenida mediante fotodocumentación, en la cual se observan bandas amplificadas de aproximadamente 1500 pb correspondientes al gen 16S rRNA, de acuerdo con el marcador molecular (kb) ubicado en la primera celda. Asimismo, se incluye un control negativo (CN) en la última celda, en el que no se evidenció amplificación. Las muestras analizadas corresponden a las cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato con mayor índice de solubilización (IS) provenientes de Brasil (7 cepas) y Perú (15 cepas).

3.8.3.2. Secuenciamiento del gen ARNr 16S

Figura 49:

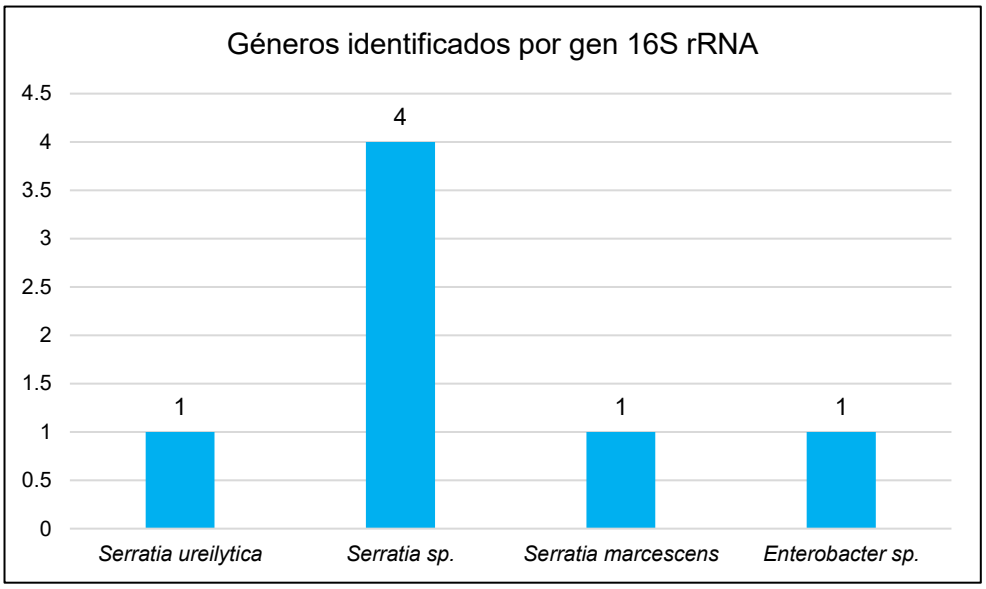
Géneros bacterianos identificados en Brasil (16S rRNA)



En la **Figura 49** se presenta el análisis del gen 16S rRNA de siete cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato aisladas en Brasil. Mediante este análisis se identificaron seis géneros con una similitud del 99,99 %, correspondientes a *Bacillus sp., Pseudomonas, Lysinibacillus sphaericus, Enterobacter cloacae, Pseudomonas hunanensis*, evidenciando su importancia agrícola por su capacidad para aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo y favorecer la nutrición vegetal (Silva, 2023), destacando que predominó *Bacillus sp*.

Figura 50:

Géneros bacterianos identificados en Perú (16S rRNA)



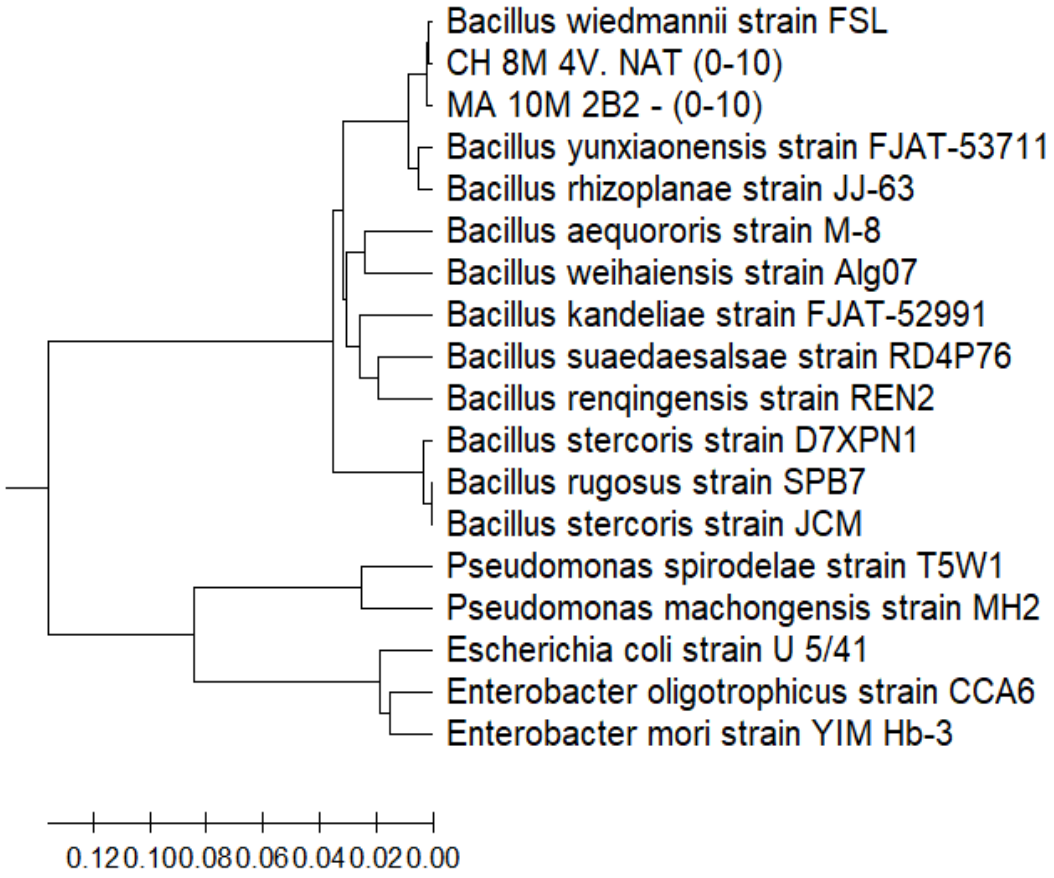
En la **Figura 50** se muestra el análisis del gen 16S rRNA de 15 cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato aisladas en Perú, en el cual se evidenció el predominio de *Serratia sp., Serratia ureilytica, Serratia marcescens* con seis aislamientos y una similitud del 99.99 %, seguida por *Enterobacter sp*. con un aislamientos y lo que confirma la relevancia de estos taxones como bacterias de interés agrícola por su capacidad para incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo y contribuir al desarrollo vegetal (Santos, 2021).

3.8.3.3. Análisis árboles filogenéticos

El análisis de las secuencias se realizó a partir de los resultados entregados por el laboratorio Umbrella (http://www.ugenomics.pe/), los cuales fueron procesados mediante el software Molecular Evolutionary Genetics Analysis v.11 (MEGA). Posteriormente, las secuencias consenso obtenidas se compararon utilizando la herramienta BLAST, con el fin de identificar secuencias similares previamente registradas y así asignar taxonómicamente las especies correspondientes. Los criterios de asignación taxonómica consideraron una cobertura y un porcentaje de identidad del 99%, comparando las secuencias con las disponibles en el banco de genes del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI) para el gen 16S ARNr. Para la construcción de los árboles filogenéticos se utilizó el método Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA), obteniéndose una exactitud del 99% en todas las muestras. Los resultados se presentaron en cinco árboles filogenéticos, cada uno correspondiente a diferentes muestras de suelos agrícolas de Perú y Brasil, permitiendo visualizar las relaciones evolutivas y taxonómicas entre las cepas identificadas. Entre las principales cepas detectadas se encontraron *Bacillus sp*., *Serratia sp.*, *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Lysinibacillus*, las cuales mostraron alta similitud con las secuencias registradas en la base de datos ver **Figura 51, 52, 53, 54, 55**.

Figura 51:

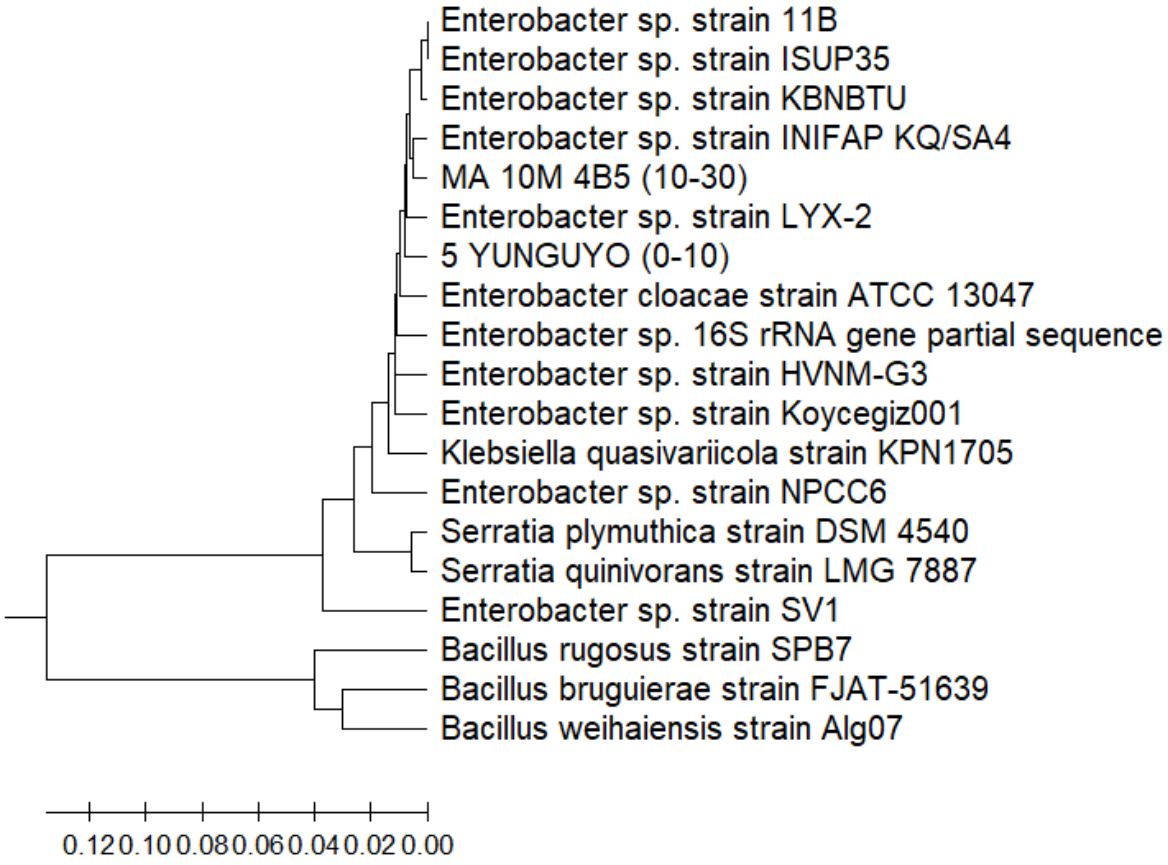
Árbol filogenético de Bacillus sp.



En la **Figura 51** el árbol filogenético muestra la relación evolutiva entre las bacterias analizadas, donde las muestras CH8 4VN (0-10) y MA10M 2B2(0-10) se agrupan dentro del mismo clado que *Bacillus wiedmannii*. Esta agrupación indica una alta similitud genética entre dichas muestras y esta especie del género *Bacillus*. Además, la cercanía en el árbol sugiere que comparten un ancestro común reciente.

Figura 52:

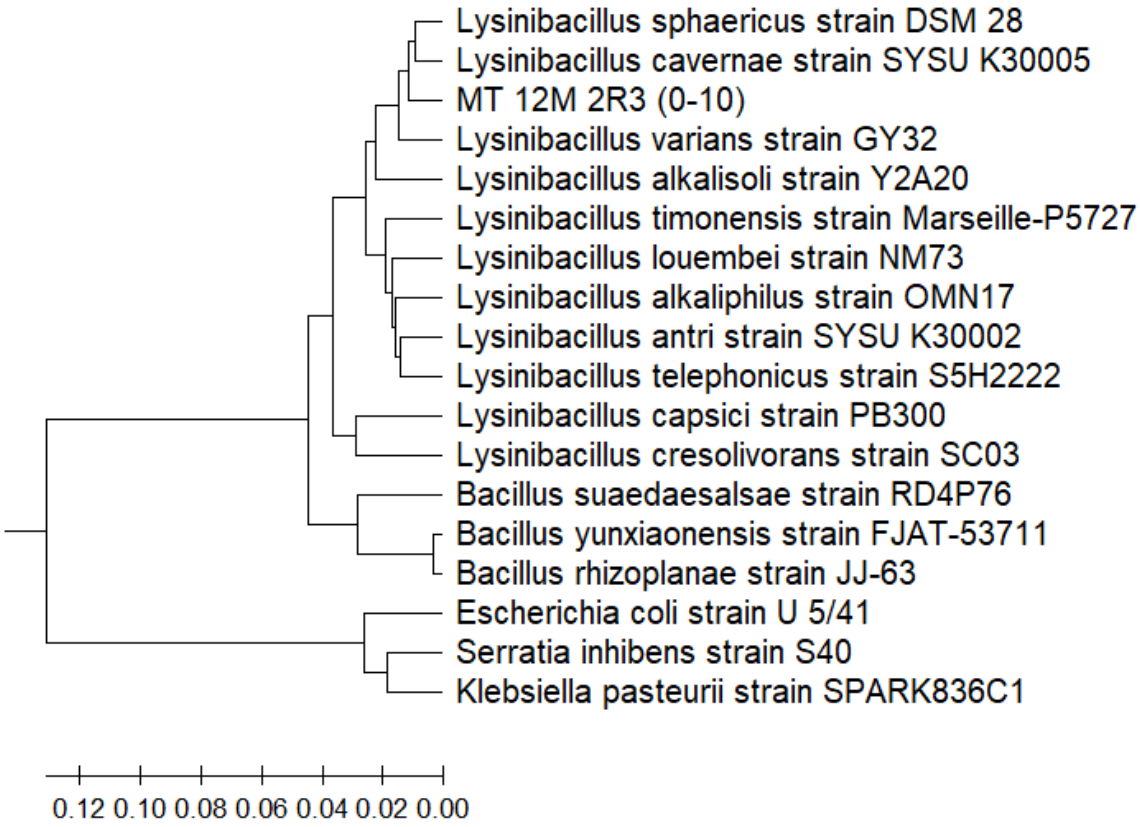
Árbol filogenético de Enterobacter sp.



En la **Figura 52** el árbol filogenético muestra la relación evolutiva entre las bacterias analizadas, donde las muestras MA 10M 4B5 (10-30) y 5 YUNGUYO (0-10) se agrupan dentro del mismo grupo del género *Enterobacter*. Esta cercanía en el árbol indica una alta similitud genética con otras especies de este género, como *Enterobacter cloacae*. Además, comparten ramas cercanas con diferentes cepas de *Enterobacter*, lo que evidencia un origen evolutivo común, el árbol filogenetico fue construido mediante el programa MEGA versión 12.1.1, usando el método de UPGMA y el modelo de Jukes Cantor con un Bootstrap de 1000 réplicas.

Figura 53:

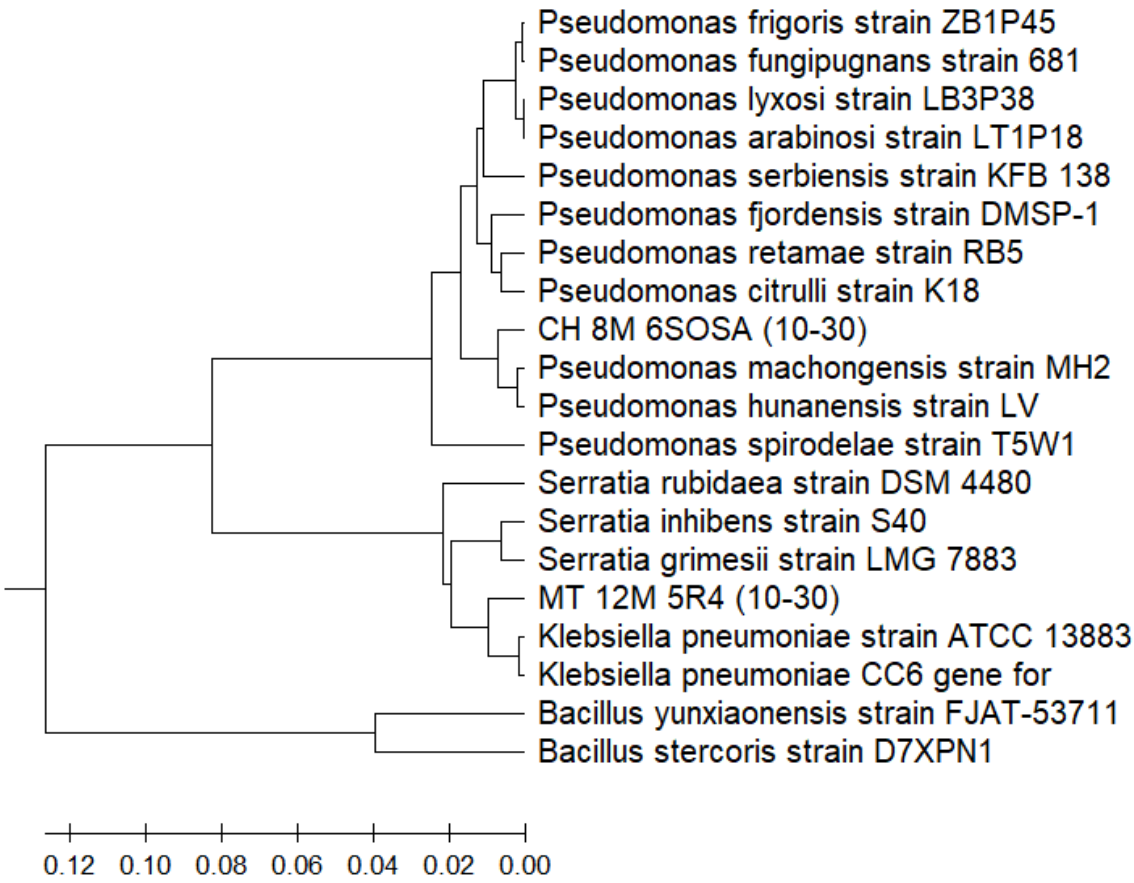
Árbol filogenético Lysinibacillus.



En la **Figura 53** el árbol filogenético muestra la relación evolutiva entre las bacterias analizadas, donde la muestra MT 12M 2R3 (0-10) se agrupa dentro del mismo grupo del género *Lysinibacillus*. Esta agrupación indica una alta similitud genética con especies cercanas como *Lysinibacillus sphaericus* y *Lysinibacillus cavernae*. La cercanía en las ramas del árbol sugiere que comparten un ancestro evolutivo común, el árbol filogenetico fue construido mediante el programa MEGA versión 12.1.1, usando el método de UPGMA y el modelo de Jukes Cantor con un Bootstrap de 1000 réplicas.

Figura 54:

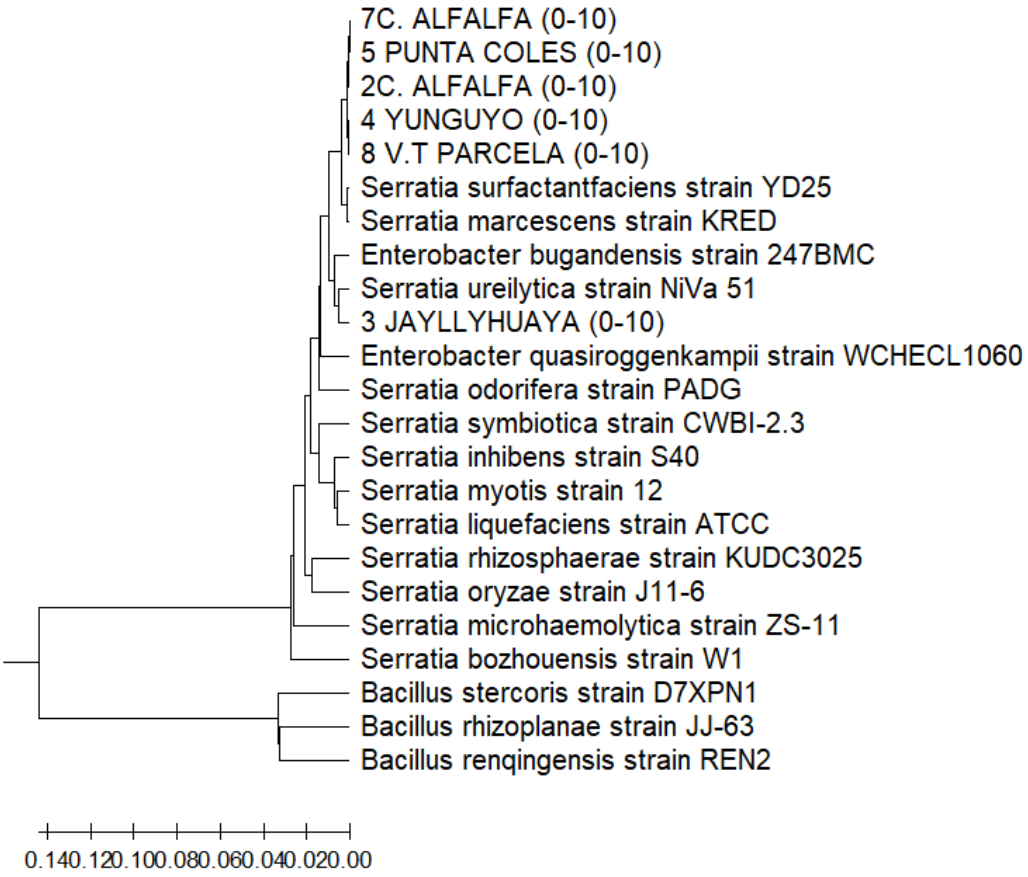
Árbol filogenético de Pseudomonas.



En la **Figura 54** el árbol filogenético muestra la relación evolutiva entre las bacterias analizadas, donde la muestra CH 8M 6SOSA (10-30) y MT 12M 5R4(10-30) se agrupa dentro del mismo grupo del género *Pseudomonas*. Esta cercanía indica una alta similitud genética con especies como *Pseudomonas citronellolis* y *Pseudomonas hunanensis*. La proximidad de las ramas sugiere que comparten un ancestro evolutivo común dentro de este género, el árbol filogenético fue construido mediante el programa MEGA versión 12.1.1, usando el método de UPGMA y el modelo de Jukes Cantor con un Bootstrap de 1000 réplicas.

Figura 55:

Árbol filogenético de Serratia.



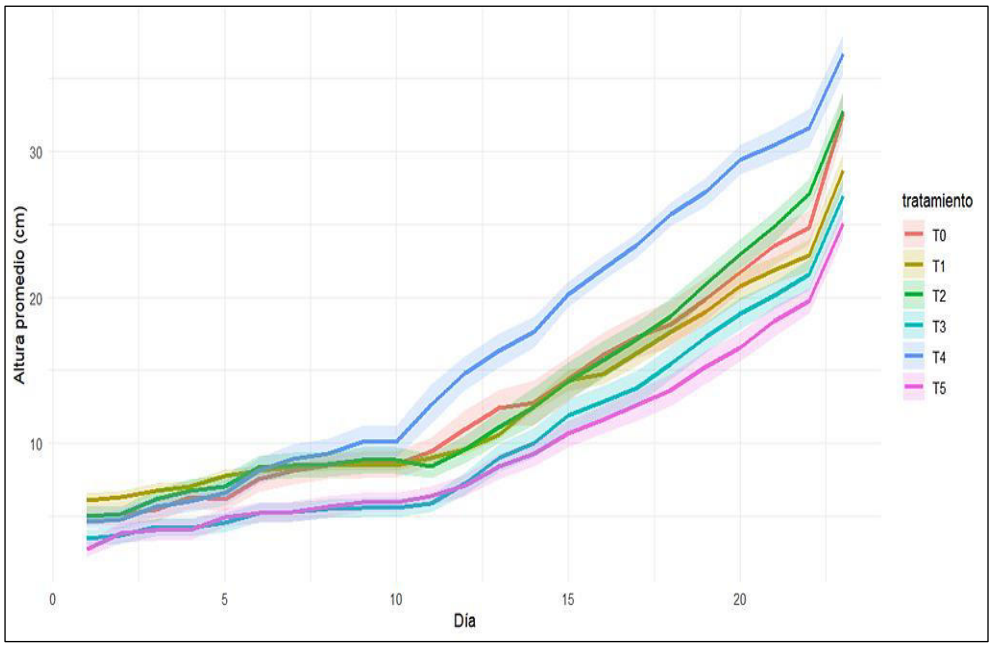
En la **Figura 55** el árbol filogenético muestra que las muestras 7C. Alfalfa, 5 Punta Coles, 2C. Alfalfa, 4 Yunguyo, 3 Jayllyhuaya y 8 V.T Parcela se agrupan dentro del mismo clado del género *Serratia*. Esta agrupación indica una alta similitud genética con especies como *Serratia marcescens* y *Serratia surfactantfaciens*. La cercanía entre las ramas sugiere que comparten un ancestro evolutivo común dentro de este grupo, el árbol filogenético fue construido mediante el programa MEGA versión 12.1.1, usando el método de UPGMA y el modelo de Jukes Cantor con un Bootstrap de 1000 réplicas.

3.8.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro

3.8.4.1. Parámetros morfológicos

Figura 56:

Curva de crecimiento de altura de las plantas promedio del T0, T1, T2, T3, T4 y T5.



En la **Figura 56** se presenta la curva de crecimiento de *R. sativus*, donde se observan las alturas promedio alcanzadas por los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5 durante los 23 días de evaluación. A nivel descriptivo, el tratamiento T4 registró la mayor altura promedio (16.63 cm), evidenciando un efecto positivo y consistente sobre el desarrollo vegetativo, mientras que T5 mostró el menor crecimiento (9.68 cm). T2 se ubicó en un rango intermedio, con valores ligeramente superiores al testigo.

El análisis estadístico del modelo lineal mixto (LMM) confirmó diferencias significativas asociadas al tratamiento, al tiempo y a su interacción **Tabla 30** que se encuentra en anexos**.** El intercepto presentó un valor de 13.19 ± 0.78 cm ($p < 0.001$), mientras que T4 mostró el mayor efecto positivo sobre la altura (estimado = 3.44 ± 1.11; $p = 0.003$) y la mayor tasa de crecimiento diario (pendiente = 0.40 ± 0.07; $p < 0.001$). En contraste, T3 y T5 presentaron efectos negativos significativos: −2.82 cm ($p = 0.013$) y

−3.51 cm (p = 0.002), respectivamente, indicando menores alturas respecto al testigo.

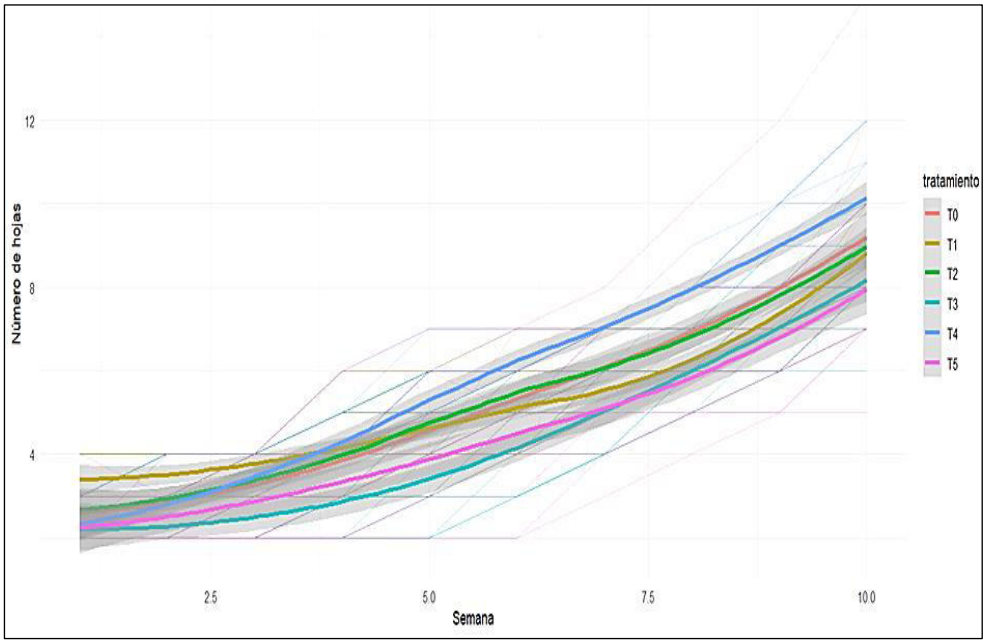
Los componentes de varianza del LMM **Tabla 29** en anexos, se mostraron que la variabilidad entre plantas fue considerable: la varianza del intercepto fue 7.03 (DE = 2.65), mientras que la varianza de la pendiente fue 0.023 (DE = 0.152). La correlación positiva entre intercepto y pendiente (0.59) sugiere que las plantas que iniciaron más altas tendieron a crecer ligeramente más rápido. Los residuos presentaron una varianza de 7.38 (DE = 2.72), reflejando el error residual natural del crecimiento biológico.

El ANOVA tipo III **Tabla 31** que se encuentra en anexos, corroboró los resultados del LMM, mostrando efectos altamente significativos del tratamiento ($p = 3.47 \times 10^{-7}$), del tiempo ($p < 2.2 \times 10^{-16}$) y de la interacción Tratamiento × Día ($p = 1.50 \times 10^{-11}$). La prueba post hoc de Tukey **Tabla 32** que se muestra en anexos, confirmó que T4 fue significativamente superior a T0, T1, T2, T3 y T5, mientras que T5 presentó valores menores que T0, T2 y T4.

En conjunto, la evidencia estadística incluyendo la evaluación de errores estándar, desviaciones y comparaciones múltiples demuestra que el consorcio bacteriano T4 incrementó significativamente la altura y la tasa de crecimiento del rábano. Estos resultados respaldan la hipótesis de investigación (H_1) y permiten rechazar la hipótesis nula (H_0), confirmando el efecto positivo del tratamiento T4 sobre el crecimiento de *R. sativus*.

Figura 57:

Crecimiento de número de hojas de R. sativus "rábano" desde el T0, T1, T2, T3, T4 y T5



En la **Figura 57** se observa la dinámica del número de hojas de *R. sativus* para los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5, donde T4 mantuvo consistentemente el mayor crecimiento foliar durante las 10 semanas de evaluación. El análisis mediante modelo lineal mixto mostró variación entre plantas en el número inicial de hojas (varianza del intercepto = 0.499) y una pendiente relativamente estable (varianza = 0.015), con una correlación positiva (0.56) entre el valor inicial y la rapidez de crecimiento. Estos resultados se encuentran detallados en la **Tabla 33** que se encuentra en anexos, donde además se aprecia el error estándar asociado a cada estimación (media ± SE).

El modelo reveló que T3 y T5 iniciaron con un número significativamente menor de hojas que el testigo, mientras que T4 presentó una tendencia inicial superior, aunque marginalmente significativa. La pendiente global del crecimiento foliar fue positiva (0.73 hojas/semana; $p < 0.001$), indicando un incremento sostenido del follaje en todas las plantas, con T4 mostrando un ritmo significativamente mayor, mientras que T1 presentó una pendiente más lenta respecto a T0.

El ANOVA tipo III confirmó efectos altamente significativos del tratamiento, del tiempo y de la interacción Tratamiento × Semana ($p <$

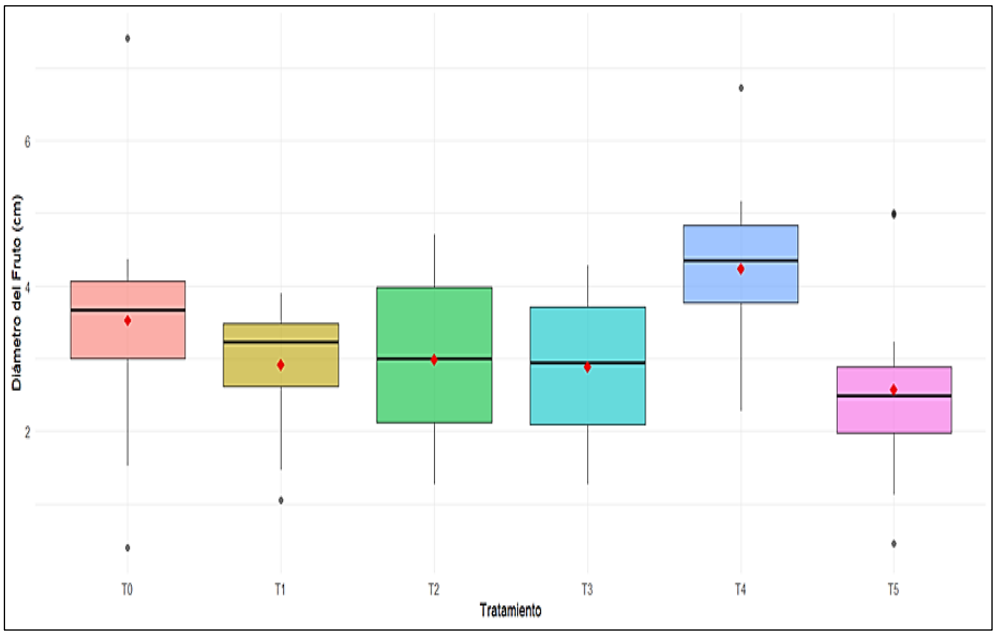
0.001), lo que evidencia diferencias tanto en el número de hojas como en la velocidad de crecimiento entre tratamientos. Estos resultados se presentan en la **Tabla 34** en anexos.

El análisis post hoc de Tukey que se evidencia en la **Tabla 35** en anexos, mostró que T4 alcanzó la media ajustada más alta (5.84 hojas), diferenciándose significativamente de T3 y T5, que registraron los valores más bajos. Los tratamientos T0, T1 y T2 formaron un grupo intermedio sin diferencias significativas entre ellos.

En conjunto, los resultados demuestran que el consorcio bacteriano T4 promovió un desarrollo foliar más vigoroso y una mayor velocidad de crecimiento, mientras que T3 y T5 mostraron un desempeño inferior. Esto respalda la hipótesis de investigación (H_1) y permite rechazar la hipótesis nula (H_0), confirmando la efectividad del tratamiento T4 en el crecimiento foliar de *R. sativus.*

Figura 58:

Diámetro del tubérculo de R sativus "rábano" desde T0, T1, T2, T3, T4 y T5

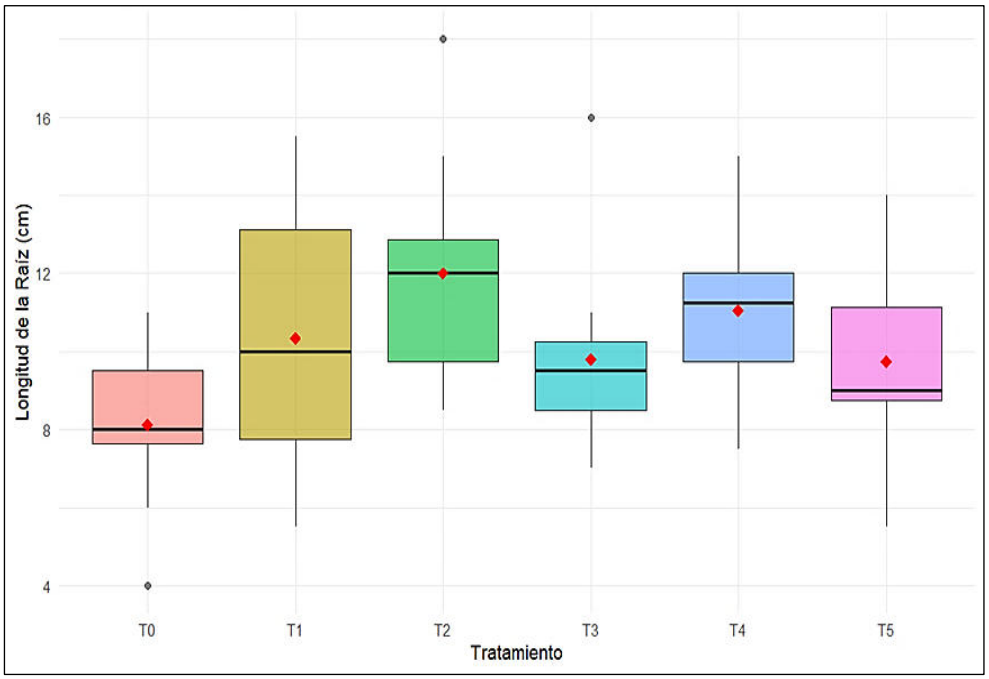


En la **Figura 58** el análisis del diámetro de los tubérculos de *R. sativus* mostró diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, F = 2.685; p = 0.0286), aunque con menor efecto que en el peso. La prueba de Tukey reveló que únicamente T4 presentó un diámetro promedio significativamente mayor que T5 (p = 0.0241), mientras que las demás comparaciones no mostraron diferencias relevantes. Estos resultados

evidencian que el consorcio bacteriano T4 favoreció el incremento en el diámetro del tubérculo, respaldando la hipótesis de investigación (H_1) sobre la influencia positiva de los CBSF en el desarrollo del rábano, y permitiendo rechazar la hipótesis nula (H_0).

Figura 59:

Longitud de raíz de R. sativus "rábano"

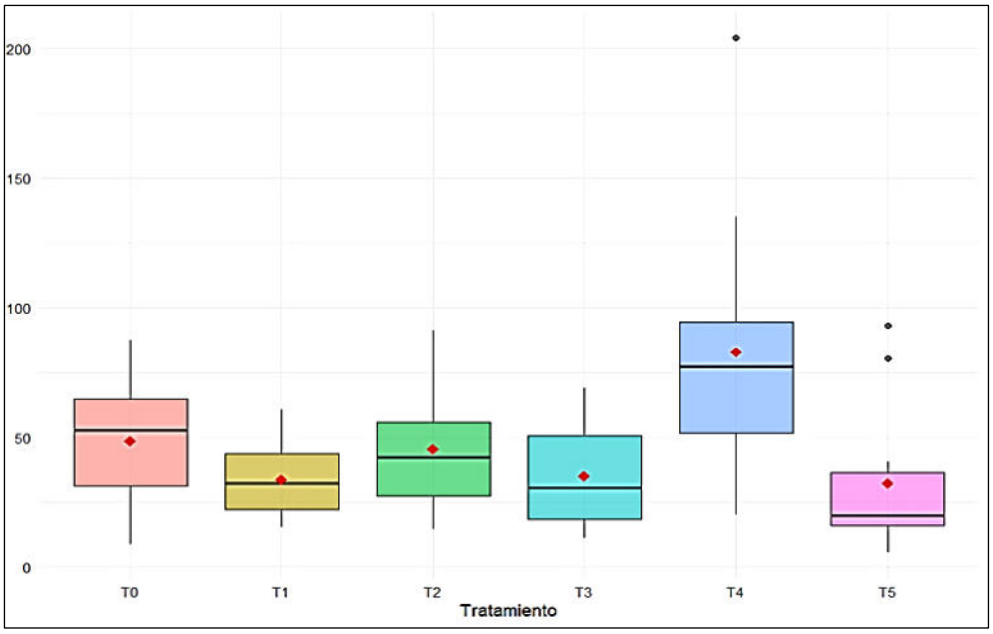


En la **Figura 59** el análisis de la longitud de raíz de *R. sativus* mostró diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, p = 0.012), confirmando que la aplicación de los CBSF influyó en esta característica. La prueba de Tukey evidenció que únicamente el tratamiento T2 promovió un mayor crecimiento radicular en comparación con el control (T0), mientras que los demás tratamientos no presentaron diferencias relevantes. Estos resultados respaldan la hipótesis de investigación (H_1), al demostrar que los CBSF favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo y estimulan el desarrollo de la raíz del rábano, rechazando la hipótesis nula (H_0).

3.8.4.2. Parámetros biomásicos

Figura 60:

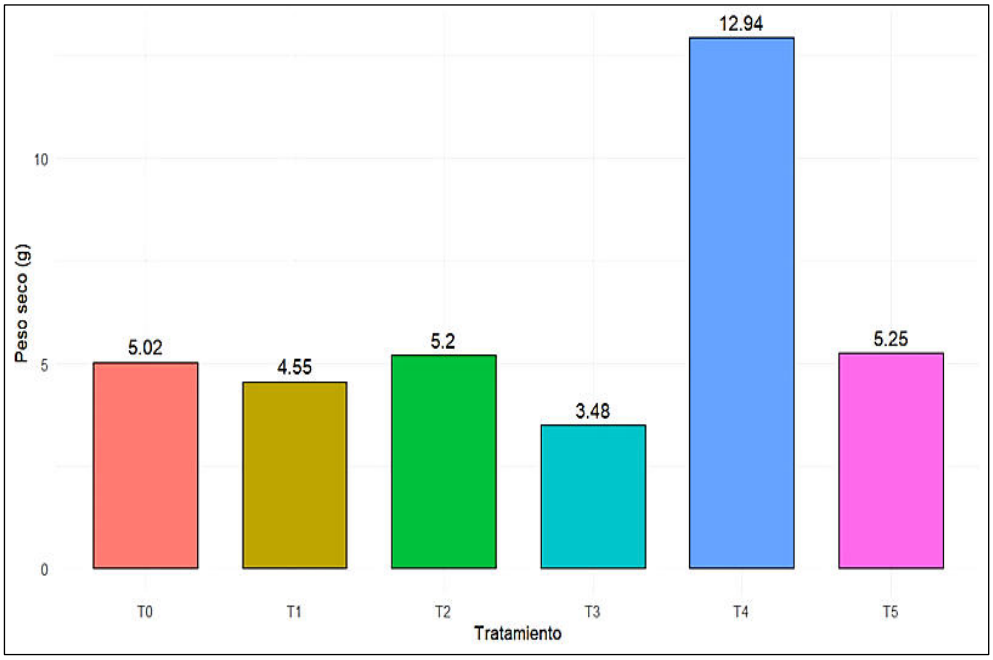
Evaluación del peso fresco de R. sativus "rábano" en los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5



En la **Figura 60** se presenta el efecto de los tratamientos sobre el peso del tubérculo de *R. sativus*, donde el tratamiento T4 destacó con los valores más altos y consistentes, superando significativamente a los demás. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0005$), y la prueba de Tukey confirmó que T4 produjo tubérculo más pesados en comparación con T1, T2, T3 y T5, mientras que el resto presentó pesos similares entre sí. El gráfico permitió visualizar claramente la superioridad de T4, reflejando un efecto positivo en el rendimiento del tubérculo. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de investigación (H_1), demostrando que los CBSF favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo y promueven el desarrollo del rábano, rechazando la hipótesis nula (H_0).

Figura 61:

Evaluación del peso seco de R. sativus "rábano" en los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5

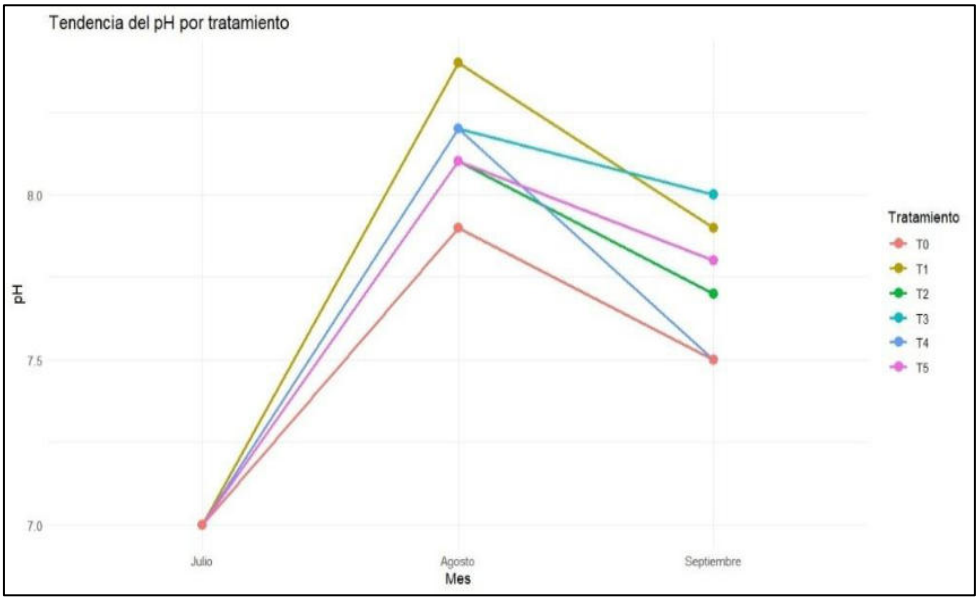


En la **Figura 61** se observa que el tratamiento T4 produjo el mayor peso seco del tubérculo de *R. sativus*, alcanzando 12.94 g, lo que evidencia un desarrollo superior frente a los demás tratamientos. En contraste, T2 y T5 mostraron valores intermedios (5.20 g y 5.25 g), mientras que T0, T1 y T3 registraron los menores pesos secos (5.02 g, 4.55 g y 3.48 g, respectivamente). Aunque no fue posible realizar análisis estadísticos por la falta de replicación, la tendencia es clara: T4 se destaca como el consorcio bacteriano más eficaz en promover la acumulación de biomasa. Estos resultados respaldan la hipótesis de investigación (H_1), confirmando que los CBSF mejoran la disponibilidad de fósforo en el suelo y favorecen el crecimiento del rábano. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), ya que los CBSF sí influyeron positivamente en el desarrollo vegetal.

3.8.4.3. Parámetros fisicoquímicos

Figura 62:

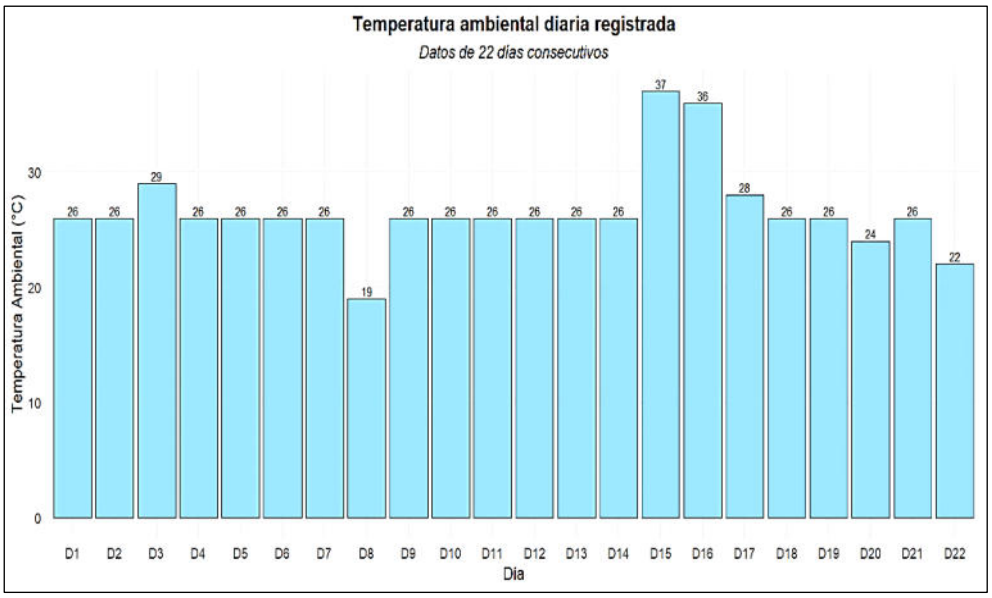
Valores de pH del suelo registrados durante el periodo experimental



En la **Figura 62** se presentan los valores de pH del suelo registrados durante el periodo experimental, evaluados en tres momentos del cultivo. Inicialmente para el mes de julio el pH era neutro y para el mes de agosto se tornó básico, para el final disminuir sin llegar a la neutralidad. Esto indica que las variaciones observadas en el pH se deben principalmente a factores estacionales y no a la aplicación de los consorcios bacterianos.

Figura 63:

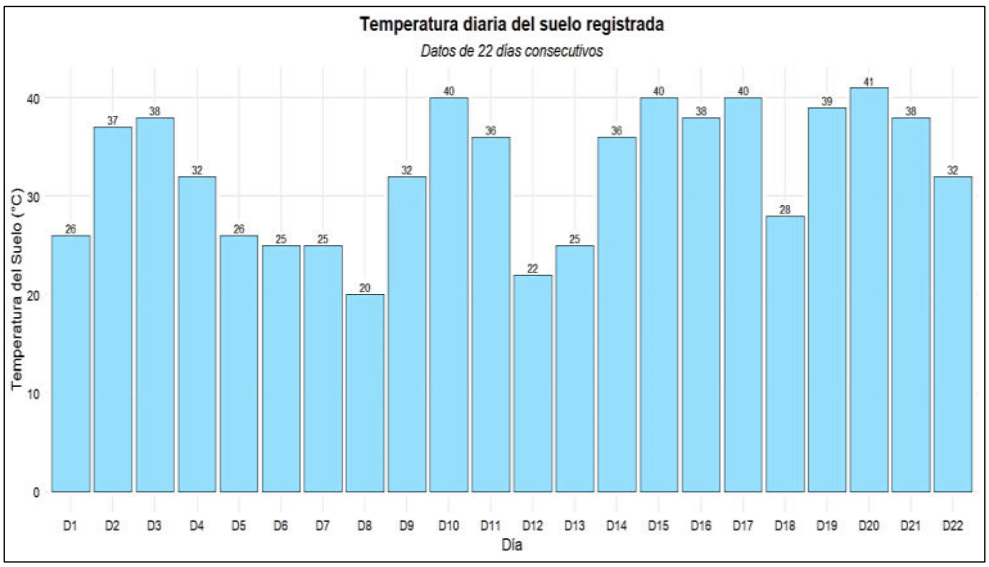
Temperatura ambiente de invernadero registrada durante 22 días consecutivos



En la **Figura 63** se presentan los registros de temperatura ambiental del invernadero durante 22 días consecutivos de monitoreo con un termohigrómetro digital. Los resultados muestran que, en la mayor parte del periodo, las temperaturas se mantuvieron estables con un promedio cercano a los 26 °C, aunque se observaron fluctuaciones puntuales en algunos días, atribuibles a variaciones ambientales temporales. Este comportamiento térmico refleja un entorno de cultivo mayormente controlado y adecuado para el desarrollo de los rábanos. Si bien las variaciones de temperatura no estuvieron directamente relacionadas con los tratamientos, el ambiente estable permitió que los CBSF ejercieran su efecto positivo sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Figura 64:

Temperatura del suelo registrada durante 22 días consecutivo



En la **Figura 64** se muestra la variación de la temperatura del suelo registrada durante 22 días consecutivos, donde se evidenció un rango moderado en la mayoría de los días, acompañado de picos elevados y descensos puntuales que reflejan la influencia de factores ambientales. A pesar de esta marcada variabilidad térmica, las condiciones edáficas se mantuvieron dentro de parámetros adecuados para el desarrollo del cultivo, permitiendo que los CBSF ejercieran su efecto positivo.

3.9. Discusión

3.9.1. Aislamiento y selección de bacterias solubilizadores de fosfato

En el presente estudio se aislaron 56 cepas bacterianas de suelos de Brasil y 63 de suelos del sur de Perú, de las cuales un 25 % (14 cepas) y un 30 % (19 cepas) mostraron actividad solubilizadora de fosfato, respectivamente. La mayor proporción de cepas solubilizadores en los suelos peruanos evidencia que la microbiota edáfica de esta región posee una adaptabilidad superior para movilizar fósforo disponible, en comparación con los suelos brasileños, donde la fertilidad y las prácticas agrícolas intensivas limitan la abundancia relativa de cepas solubilizadores. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Rodríguez et al. (2021), Vassilev et al. (2020) y Bashan et al. (2018), quienes destacan que la diversidad y funcionalidad de la microbiota bacteriana dependen de la composición edáfica, la disponibilidad de nutrientes y las condiciones ambientales locales. Rodríguez et al. (2021) señalan que la actividad solubilizadora de fósforo es mayor en suelos con baja fertilidad, debido a la presión selectiva que favorece bacterias eficientes en la movilización de nutrientes. Asimismo, Goldstein (2020) y Chen et al. (2018) indican que los suelos con limitaciones nutricionales albergan consorcios bacterianos especializados en la solubilización de fósforo, mientras que Vassilev et al. (2021) enfatizan que la diversidad funcional está relacionada con la adaptabilidad genética de las cepas a distintas condiciones del suelo, lo que confirma la funcionalidad observada en las cepas peruanas.

El análisis de los diámetros de halo y los índices de solubilización (IS) permitió identificar diferencias funcionales significativas entre las cepas, con promedios de halo de 1.85 cm y 2.80 cm, e IS de 1.69 y 2.80 para las cepas brasileñas y peruanas, respectivamente. Esta variabilidad refleja la eficiencia diferencial de las cepas en la solubilización de fosfatos, destacando la existencia de bacterias con rasgos sobresalientes de actividad funcional. Khan et al. (2019), Kumar et al. (2018) y Chen et al. (2018) enfatizan que los halos y los índices de solubilización son indicadores confiables de la capacidad funcional de las bacterias, y que estos están influenciados tanto por factores genéticos de la cepa como por la adaptación a las condiciones edáficas locales. Además, estudios de Richardson et al. (2020) y Rodríguez & Fraga (2019) señalan que el tamaño del halo refleja la capacidad de secreción de ácidos orgánicos y enzimas fosfatolíticas, factores determinantes para la movilización de fósforo en suelos agrícolas y naturales. Estos autores reportan que los halos

de solubilización pueden variar entre 0.5 y 5 cm de diámetro, y que las cepas con mayor capacidad solubilizadora suelen generar halos superiores a 2 cm, lo que evidencia una mayor eficiencia en la liberación de ácidos orgánicos y en la movilización del fósforo disponible.

3.9.2. Caracterización bioquímica de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato

La predominancia de bacterias Gram positivas (57.14%) en los suelos brasileños y de Gram negativas (52.63%) en los suelos peruanos refleja diferencias funcionales y adaptativas de la microbiota edáfica frente a las condiciones ambientales y nutricionales de cada región. Estas variaciones coinciden con lo señalado por Goldstein (2020), Rodríguez et al. (2021) y Richardson et al. (2020), quienes indican que la estructura de la microbiota y la capacidad solubilizadora de fósforo dependen de la composición química del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la presión selectiva ambiental. La adaptabilidad de *Bacillus spp.* en Brasil, asociada con su resistencia y producción de metabolitos solubilizadores, evidencia la relación entre características fenotípicas y eficiencia funcional, mientras que la prevalencia de *Coccus* en Perú refleja la especialización funcional de las bacterias frente a suelos con limitaciones de nutrientes, tal como señalan Vassilev et al. (2021), Bashan et al. (2020) y Rodríguez & Fraga (2021). Además, estudios de Kumar et al. (2019) y Nautiyal (2020) destacan que la diversidad de Gram y géneros en suelos agrícolas y naturales está vinculada a la capacidad de las cepas para tolerar estrés edáfico y participar activamente en el ciclo de nutrientes, fortaleciendo la fertilidad biológica del suelo.

La diversidad de morfotipos y características bioquímicas entre las cepas resalta la heterogeneidad funcional dentro de los consorcios bacterianos y su potencial biotecnológico. Estudios de Chen et al. (2018), Khan et al. (2018), Rodríguez et al. (2021) y Nautiyal (2020) destacan que las diferencias fenotípicas y enzimáticas permiten la selección de cepas con alta eficiencia en la movilización de fósforo y en la producción de metabolitos bioactivos. Además, la coexistencia de morfotipos similares con diferencias bioquímicas subraya la importancia de la diversidad genética para la estabilidad, eficiencia y resiliencia de los consorcios bacterianos frente a variaciones edáficas y ambientales, como señalan Bashan et al. (2020), Richardson et al. (2020), Glick (2021) y Kumar et al. (2019). La heterogeneidad funcional también está vinculada con la capacidad de las CBSF para colonizar diferentes nichos edáficos y mantener la actividad

metabólica incluso en suelos con limitaciones nutricionales o condiciones de estrés, lo que refuerza su relevancia como herramientas biotecnológicas para la optimización de la disponibilidad de fósforo en sistemas agrícolas y naturales.

3.9.3. Caracterización molecular de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato mediante la secuenciación del gen 16S rRNA

La caracterización molecular de las cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato mediante la secuenciación del gen 16S rRNA permitió confirmar taxonómicamente la diversidad de microorganismos presentes en los aislados con mayor índice de solubilización. La mayoría de los valores de pureza A260/A280 estuvieron dentro del rango óptimo de 1.8–2.0, lo que respalda la calidad del ADN para los análisis moleculares y coincide con criterios de pureza recomendados para secuenciación confiable (Reinoso Caicedo, 2018). La amplificación específica de fragmentos de ~1500 pb y la ausencia de amplificación en el control negativo refuerzan la validez de los resultados. Estudios previos han utilizado exitosamente el gen 16S rRNA para identificar bacterias solubilizadoras de fosfato como *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus cereus*, destacando la utilidad de esta región conservada para la identificación de PSB en diferentes ambientes agrícolas (Sembiring & Sumanto, 2025). La relevancia de este enfoque molecular se evidencia también en otros trabajos que reportan diversidad filogenética significativa entre PSB identificados por 16S rRNA, lo que facilita la selección de cepas con potencial biofertilizante (Alvarado & Gutiérrez, 2025; estudios de diversidad de PSB empleando 16S rRNA como marcador).

El análisis filogenético mostró la presencia de múltiples géneros, con predominio de *Bacillus, Pseudomonas* en Brasil y *Serratia, Enterobacter* en las cepas peruanas, lo cual está en línea con revisiones que identifican a *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Serratia* y otros géneros como los más comúnmente reportados entre bacterias solubilizadoras de fosfato por secuenciación de 16S rRNA (Revisión científica sobre PSB). Autores como Backer et al. (2018) destacan que estas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) emplean mecanismos moleculares como la secreción de ácidos orgánicos y fosfatasas para liberar P disponible en el suelo, lo que explica su importancia ecológica y agronómica. Investigaciones adicionales han demostrado que PSB de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* no solo mejoran la disponibilidad de fósforo, sino que también contribuyen a la estructura del

microbioma del suelo y a funciones biológicas beneficiosas para la planta (por ejemplo, producción de compuestos promotores del crecimiento) en concordancia con los resultados obtenidos en este estudio.

3.9.4. Evaluación del efecto de CBSF en el crecimiento de R. sativus in vitro

Los resultados del presente estudio demostraron que la aplicación de consorcios bacterianos solubilizadores de fósforo (CBSF) influyó significativamente en el crecimiento y rendimiento de *R. sativus*, siendo el tratamiento T4 el más eficiente. El análisis mediante modelos lineales mixtos mostró que, tanto en altura como en número de hojas, existieron efectos significativos del tratamiento y del tiempo, lo que evidencia la sensibilidad del cultivo a la disponibilidad microbiana de fósforo. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Blanco-Vargas et al. (2020), quienes destacaron que la solubilización microbiana del fósforo mejora el crecimiento vegetal al aumentar la fracción disponible de este nutriente en el suelo.

En términos de crecimiento aéreo, T4 promovió una mayor altura y un incremento sostenido en el número de hojas, mientras que T3 y T5 tuvieron efectos negativos. Resultados similares fueron reportados por Banerjee et al. (2010), quienes observaron que bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* favorecen el desarrollo foliar y el crecimiento inicial en hortalizas mediante la producción de compuestos reguladores del crecimiento. Además, la interacción significativa entre tratamiento y tiempo sugiere que los CBSF no solo aportan nutrientes, sino que influyen en la dinámica fisiológica del crecimiento, lo que también ha sido documentado por Indira et al. (2014).

Respecto a los parámetros de rendimiento, el tratamiento T4 presentó los mayores valores de diámetro y peso fresco del tubérculo, superando significativamente a los demás. Estos hallazgos concuerdan con lo descrito por Badri & Vivanco (2009), quienes demostraron que microorganismos solubilizadores de fosfato incrementan el rendimiento y la calidad del rábano al mejorar la absorción de fósforo. De manera similar, Magallón et al. (2014) encontraron que los CBSF favorecen la formación y engrosamiento del bulbo en hortalizas de raíz, lo que coincide con los resultados observados en este estudio.

En relación con la longitud radicular, el tratamiento T2 fue el único que mostró un efecto significativamente superior al testigo, lo cual indica que no

todos los consorcios bacterianos promueven el mismo patrón de respuesta en la planta. Esta variabilidad ha sido reportada por Thepbandit & Athinuwat (2024), quienes señalaron que algunas bacterias tienen mayor afinidad por estimular la arquitectura radicular a través de la liberación de ácidos orgánicos o la producción de fitohormonas como ácido indolacético. Esto explicaría por qué T2 fue más efectivo en raíces, mientras que T4 destacó en parámetros aéreos y biomásicos.

Finalmente, los análisis de peso fresco y peso seco corroboraron la superioridad de T4 en la acumulación de biomasa. Aunque no se contó con replicación suficiente para análisis estadístico del peso seco, la tendencia fue clara. Este patrón se alinea con lo reportado por Kumar et al. (2012), quienes demostraron que la aplicación de consorcios bacterianos aumenta la biomasa total en cultivos hortícolas, incluso bajo condiciones limitantes de fósforo. Asimismo, Lovon & Curi (2022) señalaron que el aumento en la disponibilidad microbiana del fósforo favorece procesos esenciales como la fotosíntesis, la respiración y la división celular, lo que explicaría el comportamiento observado en T4.

V. CONCLUSIONES

- Del total de 119 cepas bacterianas aisladas de los suelos de Brasil y Perú, se identificaron 14 cepas activas en los suelos brasileños y 19 cepas activas en los suelos peruanos con capacidad de solubilizar fósforo. Estos datos evidencian la presencia de microbiotas edáficas adaptadas a la movilización de nutrientes, destacando un mayor potencial funcional en los suelos del sur de Perú. La variabilidad observada en la eficiencia de solubilización, reflejada en los diámetros de halo y los índices de solubilización, permite identificar consorcios con elevado potencial biotecnológico, capaces de mejorar la disponibilidad de fósforo y contribuir significativamente al manejo sostenible y a la optimización de la fertilidad de los suelos.
- La caracterización bioquímica reveló predominancia de bacterias Gram positivas en los suelos brasileños y Gram negativas en los suelos peruanos, con *Bacillus* y *Coccus* como los géneros más representativos en cada país, respectivamente. La diversidad de morfotipos y perfiles bioquímicos evidencia una heterogeneidad funcional significativa dentro de los consorcios bacterianos, indicando su capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas y nutricionales. Esta diversidad funcional respalda la pertinencia de estos consorcios como herramientas biotecnológicas estratégicas para la movilización de fósforo y la mejora de la fertilidad del suelo, garantizando eficiencia y resiliencia frente a variaciones ambientales.
- La caracterización molecular mediante la secuenciación del gen 16S rRNA permitió confirmar la calidad del ADN extraído y evidenciar amplificaciones específicas, identificando diversos géneros de bacterias agrícolas con alta similitud genética, destacando *Bacillus proteolyticus* en las cepas brasileñas y *Serratia nematodiphila* en las peruanas, lo que resalta su potencial para incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo y favorecer el crecimiento vegetal.
- Se evidencio que el consorcio bacteriano T4 fue el tratamiento más eficaz, ya que promovió un crecimiento superior en altura, número de hojas y biomasa del rábano en comparación con los demás tratamientos. El análisis estadístico respaldó estas diferencias, mostrando efectos significativos en las variables morfológicas y de rendimiento. Además, el incremento en el diámetro y peso del tubérculo confirma la influencia positiva de este consorcio en el desarrollo vegetal. En conjunto, los hallazgos demuestran el impacto favorable de los CBSF sobre el crecimiento de *R. sativus* en condiciones *in vitro.*

VI. RECOMENDACIONES

- Estandarizar la concentración de unidades formadoras de colonia de cada cepa bacteriana antes de la conformación de los consorcios, asegurando una proporción uniforme, viable y reproducible en las aplicaciones experimentales.
- Evaluar la interacción de los consorcios con fertilizantes químicos o agroquímicos para asegurar que no se inhiba la actividad microbiana.
- Comparar la efectividad del consorcio bacteriano T4 con biofertilizantes comerciales y fertilizantes químicos convencionales, para establecer su rendimiento relativo, costo-beneficio y potencial de aplicación a escala agrícola.
- Implementar ensayos en condiciones de campo y en distintos tipos de suelo, con el propósito de validar el desempeño del consorcio T4 bajo escenarios ambientales reales y determinar su versatilidad agroecológica.
- Promover la incorporación de estos consorcios bacterianos en estrategias de manejo sostenible del suelo, fomentando el uso de bioinoculantes como alternativa ecológica que contribuya a mejorar la productividad agrícola.
- Se recomienda evaluar el consorcio T4 en otra hortaliza diferente, con el fin de determinar su eficacia y potencial de promoción del crecimiento en distintos cultivos vegetales.
- Considerar la aplicación periódica o en combinación con fertilización orgánica para mantener la actividad microbiana durante todo el ciclo del cultivo.

VII. REFERENCIAS

Abdulamir, A. S. (2010). Detection and quantification of probiotic bacteria using optimized DNA extraction, traditional and real-time PCR methods in complex microbial communities. *https://doi.org/10.5897/ajb09.1322*.

Admin. (2025). Etapas Fenológicas del Rábano. AgronoBlog - Blog De Agricultura. . *https://agronoblog.com/etapas-fenologicas/etapas-fenologicas-del-rabano/*.

Agroempresario. (2021). Raphanus sativus | Agroempresario.com. agroempresario.com. *https://agroempresario.com/publicacion/49645/raphanus-sativus*.

Aguilar Luis, M. A.-C.-T.-M.-M. (2025). Molecular detection of Haemophilus influenzae type b and non-typeable strains by PCR in infants under one year hospitalized with community-acquired pneumonia in Peru, 2010–2012. New Microbes and New Infections, 68, 101655. https://doi.org/10.1016/j.nmni.

Ahmad Hafezi, Z. K. (2024). The Method and Analysis of Some Biochemical Tests Commonly Used for Microbial Identification: A Review. *https://brieflands.com/journals/chbs/articles/160199*.

Alexander. (1987). Introducción a la Microbiología del Suelo. AGT Editor, S.A. México. 491 pág.

Alexander, M. (1987). Introduction of soil microbiology. New York. Ed. Wiley and Sons. P 83-88.

Alvarado Ibáñez, J. C. (2021). Potencial biofertilizante de rizobacterias asociadas a cultivos amazónicos de importancia económica. *https://repositorio.unitru.edu.pe*.

Ameye, Z. (2023). Innovative Rhizosphere-Based Enrichment under P-Limitation Selects for Bacterial Isolates with High-Performance P-Solubilizing Traits Microbiology Spectrum, 10(6)., https://doi.org/10.1128/spectrum.02052-22.

An, R. &. (2019). Regulation of pyrroloquinoline quinone-dependent glucose dehydrogenase activity in bacteria. Microbiology, 162, 2005–2014.

Andrade Linarez, K. C. (2024). Calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 29(2), 42-52.

Auctores. (2023). Overview on old and new biochemical test for bacterial identification | Auctores. Auctores. . *https://www.auctoresonline.org/article/overview-on-old-and-new-biochemical-test-for-bacterial-identification?utm_source=chatgpt.com*.

Bashan, Y. d.-B.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology:. *Formulations and practical perspectives (1998–2013). Plant and Soil, 378(1–2), 1–33. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x*.

Bastidas, C. &. (2020). Respuesta agronómica del cultivo de rábano (Raphanus sativus) a la aplicación de abonos orgánicos. *http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3546/1/T-UTC-00823.pdf*.

Bedin, I. N. (2019). Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 27(4), 639–646. https://doi.org/10.1590/s0100-06832003000400008*.

Belotto, M. (2018). Data analysis methods for qualitative research: Managing the challenges of coding, interrater reliability, and thematic analysis. The Qualitative Report. *https://doi.org/10.46743/2160-3715/2018.3492*.

Booali, S. Z. (2024). Effect of biofertilizer containing Thiobacillus bacteria along with different levels of chemical sulfur fertilizer on growth response and photochemical efficiency of small radish plants (Raphanus sativus).https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112835.

Canuto Cortés, M. D. (2014). Pruebas bioquímicas de identificación de bacterias. uDocz. Recuperado de . *https://www.udocz.com/apuntes/663949/pruebas-bioquimicas-de-identificacion-de-bacterias*.

Carrión, M. a. (2024). El cultivo in vitro de plantas y su aporte en la agricultura local. Esferas, 5. https://doi.org/10.18272/esferas.v5i1.3137.

Cawthorn, D. S. (2010). Comparative study of different methods for the extraction of DNA from fish species commercially available in South Africa. Food Control, . *https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.07.00*, 22(2), 231–244.

Chen, X. L. (2023). Phosphate-solubilizing microorganisms: a sustainability strategy to promote plant growth and reduce dependence on chemical fertilizers [Review]. Frontiers in Microbiology, 14, Article 1320853. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1320853.

Contreras, L. Y. (2018). Extracción de ADN de bacterias conservadas en el banco de cepas de la Universidad Francisco de Paula Santander sede Campos Elíseos. Respuestas, 23(1), 24-28.

Cordero, R. D. (2023). Determinación espacio-temporal de la concentración de fósforo en el lago de Tota. Revista colombiana de química, 34(2), 211-218.

Dadther, H. (2024). Manual de manejo agronómico del pallar. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. ISBN: 978-9972-44-144-8.

De Araújo Maia, A. C. (2019). Resistência antimicrobiana de Pseudomonas aeruginosa isolados de pescado e de cortes e de miúdos de frango. Food Science and Technology. *https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000100018*.

Demasi, S. C. (2019). Ailanthone inhibition data on seed germination and seedling growth of Lepidium sativum L. and Raphanus sativus L. Data in Brief, 26, 104550. https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104550.

Dentato, M. P. (2025). Ocium basilicum essential oil biostimulant activity and protective effects on cadmium-induced DNA damage and oxidative stress in Raphanus sativus L. Industrial Crops and Products, 235, 121830. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121830.

Derre, J. (2023). Argentina, A. a. L. S. Dinámica del fósforo en los suelos: clave para una gestión eficiente. https://es.linkedin.com/pulse/din%C3%A1mica-del-f%C3%B3sforo-en-los-suelos.

Díaz Romeu, R. &. (1978). Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3115.

Echeverri, J. (2024). Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales. Monografía, Universidad Nacional de Colombia]. http://bdigital. unal. edu. co/71606/2/39456768.2018. pdf.

Egamberdieva, D. W. (2017). Phytohormones and beneficial microbes: Essential components for plants to balance stress and growth. *Frontiers in Microbiology, 8, 2104. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02104*.

Fontes, L. P. (2015). Epigenetics and epilepsy. Neurología (English Edition), 30(2), 111–118. *(English Edition), 30(2), 111–118. https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2014.03.002*.

Fontoura, S. M. (2015). Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 34(6), 1907–1914. https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000600015*.

García Da Silva, . &. (2018). Synthetic microbial consortia: Benefits over single-strain inoculants in plant growth-promoting applications. *Applied Microbiology and Biotechnology, 102(9), 3875-3884.*

Gueçaimburu, J. M. (2024). Evolución del fósforo disponible a distintos niveles de compactación por tráfico agrícola en un argiudol típico. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 35(1), 81-89.

Gutiérrez Jiménez, J. L. (2015). Organización, mantenimiento y preservación de la colección de cultivos bacterianos del instituto de ciencias biológicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Revista de La Sociedad Venezolana.http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199444210007.

Hafezi, A. &. (2024). The method and analysis of some biochemical tests commonly used for microbial identification: A review. Comprehensive Health and Biomedical Studies, 3(2), e160199. *https://doi.org/10.5812/chbs-160199*.

Hernández Guijarro, K. F. (2018). Bacterias Nativas del suelo con potencial para la degradación de Glifosato y promoción del Crecimiento Vegetal. Asociación Argentina Ciencia de Suelo 36:24-137. .

Hernandez, D. P. (2023). Efecto del fósforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junín. Ecología aplicada, 1(1-2), ág-57.

Hurtado-Salazar, A. A. (2023). Evaluación técnica-económica de consorcios bacterianos en el cultivo de fresa en dos sistemas de producción. Temas Agrarios, 28.

Ibarra Castillo, D. R. (2022). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. Agricultura técnica en México, 35(3), 267-276.

Indira, S. D. (2012). EFECTO DE INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EN CRECIMIENTO DE RÁBANO (Raphanus sativus). . *http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-356120120001*.

Jaramillo Calle, L. P.-R. (2024). Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal de las rizobacterias de Neltuma pallida en el bosque seco de Piura, Perú:

pruebas en laboratorio y efecto en la germinación de semillas. *osque, 45(2), 337–345. https://doi.org/10.4067/S0717-92002024000200337*.

Khan, M. S. (2014). Role of plant growth-promoting rhizobacteria in the regulation of phytohormones:. *Current perspectives. Critical Reviews in Microbiology, 40(2), 173–187. https://doi.org/10.3109/1040841X.2013.772225*.

Kloepper, J. W. (2019). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. Nature, 286, 885–886.

Krzyżek, . &. (2018). Morphology of Helicobacter pylori as a result of peptidoglycan and cytoskeleton rearrangements. *Gastroenterology Review, 13(3), 182-195. https://doi.org/10.5114/pg.2018.78284*.

Kumar, D. K. (2025). From root to remedy: Exploring the pharmacological and nanomedical potential of Raphanus sativus. Pharmacological Research - Natural Products, 9, 100380. https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100380.

Kumar, V. y. (1999). Solubilization of organic phosphates and growth emergence of wheat as affected by Azotobacter chroococummutans. Boil. Fertile. Soils. Vol 28. Pag 301-305.

López, M. d. (2023). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arburculares en plantaciones deTheobroma cacao. Agronomía Tropical, 57(1), 31-43.

Lozano, L. C. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. Nova, 19(36), 49–94. https://doi.org/10.22490/24629448.5293.

Lucy, M. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek, 86(1), 1–25. https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000049132.95979.5b*.

Luo, B. L. (2025). Decoupling the effects of organic acid and EPS in phosphorus activation by phosphate solubilizing bacteria: From screening to morphological transformation analysis. Environmental Technology & Innovation, 40, 104389. . *https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.1043*.

Luo, D. H. (2024). Inoculations of phosphorus-solubilizing bacteria alter soil properties, microbial communities, and improve crop yield and fruit quality in the tomato

production system. Applied Soil Ecology, 207, 105944. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105944.

Luo, M. Z. (2025). A high-efficiency nano-fungicide recruits the beneficial microorganisms against destructive pepper southern blight (Sclerotium rolfsii). Environmental Technology & Innovation, 40, 104511. https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104511.

Luquet, M. G. (2025). Participación del óxido nítrico en respuestas de aclimatación a la restricción de fósforo en plantas cultivadas. . *https://doi.org/10.35537/10915/182726*.

Martínez Nieto, P. B.-C.-F.-L. (2012). Tolerancia y degradación del glifosato por bacterias aisladas de suelos con aplicaciones frecuentes de Roundup SL®. Revista Pilquen• . *https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Martinez-Nieto/publication/259466442_TOLERANCIA_Y_DEGRADACION_DEL_GLIFOSATO_POR_BACTERIAS_AISLADAS_DE_SUELOS_CON_APLICACIONES_FRECUENTES_DE_ROUNDUP_SLR/links/02e7e52bdce0654035000000/TOLERANCIA-Y-DEGRADACION-D*, Sección Agronomía, 14(12).

Mateos Naranjo, E. (2023). Development of a PGPB-based biofertilizer to optimize strawberry cultivation in semiarid regions: Screening, validation and scaling up to commercial production. Scientia Horticulturae, 340, 113929. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.113929.

Mau, S. V. (2011). Aislamiento de bacterias del suelo y su potencial utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. 42(2),45–52. .

Mendoza, L. H. (2010). Determinación del potencial promotor del crecimiento vegetal de las enterobacterias aisladas de la rizósfera del cultivo de maíz (Zea mays L.). Scientia Agropecuaria, 177–185. *https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.02*.

Merino-Rafael, F. A.-C. (2024). Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal de las rizobacterias de Neltuma pallida en el bosque seco de Piura, Perú: pruebas en laboratorio y efecto en la germinación de semillas. Bosque. *(Valdivia), 45(2), 337–345. https://doi.org/10.4067/s0717-92002024000200337*.

Miranda Capetanópulos, D. &. (2024). Nutrición parenteral en neonatología y pediatría: estabilidad fisicoquímica, riesgos y precauciones. Revisión narrativa. Andes pediatrica, 95(5), 629-638.

Moreno Mesa, L. V. (2024). Evaluación del impacto del biocarbón en la calidad de suelos agrícolas: una revisión sistemática. Colombia forestal, 28(2).

N. Vassilev, M. V. (2006). Simultaneous P solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends https://doi.org/10.1007/s00253-006-0380-z.

Nautiyal, C. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x .

Novoa, M. A. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (Persea americana, cv. Hass). *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas, 12(2), 293–307. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092*.

Nowak, A. M.-G.-N.-Ś. (2024). Effect of long-term radish (Raphanus sativus var. sativus) monoculture practice on physiological variability of microorganisms in cultivated soil. Journal of Environmental Management, 367, 122007. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122007.

Osorio-Vega, W. D.-G. (2020). Caracterización bioquímica de microorganismos rizosféricos de plantas de vainilla con potencial como biofertilizantes. *Agronomía Mesoamericana, 225–241. https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15426*.

Paredes Mendoza, M. &.-V. (2022). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. Terra Latinoamericana, 28(1), 61-70.

Patten, C. L. (2019). Role of Pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology, 68, 3795–3801.

Paul, E. A. (2015). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry (4th ed.). Academic Press.*

Pelesz, A. &. (2024). Effect of high static electric field on germination and early stage of growth of Avena sativa and Raphanus sativus. Journal of Electrostatics, 130, 103939. https://doi.org/10.1016/j.elstat.2024.103939.

Pérez Gutiérrez, R. M. (2023). Raphanus sativus (Radish): Their Chemistry and Biology. The Scientific World Journal, 4, 811-837. https://doi.org/10.1100/tsw.2004.131.

Pineda, M. E. (2015). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria, 15(1), 101–113. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:401*.

QuantaBio. (2018). Extracta DNA Prep for PCR Kit. *https://www.quantabio.com/product/extracta-dna-prep*.

Quispe, K. H.-C. (2025). Spatial Analysis of Soil Acidity and Available Phosphorus in Coffee-Growing Areas of Pichanaqui: Implications for Liming and Site-Specific Fertilization. Agriculture, 15(15), 1632. https://doi.org/10.3390/agriculture15151632.

Rawat, P. S. (2024). Improvement of phosphorus uptake, phosphorus use efficiency, and grain yield of upland rice (Oryza sativa L.) in response to phosphate-solubilizing bacteria blended with phosphorus fertililizer Pedosphere, 32(5), 752–763., . *https://doi.org/10.16/j.pedsph*.

Redacción, A. (2024). Guía completa de cultivo de rabanitos en el huerto. La Huertina De Toni. *https://www.lahuertinadetoni.es/cultivo-de-rabanitos/*, 15.

Reinoso Caicedo, G. E. (2018). Identificación y clasificación de bacterias con potencial en biotecnología vegetal [Universidad Técnica de Ambato]. In New England England England http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29125 .

Reynoso-Cereceda, G. I.-C.-C.-R. (2015). Caracterización del crecimiento bacteriano en matraces agitados por un sistema de resonancia acústica en comparación a la agitación orbital. In XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería (Vol. 21).

Richardson, A. E.-C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil, 321(1-2), 305–339. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9884-1*.

Rodrigues, F. S. (2023). Procesos clave y escalas de tiempo de la formación de la tierra tropical. Reseñas de Ciencias de la Tierra , 254 , 104804. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104804.

Rodrigues, N. A. (2024). New approaches for solubilization of phosphate rocks through solid-state fermentation by optimization of oxalic acid production. Bioresource Technology, 408, 131165. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131165.

Rodríguez Yparraguirre, C. D. (2025). Aportes de agricultura de precisión en la productividad sostenible: Una revisión sistemática. RIVAR (Santiago), 12(36), 238-256.

Rodríguez, H. &. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances, 17(4–5), 319–339. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2*.

RodríGuez, H. &. (2020). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances, 17(4–5), 319–339. https://doi.org/10.1016/s0734-9750(99)00014-2.

Rojas, C. a. (2017). Identificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos en un Andisol de la región cafetera colombiana. Revista Colombiana De Biotecnología, 19(1), 21–28. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.bi.

Romero, E. P. (2019). Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia.

Roy, B. D. (2023). Overview on old and new biochemical tests for bacterial identification. Scholastic Microbiology, 1(1). . *https://www.scholasticopenaccess.org/SCMI/SCMI-01-0005.*

S. B. Sharma, R. S. (2012). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587 .

Sandro, S. N. (2023). Evaluación de soluciones extractoras de fósforo (P) disponible mediante la aplicación de una fuente fosfatada en diferentes tipos de suelos. https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19384.

Santos, J. C. (2021). Phosphate-Solubilizing Bacteria from Different Genera, Host Plants, and Climates: Influence of Soil pH on Plant Growth and Biochemistry. Land, 14(10), 2065. https://doi.org/10.3390/land14102065.

Sashidhar, B. &. (2020). Mineral phosphate solubilization by rhizosphere bacteria and scope for manipulation. Plant Soil, 321, 35–52.

Seimandi, G. M. (2023). Bioactivity of Raphanus Species against Agricultural Phytopathogens andits Role in Soil Remediation: A Review. Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening, 27(4), 516–544. https://doi.org/10.2174/1386207326666230706123818.

Sharma, H. G. (2024). Phosphorus solubilizing Priestia Megaterium AIOASP1 enhances tomato growth and wilt resistance through antioxidant gene regulation. Plant Science, 359, 112636. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112636.

Silber, A. I. (2014). Irrigation with desalinated water: A step toward increasing water saving and crop yields. Water Resources Research, 51(1), 450–464. https://doi.org/10.1002/2014wr016398.

Silva, L. I. (2023). Phosphorus-Solubilizing microorganisms: a key to sustainable agriculture. Agriculture, 13(2), 462. https://doi.org/10.3390/agriculture13020462.

Singh, R. e. (2023). The role of plant growth-promoting rhizobacteria in strengthening plant tolerance and productivity under abiotic stress. Frontiers in Microbiology, 14, Article 1271034. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271034.

Smith, A. &. (2023). Plant growth-promoting microbes for resilient farming systems. Agriculture, 11(3), 260. https://doi.org/10.3390/agriculture11030260.

Soares, G. R.-A. (2025). Early Development and Phosphorus Use Efficiency Response to Phosphate Fertilizer Rates Associated with Phosphate-Solubilizing Bacteria in Contrasting Corn Hybrids. Phyton, 94(8), 2347–2363. https://doi.org/10.32604/phyton.2025.066264.

Spaepen, S. V. (2021). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. FEMS Microbiology Reviews, 31(4), 425–448. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x.

T., A. (1987). Introducción a la Microbiología del Suelo.AGT Editor, S.A. México. 491 pág.

Tamariz-Angeles, C. H.-R.-G.-B. (2021). Characterization of siderophore-producing microorganisms associated to plants from high-Andean heavy metal polluted soil from Callejón de Huaylas (Ancash, Perú). Microbiological Research, 250, 126811. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126811.

Thomas, A. R. (2020). Mechanisms and genetic basis of phosphate-solubilizing bacteria: implications for sustainable agriculture. *Beneficial Microbes, 11(4), 365-379.*

Thompson, R. P. (2018). Rapid detection of hydrogen sulfide produced by pathogenic bacteria in focused growth media using SHS-MCC-GC-IMS. Microchemical Journal, 140, 232–240. *https://doi.org/10.1016/j.microc.201*.

Toribio, A. S.-E.-G.-G.-G. (2025). Boosting plant welfare and rhizospheric health through the application of phosphorus and potassium-solubilizing fungi from compost and vermicompost. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 68, 103741. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103741.

Torres Cuesta, D. M.-M.-B.-M.-G.-B. (2023). Phosphate-Solubilizing Bacteria with Low-Solubility Fertilizer Improve Soil P Availability and Yield of Kikuyu Grass. Microorganisms, 11(7), 1748. https://doi.org/10.3390/microorganisms11071748.

Torres, L. M. (2022). Cambios en calidad del suelo asociados a la aplicación de técnicas de agricultura ecológica en plantas café bajo diferentes coberturas. *Colombia Forestal, 25(1), 5–20. https://doi.org/10.14483/2256201x.18064*.

Trujillo-Vargas, L. M. (2024). Revisión sistemática de literatura sobre tratamientos de aguas residuales con microalgas para el reciclaje de nutrientes. Letras ConCiencia TecnoLógica, (22), 27-52.

Ulloa Muñoz, R. O.-G.-B.-A. (2020). Diversity of endophytic plant-growth microorganisms from Gentianella weberbaueri and Valeriana pycnantha, highland Peruvian medicinal plants. Microbiological Research, 233, 126413. https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126413.

Vieira, P. V. (2024). Análise das motivações de agricultores familiares em utilizarem biofertilizantes: uma revisão sistemática de literatura. Desenvolvimento Regional em debate: DRd, 15, 365-393.

Villalobos, M. B. (2024). Héroes invisibles: rol de los microorganismos en la limpieza de hidrocarburos en el mar. South Sustainability, 5(2), e107-e107.

Wood, E. J. (1983). Molecular Cloning. A Laboratory Manual: by T Maniatis, E F Fritsch and J Sambrook. pp 545. Cold Spring Harbor Laboratory, New York.1982. $48. Biochemical Education, 11(2), 82. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90068-7.

Wood, J. P. (2024). Review of techniques for the in-situ sterilization of soil contaminated with Bacillus anthracis spores or other pathogens. Research in microbiology,. 175(4), 104175.

Y. P. Chen, P. R. (2013). Young Phosphate Solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and Their Tricalcium Phosphate Solubilizing Abilities https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002.

Yolanda, P. V. (2012). Preparación de semilleros y observaciones sobre la producción de plántulas en condiciones controladas.

Zaruba, S. O. (2024). Microextracción con sorbente empaquetado para la determinación de analitos inorgánicos: Determinación de fosfatos. Microchemical Journal , 210 , 112976. https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.112976. http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/558.

Zhang, D. &. (2025). A telomere-to-telomere genome assembly of radish (Raphanus sativus L.) provides insights into QTL mapping of bolting traits. Journal of Genetics and Genomics/Journal of Genetics and Genomics. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2025.07.014.

ANEXOS

ANEXO I: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 65:

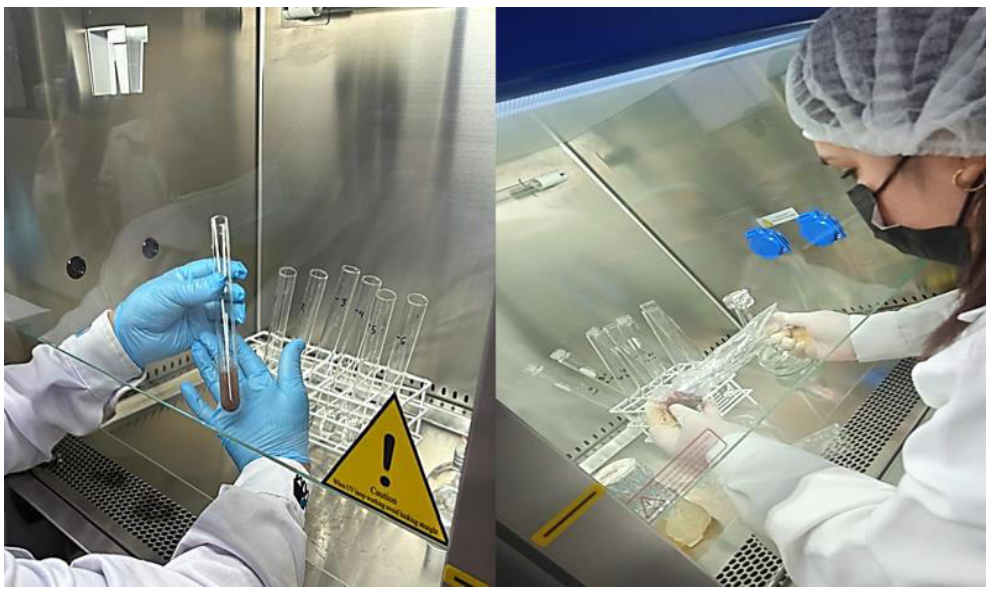
Toma de muestras de las lomas de Ilo



Nota: Recolección de muestras de suelo en tres regiones del sur del Perú: Puno, Moquegua y Tacna.

Figura 66:

Diluciones seriadas empleadas para el crecimiento bacteriano



Nota: Diluciones seriadas a partir de las muestras de suelo con el objetivo de obtener aislamientos bacterianos viables y cuantificables.

Figura 67:

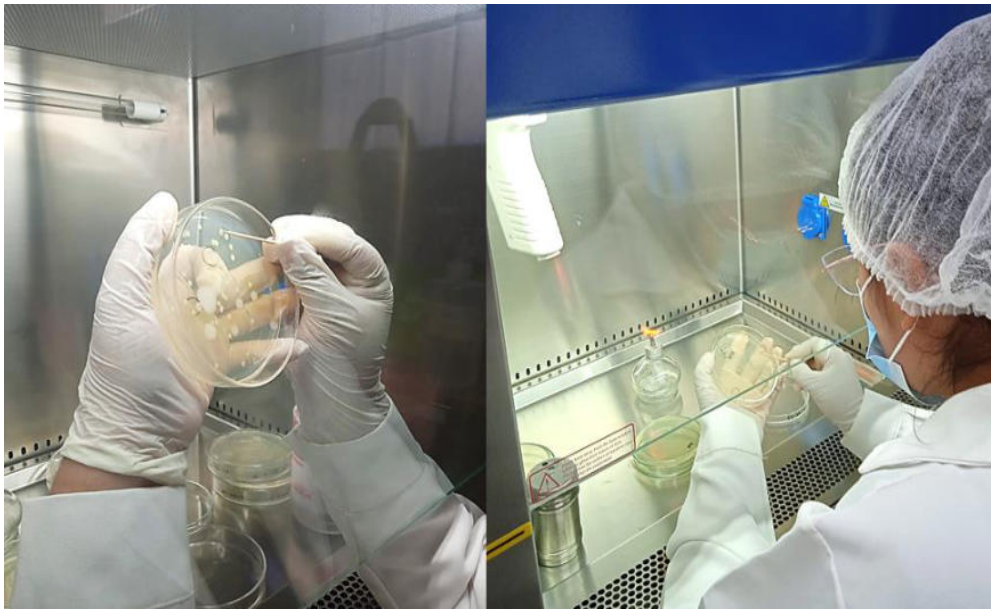
Aislamiento de cepas bacterianas en placas con medio de cultivo Agar nutritivo



Nota: Aislamiento de cepas bacterianas en placas con medio de cultivo Agar nutritivo para su crecimiento y selección.

Figura 68:

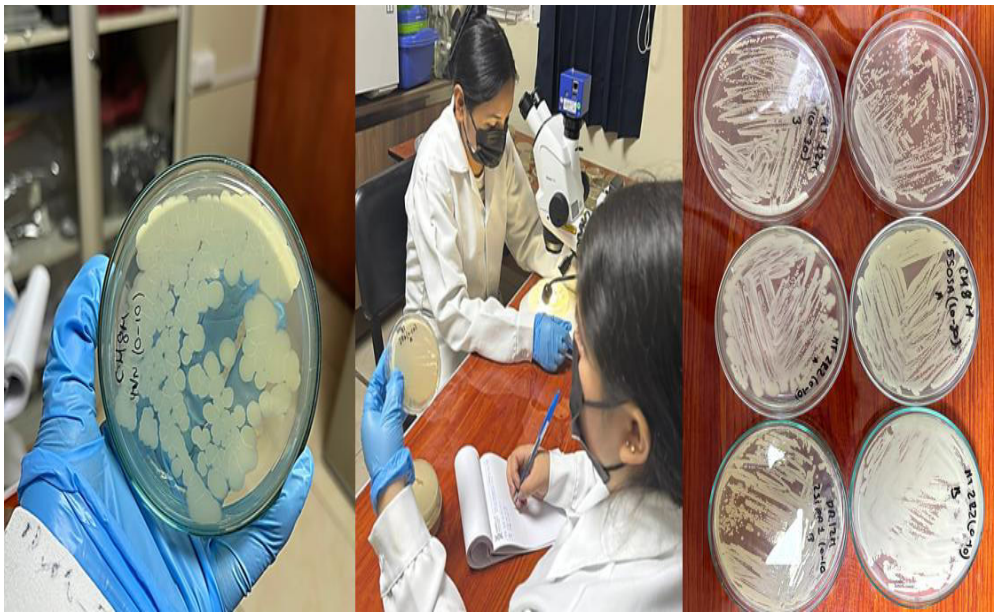
Selección de bacterias puras en Agar nutritivo



Nota: Selección de colonias bacterianas puras en medio Agar nutritivo para su conservación y posterior análisis

Figura 69:

Caracterización morfológica de bacterias



Nota: Caracterización morfológica de las bacterias mediante la observación de sus características macroscópicas y microscópicas.

Figura 70:

Bacterias puras en medio Pikuskaya para evaluar la solubilización de fosfato



Nota: Cultivo bacteriano puros en medio Pikuskaya para evaluar su capacidad de solubilización.

.

Figura 71:

Bacterias solubilizadores de fosfato en caldo nutritivo



Nota: Cultivo de bacterias solubilizadores de fosfato en caldo nutritivo para su activación y multiplicación.

Figura 72:

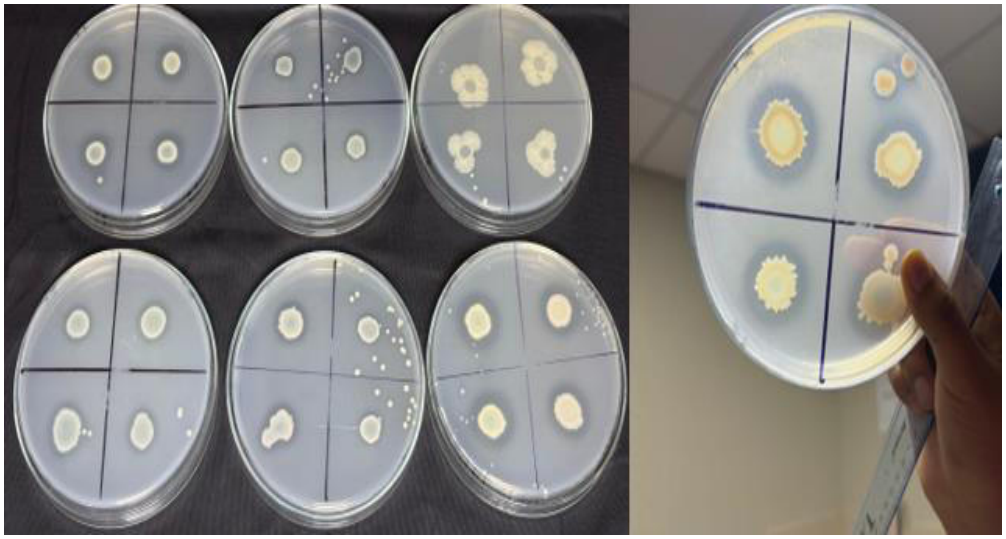
Centrifugación de bacterias solubilizadores de fosfato



Nota: Centrifugación de las bacterias solubilizadores de fosfato para concentrarlas y utilizarlas en las pruebas moleculares.

Figura 73:

Halo de solubilización en medio Pikovskaya



Nota: Observación de halos de solubilización en el medio Pikovskaya durante un periodo de 10 días, evidenciando la actividad fosfato-solubilizadora de las bacterias.

Figura 74:

Observación microscópica para la determinación de bacterias Gram positivas y Gram negativas



Nota: Observación microscópica para determinar la presencia de bacterias Gram positivas y Gram negativas mediante la tinción de Gram.

Figura 75:

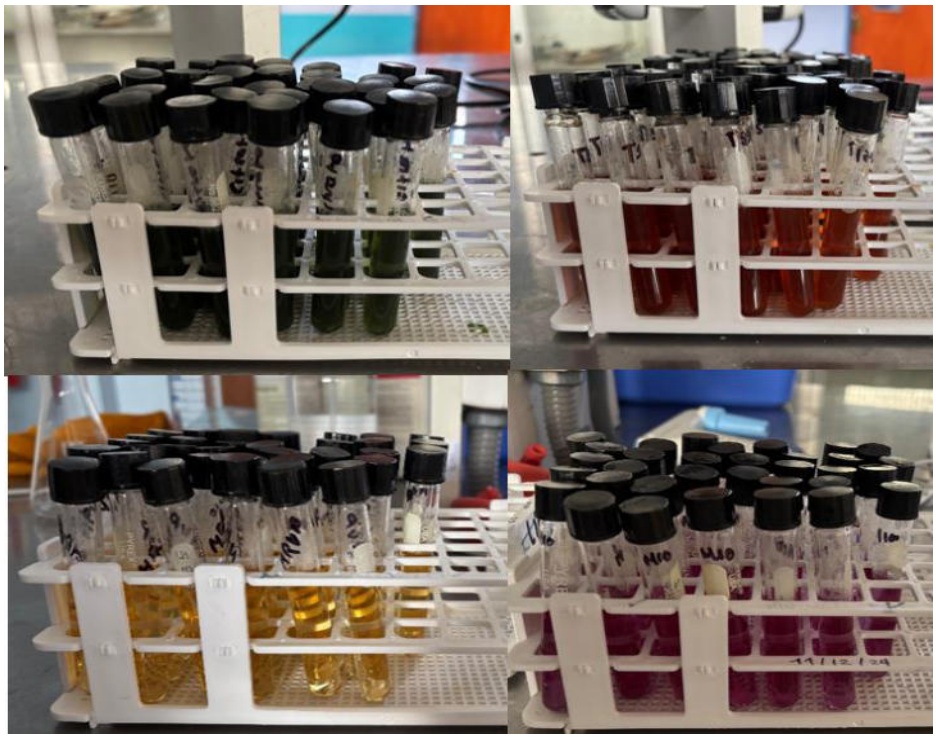
Insumos para las pruebas bioquímicas



Nota: Reactivos para realizar las pruebas bioquímicas los cuales son: MIO Medium, Agar citrato Simmons, Agar tres azucares, MR-VP.

Figura 76:

Preparación de pruebas bioquímicas



Nota: Preparación de pruebas bioquímicas para bacterias Gram positivas y negativas.

Figura 77:

Resultados de pruebas bioquímicas



Nota: Lectura de las pruebas bioquímicas, en este caso se ve presencia de azucares y gases.

Figura 78:

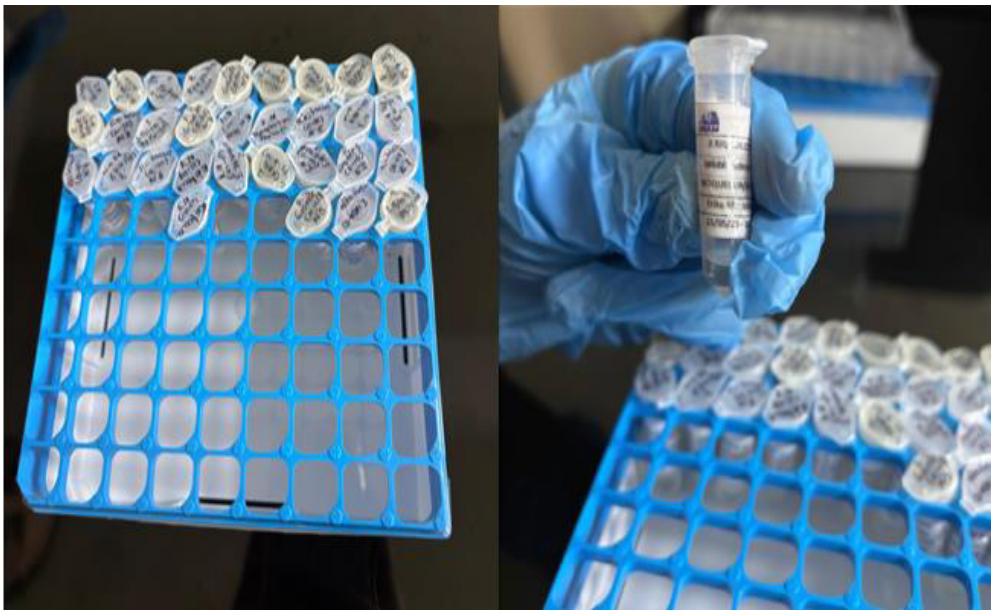
Resultados diferenciales de pruebas bioquímicas



Nota: Lectura de las pruebas bioquímicas, en este caso se ve que no hay presencia gases.

Figura 79:

Criopreservación de cepas bacterianas solubilizadores de fosfato



Nota: Criopreservación de las cepas bacterianas solubilizadores de fosfato, rotulándolas para su correcta identificación y conservación a largo plazo en el ultracongelador.

Figura 80:

Extracción de ADN de bacterias solubilizadores de fosfato



Nota: Extracción de ADN de las bacterias solubilizadores de fosfato para su posterior análisis molecular.

Figura 81:

Diseño de Parcela agrícola con distribución

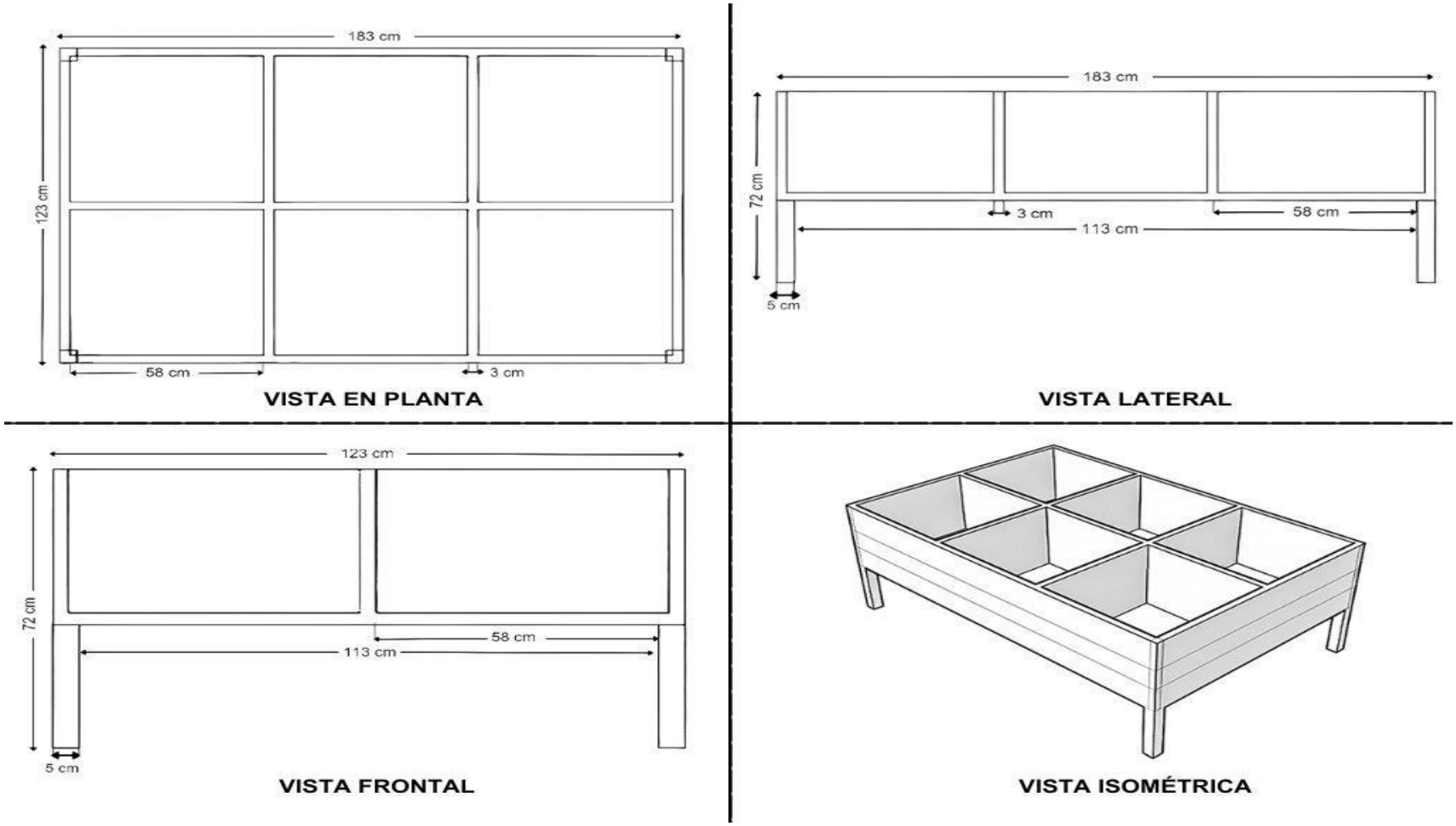


Figura 82:

Germinación y formación de brotes de R. sativus



Nota: Germinación y formación de brotes de R. sativus durante las primeras etapas del cultivo experimental.

Figura 83

Trasplante de R. sativus al sistema prototipo de cultivo



Nota: Trasplante de R. sativus al sistema Parcela agrícola con distribución, asegurando una adaptación adecuada de las plantas.

Figura 84:

Preparación de CBSF para aplicación en el cultivo de R. sativus



Nota: Mesclas de los CBSF para su aplicación en el cultivo de R. sativus.

Figura 85:

Aplicación de CBSF



Nota: Aplicación de los CBSF a los cinco tratamientos establecidos en el experimento.

Figura 86:

Riego del cultivo de R. sativus con agua osmotizada



Nota: Riesgo de las plantas con agua osmotizada para su mejor crecimiento.

Figura 87:

Evaluación de variables ambientales, del sustrato y parámetros morfológicos de R. sativus



Nota: Evaluación de las variables ambientales, del sustrato y de los parámetros morfológicos del cultivo de R. sativus.

Figura 88:

Etapa final de desarrollo del cultivo de R. sativus



Nota: Registro de la etapa final de desarrollo del cultivo de R. sativus, donde se observa la maduración y las características finales de las plantas

Figura 89:

Cosecha del cultivo de R. sativus



Nota: Cosecha del cultivo de R. sativus, recolectando todos los ejemplares maduros para su evaluación final.

Figura 90:

Registro de variables del cultivo de R. sativus



Nota: Registro de las variables morfológicas y biomásicas del cultivo de R. sativus durante la etapa de cosecha.

Figura 91

Vista general del cultivo de R. sativus correspondiente a los tratamientos experimentales T0, T1, T2, T3, T4 y T5



Nota: Vista general del cultivo de R. sativus evaluado bajo los tratamientos experimentales T0, T1, T2, T3, T4 y T5, permitiendo apreciar las diferencias en crecimiento y desarrollo vegetal entre cada tratamiento.

Figura 92:

Plantas de R. sativus seleccionadas para la comparación de variables entre los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5



Nota: Plantas de R. sativus seleccionadas corresponden a los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5, para la comparación de variables.

Figura 93:

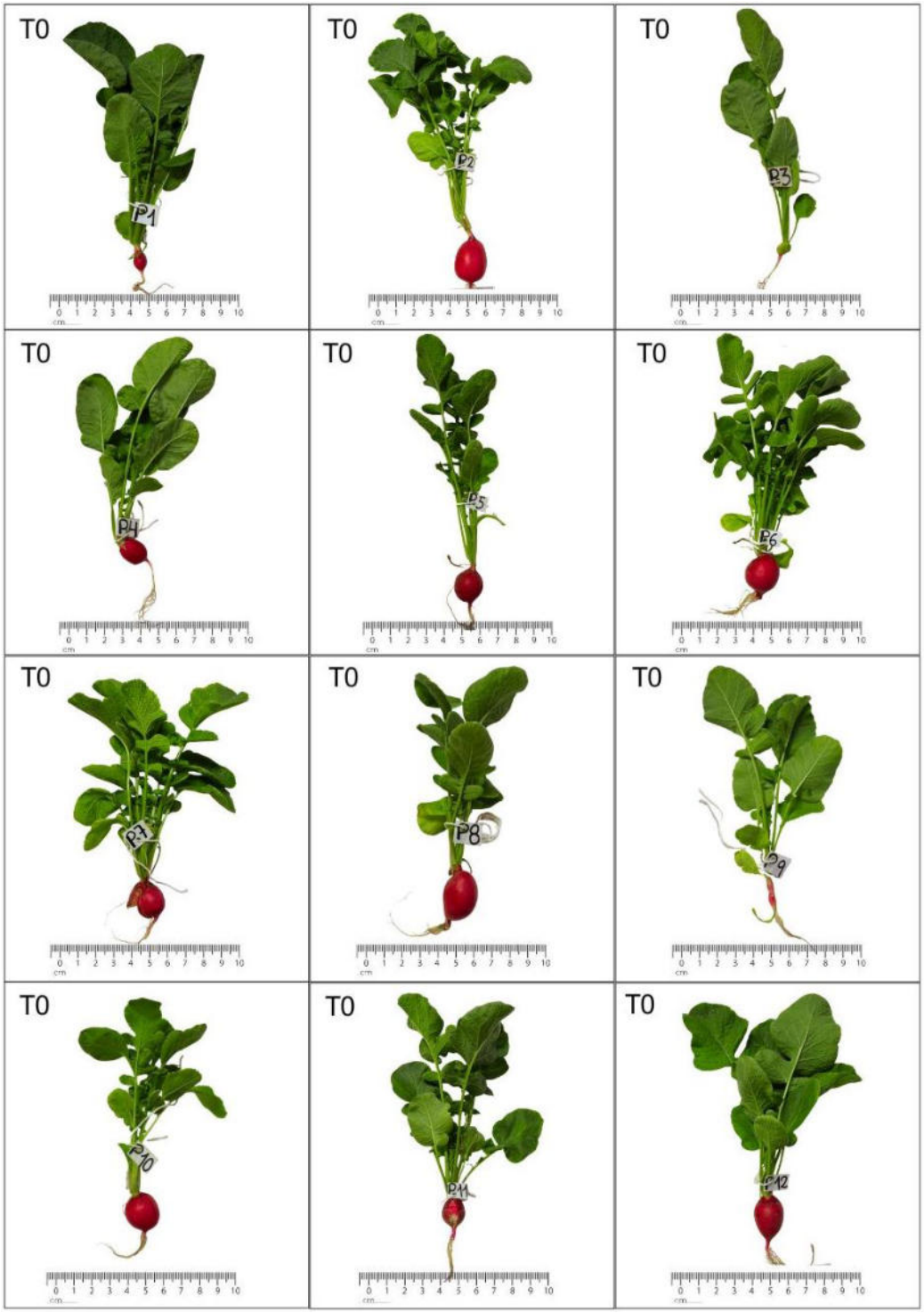
Medición del diámetro de los tubérculos de R. sativus "rábano"



Nota: Medición del diámetro del tubérculo de los tratamientos T0, T1, T2, T3, T4 y T5.

Figura 94:

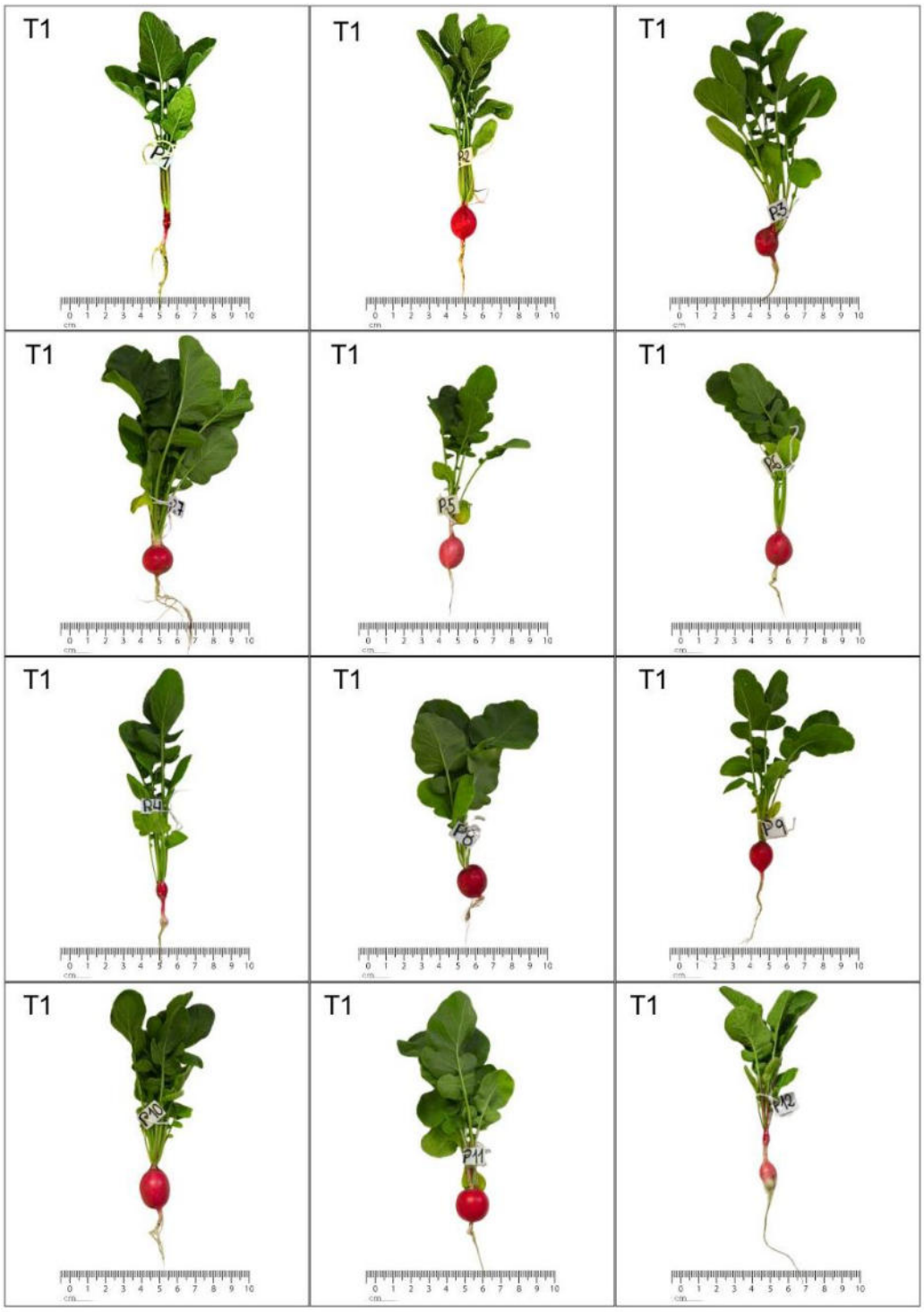
Plantas del tratamiento T0 sin aplicación de CBSF (control)



Nota: Plantas del tratamiento T0 correspondieron al control, sin aplicación de CBSF en la etapa de la cosecha.

Figura 95:

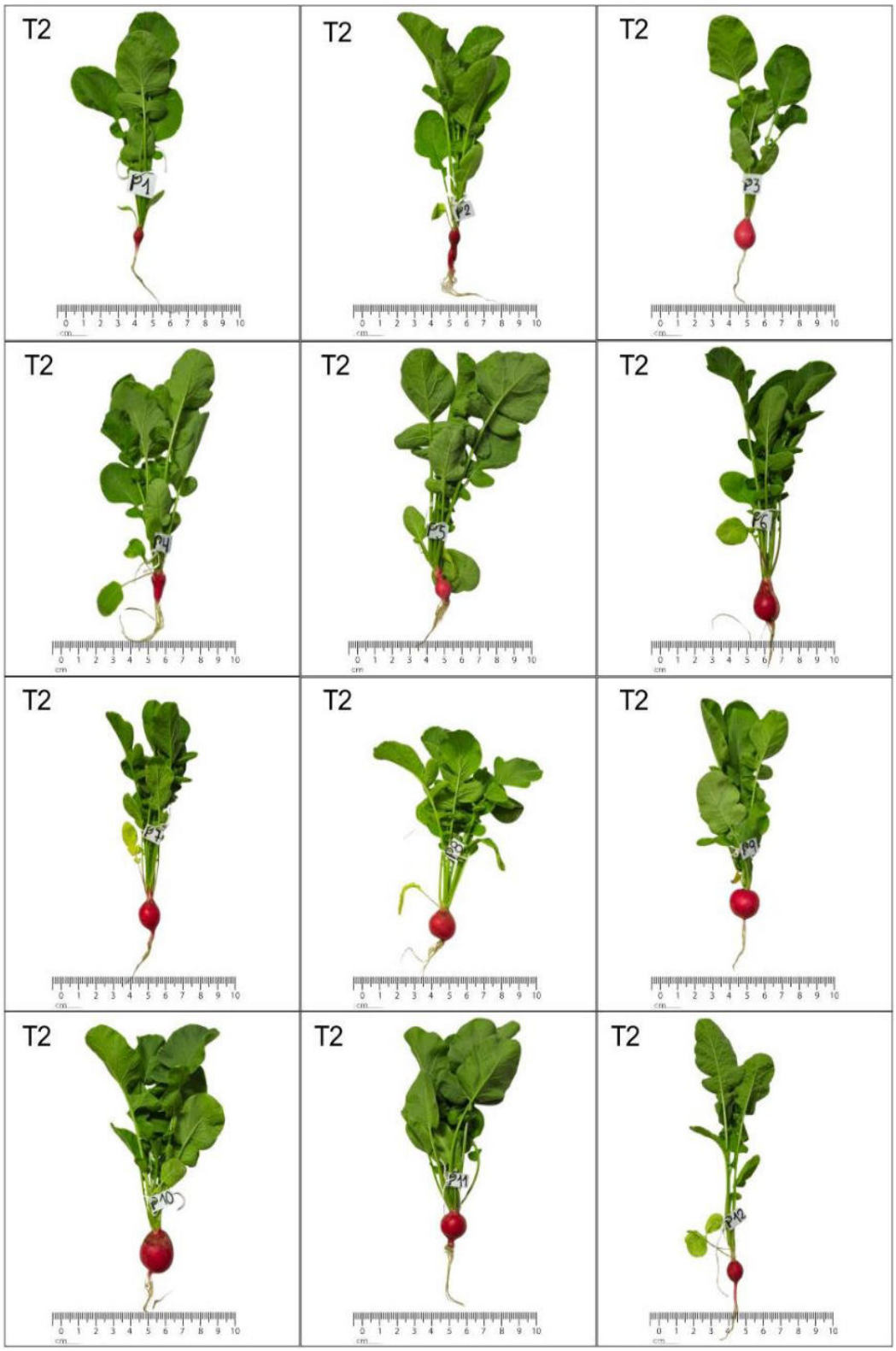
Plantas del tratamiento T1 inoculadas con CBSF



Nota: Plantas del tratamiento T1 fueron inoculadas con CBSF y evaluadas en la etapa de cosecha.

Figura 96:

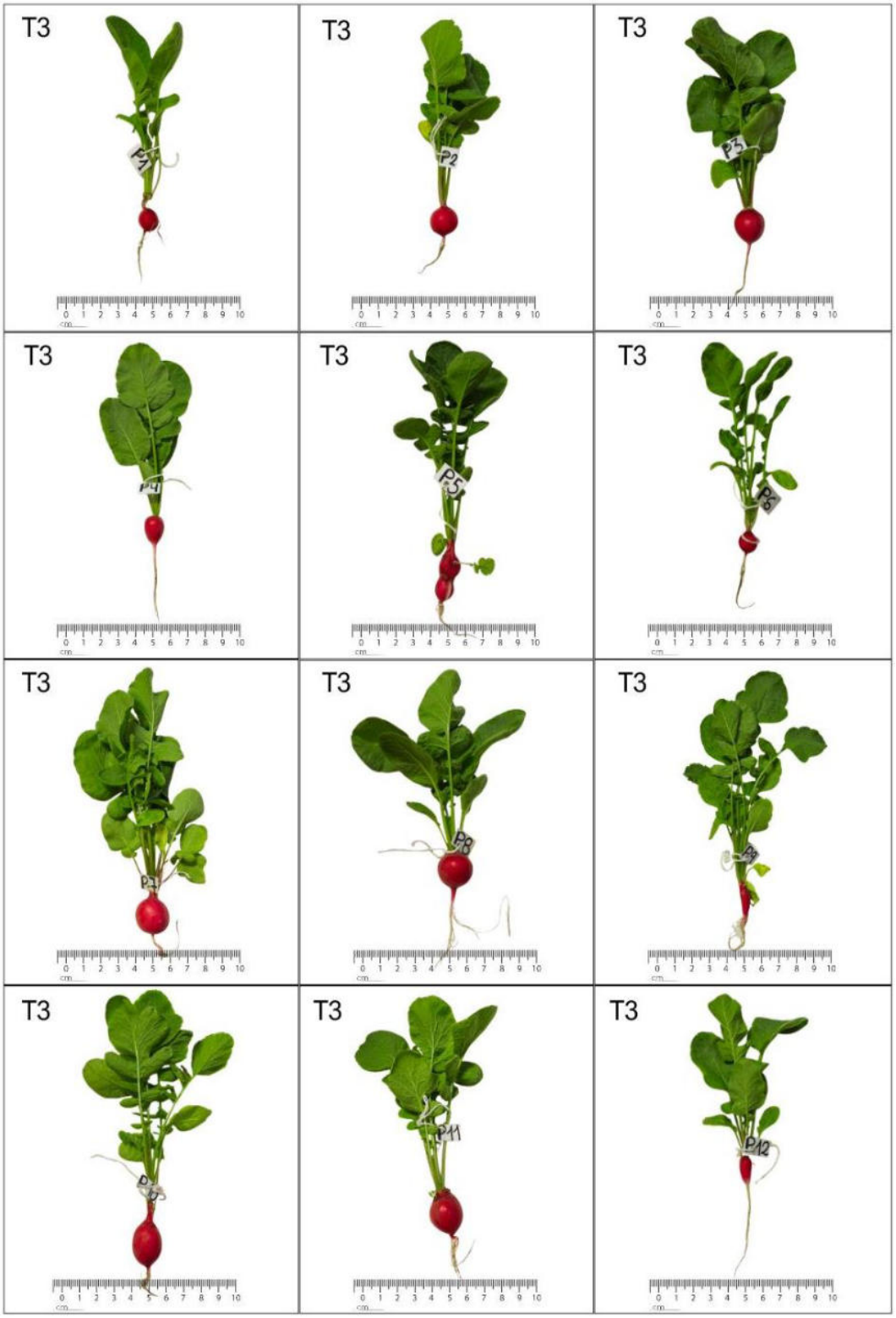
Plantas del tratamiento T2 inoculadas con CBSF



Nota: Plantas del tratamiento T2 fueron inoculadas con CBSF y evaluadas durante la etapa de cosecha.

Figura 97:

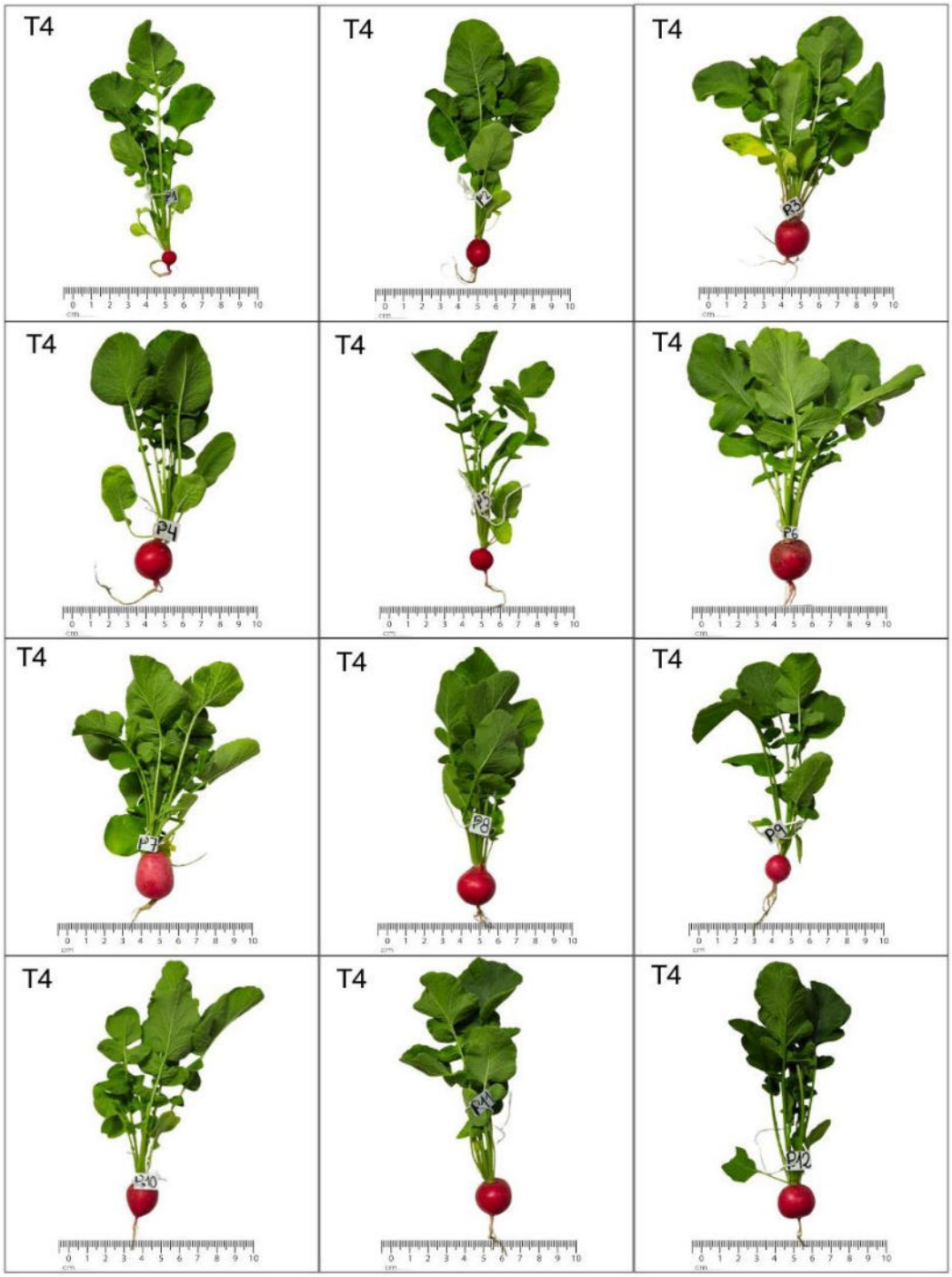
Plantas del tratamiento T3 inoculadas con CBSF



Nota: Plantas del tratamiento T3 fueron inoculadas con CBSF y evaluadas en la etapa de cosecha.

Figura 98:

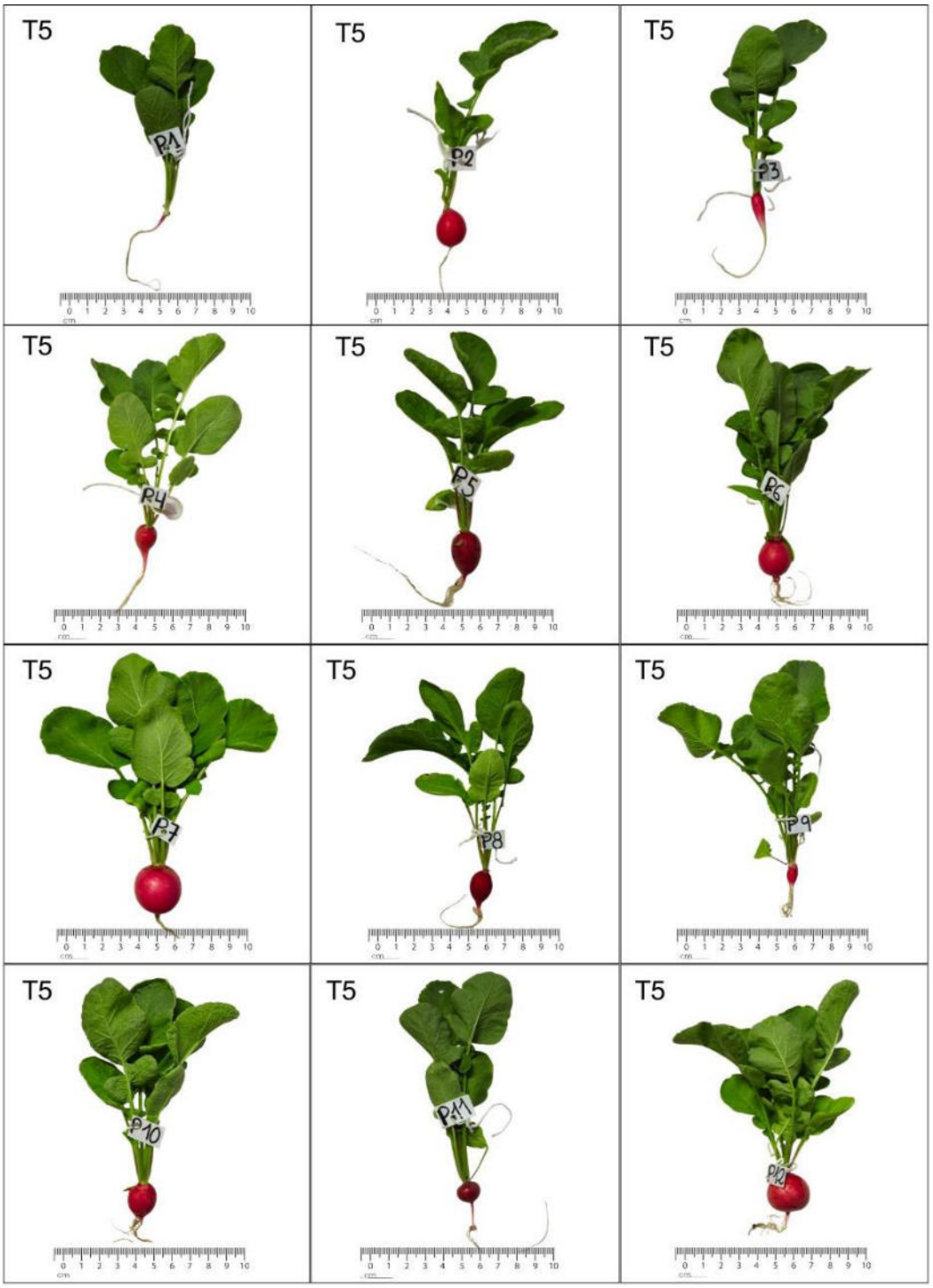
Plantas del tratamiento T4 inoculadas con CBSF



Nota: Plantas del tratamiento T4 fueron inoculadas con CBSF y evaluadas en la etapa de cosecha.

Figura 99:

Plantas del tratamiento T5 inoculadas con CBSF



Nota: Plantas del tratamiento T5 fueron inoculadas con CBSF y evaluadas en la etapa de cosecha.

.

ANEXO II: BASE DE DATOS

Tabla 16:

Identificación bioquímica de cepas bacterianas aisladas Brasil

N°	Código	Cepa	Autores
1	CH 8M 4VN - (0-10)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
2	MA 10M 3B1 - (10-30)	*Pseudomonas putida*	(Trevisan Migula, 1895)
3	MA 10M 2B2 - (0-10)	*Bacillus cereus*	(Frankland & Frankland, 1887)
4	MA 10M 8B2 - (0-10)	*Burkholderia cepacia*	(Palleroni & Holmes Yabuuchi et al., 1993)
5	PR 12M 2VN - (0-10)	*Pseudomonas fluorescens*	(Flügge Migula, 1895)
6	CH 8M 6SOSA - (10-30)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
7	MA 10M 6B5 - (10-30)	*Bacillus cereus*	(Frankland & Frankland, 1887)
8	MT 12M 2R6 - (0-10)	*Bacillus megaterium*	(De Bary, 1884)
9	MA 10M 4B5 - (10-30)	*Burkholderia cepacia*	(Palleroni & Holmes Yabuuchi et al., 1993)
10	MT 12M 5R4 - (10-30)	*Bacillus licheniformis*	(Weigmann Chester, 1901)
11	AQ 8M 5VN - (0-10)	*Enterobacter cloacae*	(Jordan Hormaeche & Edwards, 1960)
12	MT 12M 2R3 - (0-10)	*Bacillus pumilu*	(Meyer & Gottheil, 1901)
13	MT 12M 3R6 - (10-30)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
14	MA 10M 4B2 - (10-30)	*Pseudomonas putida*	(Trevisan Migula, 1895)

Tabla 17:

Identificaciones bioquímicas de cepas bacterianas aisladas Perú

N°	Código	Cepa	Autores
1	2 L. BINA 3 (0-10)	*Bacillus cereus*	(Frankland & Frankland, 1887)
2	5 T. POZO (10-30)	*Enterobacter cloacae*	(Jordan, 1890)
3	2 C. ALFALFA (0-10)	*Pseudomonas fluorescens*	(Flügge, 1886 & Migula, 1895)
4	4 T. POZO (10-30)	*Klebsiella pneumoniae*	(Schroeter, 1886 & Trevisan, 1887)
5	4 C. UVA (0-10)	*Pseudomonas putida*	(Trevisan Migula, 1895)
6	1 C. ALFALFA (0-10)	*Pseudomonas aeruginosa*	(Schroeter, 1872 & Migula, 1900)
7	5 YUNGUYO (0-10)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
8	1 P. GRANDE (0-10)	*Pseudomonas fluorescens*	(Flügge, 1886 & Migula, 1895)
9	1 T. POZO (10-30)	*Pseudomonas aeruginosa*	(Schroeter, 1872 & Migula, 1900)
10	3 JAYLLYHUAYA (0-10)	*Enterobacter cloacae*	(Jordan, 1890)
11	8 C. UVA (0-10)	*Bacillus licheniformis*	(Weigmann Chester, 1901)
12	7 ALFALFA (0-10)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
13	2 RÍO PATARA (0-10)	*Bacillus megaterium*	(De Bary, 1884)
14	8 V.T PARCERLA 1(0-10)	*Bacillus cereus*	(Frankland & Frankland, 1887)
15	2 YUNGUYO (0-10)	*Burkholderia sp.*	(Yabuuchi et al., 1992)
16	7 YUNGUYO (0-10)	*Pseudomonas fluorescens*	(Flügge, 1886 & Migula, 1895)
17	4 P. GRANDE (0-10)	*Bacillus subtilis*	(Ehrenberg Cohn, 1872)
18	4 YUNGUYO (0-10)	*Bacillus cereus*|	(Frankland & Frankland, 1887)
19	5 PUNTA COLES (0-10)	*Bacillus pumilus*	(Meyer & Gottheil, 1901)

Tabla 18:

Conformación de consorcios (Mix) de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Perú y Brasil

N°	Consorcios (Mix)	Código de cepas bacterianas	País	Identificación bacteriana
1	Mix 1	MA 10 M 3B1 (10-30)	Brasil	*Pseudomonas putida*
2		3 JAYLLIHUAYA (0-10)	Perú	*Enterobacter cloacae*
3		5 T. POZO (10-30)	Perú	*Enterobacter cloacae*
4		CH 8M 4VN (0-10)	Brasil	*Bacillus subtilis*
5		8 C. UVA (0-10)	Perú	*Bacillus licheniformis*
6	Mix 2	MT 12M 5R4 (10-30)	Brasil	*Bacillus licheniformis*
7		PR 12M 2 VN (0-10)	Brasil	*Pseudomonas fluorescens*
8		7 YUNGUYO (0-10)	Perú	*Pseudomonas fluorescens*
9		4 P. GRANDE (0-10)	Perú	*Bacillus subtilis*
10		7 ALFALFA (0-10)	Perú	*Pseudomonas fluorescens*
11	Mix 3	4 YUNGUYO (0-10)	Perú	*Bacillus cereus*
12		2 RÍO PATARA (0-10)	Perú	*Bacillus megaterium*
13		4 C. UVA (0-10)	Perú	*Pseudomonas putida*
14		MT 12M 2R3 (0-10)	Brasil	*Bacillus pumilu*
15		2 C. ALFALFA (0-10)	Perú	*Pseudomonas fluorescens*
16	Mix 4	MA 10M 4B2 (10-30)	Brasil	*Pseudomonas putida*
17		8 V.T PARCELA 1(0-10)	Brasil	*Bacillus cereus*
18		4 T. POZO (10-30)	Perú	*Klebsiella pneumoniae*
19		5 YUNGUYO (0-10)	Perú	*Bacillus subtilis*
20		2 YUNGUYO (0-10)	Perú	*Burkholderia sp.*
21	Mix 5	CH 8M 6SOSA (10-30)	Brasil	*Bacillus subtilis*
22		5 PUNTA COLES (0-10)	Perú	*Bacillus pumilus*
23		MT 12M 5R4 (10-30)	Brasil	*Bacillus licheniformis*
24		MT 12M 2R3 (0-10)	Brasil	*Bacillus pumilu*
25		5 YUNGUYO (0-10)	Perú	*Bacillus subtilis*

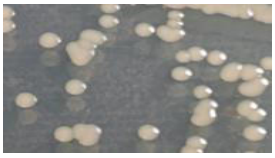
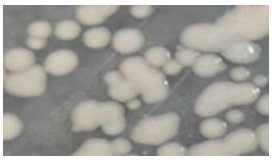
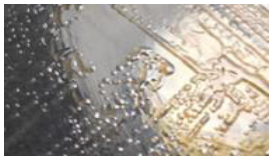
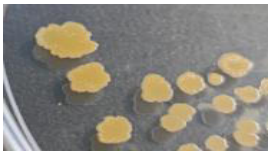
Tabla 19: *Base de datos de la caracterización macroscópica, microscópica y bioquímica de las bacterias solubilizadores de fosfato*

BACTERIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO

			CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS				HALOS			PRUEBAS BIOQUIMICAS									ADN
										TSI			MIO			CITRATO	MRVP		
N°	PAIS	LUGAR DE LA MUESTRA	CODIFICACION	TIPO DE ECOSISTEMA	PROFUNDIDAD (cm)	TIPO DE BACTERIA	TINCIÓN GRAM (+/-)	MEDIDAS DE LOS HALOS (cm)	CATALASA	OXIDASA	KIA	Gases	H_2S	MOTILIDAD	INDOL	ORNITINA		RM	VP	IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS
1	BRASIL	CH	CH 8M 4VN	V. Natural	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**2.5**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	*	-	-	-	*	-	*Bacillus subtilis*
2	BRASIL	MA	MA 10M 3B1	B1(cultivo de soja)	(10-30)	*Bacillus*	(-)	**3**	Positivo	Positivo	K/A	G-	-	-	*	*	*	-	-	*Pseudomonas putida*
3	BRASIL	MA	MA 10M 2B2	B2(cultivo de maíz)	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**2**	Positivo	Negativo	K/A	G-	-	*	*	-	-	*	*	*Bacillus cereus*
4	BRASIL	MA	MA 10M 8B2	B2(cultivo de maíz)	(0-10)	*Bacillus*	(-)	**2**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	*	*	*	*	-	-	*Burkholderia cepacia*
5	BRASIL	PARANÁ	PR 12M 2VN	V. Natural	(0-10)	*Bacillus*	(-)	**2.5**	Positivo	Positivo	K/A	G-	-	-	-	*	*	-	-	*Pseudomonas fluorescens*
6	BRASIL	CH	CH 8M 6SOSA	Soja	(10-30)	*Bacillus*	(+)	**2.5**	Positivo	Negativo	A/A	G-	-	-	*	*	*	-	-	*Bacillus subtilis*
7	BRASIL	MA	MA 10M 6B5	B5(Cultivo de maíz/U. ruziziensis)	(10-30)	*Cocos*	(+)	**2**	Positivo	Negativo	A/A	G+++	-	*	*	*	*	*	-	*Bacillus cereus*
8	BRASIL	MT	MT 12M 2R6	R6(Cultivo de soja (rotación de algodón)	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**2.3**	Negativo	Positivo	K/A	G-	-	-	-	*	*	-	-	*Bacillus megaterium*
9	BRASIL	MA	MA 10M 4B5	B5(Cultivo de maíz/U. ruziziensis)	(10-30)	*Bacillus*	(-)	**2**	Positivo	Negativo	K/A	G-	-	*	*	-	-	*	-	*Burkholderia cepacia*
10	BRASIL	MT	MT 12M 5R4	R4(Cultivo de soja (rotación de algodón)	(10-30)	*Bacillus*	(+)	**3**	Positivo	Positivo	K/A	G-	-	-	-	*	*	-	-	*Bacillus licheniformis*
11	BRASIL	AQ	AQ 8M 5VN	V. Natural	(0-10)	*Cocos*	(-)	**1.5**	Positivo	Negativo	A/A	G++	-	*	-	*	*	-	*	*Enterobacter cloacae*
12	BRASIL	MT	MT 12M 2R3	R3(Cultivo de soja (rotación de algodón)	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**3**	Positivo	Negativo	A/A	G-	-	*	*	*	-	*	*	*Bacillus pumilu*
13	BRASIL	MT	MT 12M 3R6	R6(Cultivo de soja (rotación de algodón)	(10-30)	*Bacillus*	(+)	**2**	Positivo	Positivo	K/A	G-	-	-	-	*	*	-	-	*Bacillus subtilis*
14	BRASIL	MA	MA 10M 4B2	B2(cultivo de maíz)	(10-30)	*Cocos*	(-)	**2.5**	Positivo	Positivo	A/A	G+++	-	*	*	*	*	*	-	*Pseudomonas putida*
15	PERÚ	MOQUEGUA	2 L. BINA 3	Granular	(0-10)	*Cocos*	(+)	**2**	Positivo	Positivo	K/A	G++	-	*	*	*	*	-	*	*Bacillus cereus*
16	PERÚ	TACNA	5 T. POZO	Granular	(10-30)	*Cocos*	(-)	**3**	Positivo	Negativo	A/A	G+	-	*	*	*	*	-	*	*Enterobacter cloacae*
17	PERÚ	TACNA	2 C. ALFALFA	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(-)	**2.5**	Positivo	Negativo	K/A	G-	-	*	-	*	*	-	*	*Pseudomonas fluorescens*
18	PERÚ	TACNA	4 T. POZO	Granular	(10-30)	*Cocos*	(-)	**3.5**	Positivo	Negativo	A/A	G-	-	*	*	*	*	*	*	*Klebsiella pneumoniae*
19	PERÚ	TACNA	4 C. UVA	Agrícola	(0-10)	*Bacillus*	(-)	**3.5**	Positivo	Positivo	K/A	G++	-	*	*	*	*	-	*	*Pseudomonas putida*
20	PERÚ	TACNA	1 C. ALFALFA	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(-)	**2.3**	Positivo	Positivo	A/A	G+	-	*	*	*	*	-	*	*Pseudomonas aeruginosa*
21	PERÚ	PUNO	5 YUNGUYO	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(+)	**4**	Positivo	Negativo	A/A	G+	-	*	*	*	*	*	*	*Bacillus subtilis*
22	PERÚ	MOQUEGUA	1 P. GRANDE	Granular	(0-10)	*Cocos*	(-)	**1.5**	Positivo	Positivo	K/A	G-	-	*	*	*	*	*	*	*Pseudomonas fluorescens*
23	PERÚ	TACNA	1 T. POZO	Granular	(10-30)	*Cocos*	(-)	**2.3**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	*	*	*	*	-	-	*Pseudomonas aeruginosa*
24	PERÚ	PUNO	3 JAYLLYHUAYA	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(-)	**3.5**	Positivo	Negativo	A/A	G+	-	*	*	*	*	*	*	*Enterobacter cloacae*
25	PERÚ	TACNA	8 C. UVA	Agrícola	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**3**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	*	-	*	*	-	*	*Bacillus licheniformis*
26	PERÚ	TACNA	7 ALFALFA	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(+)	**3**	Positivo	Negativo	A/A	G-	-	*	*	*	*	-	*	*Bacillus subtilis*
27	PERÚ	MOQUEGUA	2 RIO PATARA	Aluviales	(0-10)	*Bacillus*	(+)	**2.5**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	-	*	-	-	*	*	*Bacillus megaterium*
28	PERÚ	PUNO	8 V.T PARCERLA 1	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(+)	**3.5**	Positivo	Negativo	K/A	G-	-	*	-	*	*	*	*	*Bacillus cereus*
29	PERÚ	PUNO	2 YUNGUYO	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(-)	**4**	Positivo	Negativo	K/A	G-	-	*	-	*	*	*	*	*Burkholderia sp.*
30	PERÚ	PUNO	7 YUNGUYO	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(-)	**4**	Positivo	Negativo	K/A	G+	-	*	*	*	*	-	*	*Pseudomonas fluorescens*
31	PERÚ	MOQUEGUA	4 P. GRANDE	Granular	(0-10)	*Cocos*	(+)	**3.5**	Positivo	Positivo	A/A	G-	-	*	-	*	*	-	*	*Bacillus subtilis*
32	PERÚ	PUNO	4 YUNGUYO	Agrícola	(0-10)	*Cocos*	(+)	**3.3**	Positivo	Negativo	A/A	G+	-	*	-	*	*	*	*	*Bacillus cereus*
33	PERÚ	MOQUEGUA	5 PUNTA COLES	Rocosa	(0-10)	*Cocos*	(+)	**4**	Positivo	Negativo	A/A	G-	-	*	*	*	*	*	*	*Bacillus pumilus*

Tabla 20:

Caracterización morfológica de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Brasil

MORFOLOGÍA DE LAS COLONIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFARO (BRASIL)							
N°	**IMAGEN**	**CODIGO/CM**	**FORMA**	**ELEVACIÓN**	**BORDE**	**OPACIDAD**	**COLOR**
1		CH 8M 4V.NAT (0-10)	Circular	Convexa	Entero	Opaco	Blanco
2		MA 10M 3B1 (10-30)	Circular	Pulvinada	Entero	Opaco	Beige
3		MA 10M 2B2 (0-10)	Circular	Pulvinada	Crenado	Translucida	Blanco
4		MA 10M 8B2 (0-10)	Puntiuniforme	Plana	Entero	Opaco	Perla clara
5		PR 12M 2V.NAT (0-10)	Puntiuniforme	Plana	Entero	---	Blanco
6		CH 8M 6SOSA (10-30)	Puntiuniforme	Plana	Entero	---	Amarillo
7		MT 12M 2R6 (0-10)	Circular	Elevada	Entero	Biscoso opaco	Crema
8		MT 12M 5R4 - (10-30)	Amiboide	Elevada	Ondulado	---	Amarillo
9		MA 10M 4B5 - (10-30)	Fusiforme	Umbonada	Entero	Opaco	Blanco opaco
10		MA 10M 4B2 (10-30)	Amiboide	Elevada	Ondulado	Opaco	Crema opaca

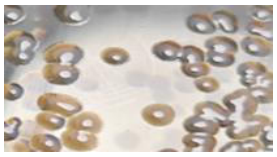
11		AQ 8M 5VN (0-10)	Rizoide	Elevada	Creando	---	Crema
12		MT 12M 2R3 (0-10)	Amiboide	Elevada	Ondulado	---	Crema
13		MT 12M 3R6 (10-30)	Fusiforme	Umbonada	Entero	Opaco	---
14		MA 10M 4B2 (10-30)	Amiboide	Elevada	Ondulado	Opaco	Crema bajo

Tabla 21:

Caracterización morfológica de bacterias solubilizadores de fosfato provenientes de Perú

MORFOLOGÍA DE LAS COLONIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFARO (PERÚ)							
N°	**IMAGEN**	**CODIGO**	**FORMA**	**ELEVACIÓN**	**BORDE**	**OPACIDAD**	**COLOR**
1		2 L. BINA 3 (0-10)	Circular	Elevada	Entero	---	Blanco
2		5 T. POZO (10-30)	Circular	Elevada	Entero	---	Beige
3		2 C. ALFALFA (0-10)	Circular	Elevada	Entero	---	Blanco
4		4T. POZO (10-30)	Circular	Elevada	Entero	---	Translucido
5		4 C.UVA (0-10)	Amiboide	Elevada	Ondulado	---	Blanco
6		1 C. ALFALFA (0-10)	Amiboide	Elevada	Rizoide	---	Blanco amarillento
7		5 YUNGUYO (0-10)	Fusiforme	Plana	Lobulado	Semitranparente	Amarillento
8		1 P. GRANDE (0-10)	Puntiuniforme	Plana	Entero	---	Amarillo
9		1 T. POZO (10-30)	Fusiforme	Elevada	Ondulado	Semitransparente	Blanco opaco

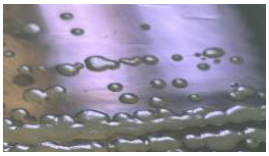
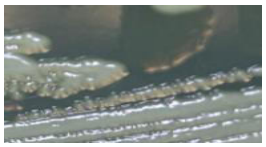
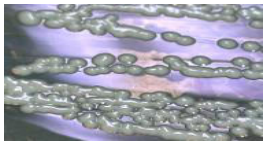
10		3 JAYLLYHUAYA (0-10)	Circular	Elevada	Entero	---	Blanco
11		8 C. UVA (0-10)	Amiboide	Elevada	Ondulado	Opaco	Plomo
12		7 ALFALFA (0-10)	Punteada	Elevada	Entero	---	Amarillo
13		2 RIO PATARA (0-10)	Punteada	Plana	Entero	Opaco	Plomo
14		8 V.T PARCERLA 1 (0-10)	Punteada	Plana	Entero	---	Beige
15		2 YUNGUYO (0-10)	Filamentosa	Elevada	Filamentosa	---	Amarillo
16		7 YUNGUYO (0-10)	Punteada	Plana	Entero	---	Beige
17		4 P. GRANDE (0-10)	Circular	Plana	Entero	---	Blanco
18		4 YUNGUYO (0-10)	Circular	Convexa	Entero	---	Crema
19		5 PUNTA COLES (0-10)	Circular	Convexa	Entero	---	Crema

Tabla 22:

Datos de Nanodrop de bacterias Gram negativo

N°	Código	Repeticiones	ng/ul	A 260/A 280	A 260/A 230
1	7 YUNGUYO (0-10)	1	3409.3	1.27	0.37
		2	919.3	1.47	0.36
2	1 P. GRANDE (0-10)	1	55.8	1.5	0.48
		2	90.7	1.41	0.47
3	3 JAYLLYHUAYA (0-10)	1	613	1.58	0.47
		2	363.2	1.54	0.54
4	1 T. POZO (10-30)	1	16.7	1.8	0.36
		2	9.8	2.04	0.4
5	5 T. POZO (10-30)	1	94.4	1.96	1.18
		2	63.3	1.98	1.21
6	2 YUNGUYO (0-10)	1	338.6	1.81	1.01
		2	440.6	1.76	0.87
7	2 C. ALFALFA (0-10)	1	141.2	1.55	0.58
		2	82.6	1.72	0.59
8	1 C. ALFALFA (0-10)	1	159.5	1.68	0.76
		2	109.8	1.71	0.81
9	4 T. POZO (10-30)	1	220.2	1.75	0.73
		2	4224	1.42	0.37
10	4 C. UVA (0-10)	1	550.1	1.81	1.13
		2	34.1	1.93	0.59
11	MA 10M 4B5 (10-30)	1	485.5	1.66	0.83
		2	64.4	1.97	1.09
12	MA 10M 8B2 (0-10)	1	435.5	1.95	1.82
		2	338.5	1.94	1.73
13	MA 10M 3B1 (10-30)	1	89.9	1.56	0.48
		2	42.7	1.53	0.37
14	AQ 8M 5VN (0-10)	1	1.8	2.31	0.06
		2	1.7	3.3	0.05
15	MA 10M 4B2 (10-30)	1	6.8	1.98	0.19
		2	552.5	1.55	0.57
16	PR 12M 2VN (0-10)	1	59.4	1.85	0.88
		2	38.1	1.91	0.76

Tabla 23:

Datos de Nanodrop de bacterias Gram positivo

N°	Nombre	Repeticiones	ng/ul	A 260/A 280	A 260/A 230
	2 L. BINA 3	1	46.8	1.92	0.78
1	(0-10)	2	85.8	1.91	1.1
	7 ALFALFA	1	109	1.92	1.33
2	(0-10)	2	90	1.94	1.26
	5 YUNGUYO	1	1770.4	1.48	0.31
3	(0-10)	2	1767.3	1.48	0.31
	8 C. UVA	1	247.1	1.96	0.74
4	(0-10)	2	262.6	1.96	0.75
	5 PUNTA	1	857	1.87	1.22
5	COLES (0-10)	2	426.1	1.88	0.96
	4 YUNGUYO	1	271.9	1.93	1.61
6	(0-10)	2	271.3	1.93	1.61
	4 P. GRANDE	1	883.2	1.92	2.05
7	(0-10)	2	758.7	1.93	2.02
	8 V.T	1	142.1	1.92	1.45
8	PARCERLA 1 (0-10)	2	139.8	1.92	1.43
	2 RIO PATARA	1	490.3	1.93	1.71
9	(0-10)	2	448.6	1.93	1.7
	CH 8M 4VN	1	43.1	2.15	0.74
10	(0-10)	2	39.7	1.14	0.7
	MT 12M 5R4	1	621.1	1.96	1.9
11	(10-30)	2	614.4	1.96	1.9
	MT 12M 2R3	1	135.4	1.92	1.17
12	(0-10)	2	150.6	1.82	1.09
	MT 12M 3R6	1	310.8	1.85	0.76
13	(10-30)	2	329.4	1.84	0.78
	MA 10M 6B5	1	597	1.68	0.25
14	(10-30)	2	637.2	1.63	0.24
	MT 12M 2R6	1	464.6	1.99	0.93
15	(0-10)	2	462.6	1.91	0.94
	CH 8M 6SOSA	1	1108.6	1.95	2.06
16	(10-30)	2	963.6	1.95	2.06
	MA 10M 2B2	1	103.3	2.09	0.9
17	(0-10)	2	106.6	2.07	0.89

Tabla 24:

Registro del crecimiento de bacterias solubilizadores de fosfato de Brasil durante 10 días

BACTERIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO EN PLACAS DE *PIKOVSKAYA* - MUESTRAS DE BRASIL											
N° de Bacterias	**Código de Bacteria**	**Tamaño de halos (cm) – Días**									
		Dia 1	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**
1	CH 8M 4VN - (0-10)					1	1.5	2	2	2	2.5
2	MA 10M 3B1 - (10-30)					1.5	1.5	2	2	2.5	3
3	MA 10M 2B2 - (0-10)					1.5	1.5	2	2	2	2
4	MA 10M 8B2 - (0-10)					1.5	1.5	2	2	2	2
5	PR 12M 2VN - (0-10)					1.3	1.7	2.2	2.2	2.5	2.5
6	CH 8M 6SOSA - (10-30)					1	1.5	2.3	2.3	2.3	2.5
7	MA 10M 6B5 - (10-30)			1	1	1.3	1.5	1.7	2	2	2
8	MT 12M 2R6 - (0-10)					1.5	2	2	2.3	2.3	2.3
9	MA 10M 4B5 - (10-30)					1.5	1.5	1.5	2	2	2
10	MT 12M 5R4 - (10-30)	2.1	2.1	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3
11	AQ 8M 5VN - (0-10)					1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
12	MT 12M 2R3 - (0-10)	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7	2.7	3	3
13	MT 12M 3R6 - (10-30)					1	1	1.5	1.5	2	2
14	MA 10M 4B2 - (10-30)	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

Tabla 25:

Registro del crecimiento de bacterias solubilizadores de fosfato de Perú durante 10 días

BACTERIAS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO EN PLACAS DE PIKOVSKAYA - MUESTRAS DE PERÚ											
N° de Bacterias	**Código de Bacteria**	**Tamaño de halos (cm) – Días**									
		Dia 1	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**
1	2 L. BINA 3 (0-10)		1	1	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2
2	5 T. POZO (10-30)	2	2	2.3	2.5	2.5	2.5	2.3	3	3.5	3.5
3	2 C. ALFALFA (0-10)					2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.3
4	4 T. POZO (10-30)	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
5	4 C. UVA (0-10)	3	3	3	3.3	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
6	1 C. ALFALFA (0-10)	2	2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
7	5 YUNGUYO (0-10)	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
8	1 P. GRANDE (0-10)					1	1	1	1.5	1.5	1.5
9	1 T. POZO (10-30)		2	2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
10	3 JAYLLYHUAYA (0-10)	2	2	2.7	3	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
11	8 C. UVA (0-10)					2.5	2.5	3	3	3	3
12	7 ALFALFA (0-10)	2	2.5	2.5	3	3	3	3	3.5	3.5	3..5
13	2 RIO PATARA (0-10)	2	2.3	2.5	2.5	2.5	2.8	2.8	2.8	3	3
14	8 V.T PARCERLA 1 (0-10)	2	2	2.5	2.5	3	3	3	3.5	3.5	3.5
15	2 YUNGUYO (0-10)	2	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	4	4
16	7 YUNGUYO (0-10)	2	2.5	3	3.5	3.5	3.5	4	4	4	4
17	4 P. GRANDE (0-10)	2	2	2.5	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
18	4 YUNGUYO (0-10)	2	2.5	3	3	3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
19	5 PUNTA COLES (0-10)	1.5	2	2.7	3	3	3	4	4	4	4

Tabla 26:

Registro de la altura de las plantas y la temperatura ambiente en el cultivo de Raphanus sativus

REGISTRO DE ALTURA Y TEMPERATURA																							
TRATAMIENTO 1	**PLATA**	**Tamaño (cm)-Dias**																					
		08/08/25	**11/08/25**	**12/08/25**	**13/08/25**	**15/08/25**	**18/08/25**	**20/08/25**	**22/08/25**	**24/08/25**	**26/08/25**	**28/08/25**	**30/08/25**	**02/09/25**	**05/09/25**	**08/09/25**	**10/09/25**	**14/09/25**	**16/09/25**	**18/09/25**	**21/09/25**	**23/09/25**	**25/09/25**
		T° 26° /26°	**T° 26°/37°**	**T° 29° /38°**	**T° 26° /32°**	**T° 26° /26°**	**T° 26° /25°**	**T° 26° /25°**	**T° 19° /20°**	**T° 26° /32°**	**T° 26° /40°**	**T° 26° /36°**	**T° 26° /22°**	**T° 26° /25°**	**T° 26° /36°**	**T° 37° /40°**	**T° 36° /38°**	**T° 28° /40°**	**T° 26° /28°**	**T° 26° /39°**	**T° 24° /41°**	**T° 26° /38°**	**T° 22° /32°**
		Dia 1	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T1	P1	5.5	5	5	6	6	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8	8.5	10	11	13.8	17	17.5	19.5	21	21.5	22.5	24	24.5
T1	P2	7	8	8	8	9.5	9.5	9.5	10	10	10	10	10	12.5	15	18	18	20	21	21.5	23	24	24
T1	P3	6.5	7.5	8	8	9	9	9	9	9	9	9.2	9.5	11.3	13	18.5	19.5	21	22	23.5	26	24.5	29
T1	P4	6	6	8	8	8	8.5	8.5	9	9	9	9	9	10	12.3	14	14.5	15.5	18	21	25.5	26.5	27.5
T1	P5	5	5	6	6	7	7	7.5	8	8	8	10	10	11.5	12	12	12.5	12.5	13.5	14	15	16.5	16.8
T1	P6	7	6	7	8	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	10.5	12	12	12.3	14	14.5	15	17	19.5	22
T1	P7	5	7	7.5	7.5	8	8	8	8	8	8.2	9	10.5	10.5	13.5	15	15.5	18	19.5	23	25	26	28
T1	P8	2.5	3	3	4	4	6	6	6	6	6	7	8	8.5	11.5	12.5	12.5	14.5	14.5	17	19	20	21.5
T1	P9	6	6	6	6	7.5	8	8	8	8	8	8	8	9.5	11	11	12	13.5	15.5	16.5	18	20	20
T1	P10	8	7	7	7	8	9	9	9	9	9	9	9.3	9.7	13	14.5	15	18	19.5	19.5	19.5	20	20
T1	P11	6.5	6	7	7	8.5	9	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	11.5	11.7	14	15.5	15.8	15.8	18	19	20	21.5	21.5
T1	P12	8.5	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10	11.5	12	12	14.5	17	19	19.5	19.5
TRATAMIENTO 2	**PLANTA**	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T2	P1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	6	7	8	9	12.5	13.3	16	17	19	23
T2	P2	8	4	4	4	4.5	5	5	5	5	5	5	7.5	8	9	11	12.5	13.5	14	16	20.5	23.5	26
T2	P3	6	5	6.5	7.5	5.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	7	7	7	6.5	8.5	10	10	12	15.5	18	19	21.5
T2	P4	6.5	3.5	3	3.5	3.5	4.7	4.7	4.7	5	5	4	5	5.5	7	9	11	13.5	15.5	18	20	22.8	26.5
T2	P5	4.5	4.5	6	7	7	8	8	8	8	8	7.5	8	10	10	12	13.5	15.5	17	20.5	23.5	27	29.5
T2	P6	5	5	6	7	7.5	8	8	8	9	9	10	12	15.5	18	18	18.5	20.5	21	24	26	26.2	29
T2	P7	9	8	9	10.5	11	12	12	12	12	12	10.5	12	14.5	15.5	15.5	17.5	20	22	24	25	25.5	26.5
T2	P8	6	5	7	6	8	9	9	10	11	11	12	13.5	14.7	18.5	21	22	22	23	24	24	25.8	27
T2	P9	2.5	4	5	6	7.5	8.5	9.2	9.2	9.7	9.7	9	10.5	12	13	14.5	15.5	17	19	22	23	23.8	23.2
T2	P10	4	7	10	11	9.5	11.5	12.3	12.3	12.5	12.5	12	13.5	15	16.5	19	19.5	20	22	23	24	26	30
T2	P11	4.5	7	7.5	7.5	8	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	10.5	11	13.5	15	16.5	19.5	19.5	23.5	24.5	25.5	27	30
T2	P12	2.5	7	8	9	10	10.6	11	11	11	11	10	11	11.5	14	18	20	21.5	22.5	23	29	32	33
TRATAMIENTO 3	**PLANTA**	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T3	P1	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2.5	2.5	3.5	4.5	7	8.7	10	10.5	10.5	14	16	17	18.9	19.5
T3	P2	7.5	3	3	3	3	4.5	4.5	5	5	5	6.5	7	8.5	9	11.5	12	14	14.5	17	17.5	18	19
T3	P3	3.5	3.5	5	4.5	5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6	7.3	8.5	10	11.5	13	14	15	17	17	19	19
T3	P4	3	5	5.5	5	5.5	7	7	7.3	7.3	7.3	5.5	7	8	8.5	12	13.5	13.5	13.5	16	18	18.5	22
T3	P5	4.5	3	4	3	4	5	5.2	5.2	5.2	5.2	5.5	8	9	10	11.5	13	14.5	17	17	20	20	21.5
T3	P6	1	1	1	2	1	1.6	2	2	2	2	3	4	5.5	5.5	6	6.5	7	7.5	11	13	15.5	16
T3	P7	6	7	7.1	7.5	7.3	7.3	7	7	7	7	7	7	9	10.5	15.5	16	18	19	20.5	22	22.9	26.5
T3	P8	4.3	6	6	6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	7.8	8	8.5	11	14	14.4	14.5	16.5	17	18	20.5	21.5
T3	P9	2	2	3	3	3	4.5	4.5	5	5	5	5	6.5	8	9	10.5	11.5	11.5	16	17	22	24	26.5
T3	P10	3	6	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	8	8	8	13	17	18	19	20	21	22	24	25.5	25.5	26.5
T3	P11	3	4	5	5.5	6.5	7	7	8	8	8	9.5	11	13.5	15	15.5	16.5	18	20	22	23	23.5	23.5
T3	P12	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3.5	3.5	5.5	5	6	7.5	9	11	12.5	13.5	15	17
TRATAMIENTO 4	**PLANTA**	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T4	P1	3	4	4.5	5	5	7	7	7	7.5	7.5	8	11	12	15	17	20.5	20.5	27	27	30	33	40
T4	P2	5	5	6	6	7	8	8.5	8.5	9	9	10	15	17	17	22	23	26.5	30	34	37	38	38.5
T4	P3	6	6.5	7	8	9.5	9.5	10.5	12	13.3	13.3	17	17.3	18	19.5	20.3	22	22	24	24.5	27.5	30	30
T4	P4	3	4	4	4.5	4	6.5	7	7	7	7	10	13.5	14	16	17	20	21	24	26	28.5	29	29.5
T4	P5	5	4	5.5	6	7	7.5	7.5	7.5	8.7	8.7	10	12	14	15	18	19.5	20	22	24	25.5	25.9	26
T4	P6	9	11.5	12.5	12.5	14	16.5	17.5	17.5	17.5	17.5	20.5	23	25	26	27.5	30	30.1	32	34	35	36	37
T4	P7	6	5	6	8	8	9.5	11	11	12.5	12.5	17	19	20	20	22.5	22	23	25	26	29	29	29
T4	P8	4	4	4	4	5	5	6	7	8	8	11	12.5	15	18	20	22	26	26	27.5	31	31.5	33

T4	P9	3	2	3	3.5	4	6	6.5	6.5	7	7	9	11	13	13.5	18	20	22	23	25	27	27.2	28
T4	P10	5	3.5	6	6	6	9.5	12	13	16	16	20	20	21.5	21.5	21.8	24	24	25	26	28	30	31
T4	P11	4	4	5	5	5	7	8	8.5	8.5	8.5	10.5	12.5	13.5	14	19	20	24	26	27.5	28.5	29	29
T4	P12	3	4	4.5	4	4.5	5.3	6	6	6.5	6.5	9	11	13	16	19	20.5	24	24.5	25	26	26.5	28
TRATAMIENTO 5	**PLANTA**	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T5	P1	2	2	2	2	3	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4	4.5	6	7	7	8	9	11	12.5	14
T5	P2	3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	6	7	7.3	7.5	8	9	10	13	15	17	18
T5	P3	2	2	2	2	3.5	3.5	3.5	3.5	4	4	4	4.3	5	6	8	8.5	9	9.5	11	12	14.5	16.5
T5	P4	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	4	5.5	5.5	5.5	6	7	7.5	9.5	10.5	11.5	13	12	15	15.5	19.5
T5	P5	2	3	3	3	4	5	5	5	5	5	6	7	7.5	10	12	12.5	12.5	13	15.5	16	16	17
T5	P6	4	4	5	4	4.5	4.5	4.5	5	5	5	6.5	6	7.5	9.3	10	11.5	13	14	16	16.5	17.5	20
T5	P7	7	7	8	8	7.5	10	10	10.5	10.5	10.5	10.7	12.5	15	13	17	17.4	18.5	19	19	19.5	22.5	22.5
T5	P8	5	5	5.5	5.5	5.5	6	6	6	6.5	6.5	6.5	8.5	11	12	12	12.6	16.5	19.5	22	23	24	25
T5	P9	1	2	2	2	4	4	4	5.6	5.6	5.6	5.7	6	8.5	8	10.5	12	13.5	14	17	17.5	21	21.5
T5	P10	0.5	4	4	4.5	6	6	6	6.5	6.5	6.5	7	8.5	11	12	12	12.6	13.5	15	17.7	18.5	18.7	20
T5	P11	1	4	4.5	4.5	4.5	4.5	5	5	6	6	6.5	6.5	7	8	8.3	9.5	9.7	11	12	14.5	18	21
T5	P12	3	9	9	9	10	10	10	10.3	10.3	10.3	10.5	10.5	10.5	14	15	17.5	17.5	18	18.5	20.5	23	23
CONTROL	**PLANTA**	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 4**	**Dia 5**	**Dia 6**	**Dia 7**	**Dia 8**	**Dia 9**	**Dia 10**	**Dia 11**	**Dia 12**	**Dia 13**	**Dia 14**	**Dia 15**	**Dia 16**	**Dia 17**	**Dia 18**	**Dia 19**	**Dia 20**	**Dia 21**	**Dia 22**
T0	P1	5	5	6.5	6.5	6.5	7	7	7	7.5	7.5	7.8	9.5	11	11	12	14	15	15	18	20	24	26.5
T0	P2	9	7.5	10	10	10	11.5	12.5	13	13	13	15	20	19.5	23.5	26.5	28.5	30	30	30	31	31.5	31.5
T0	P3	3	2	2	2.5	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	5	5.5	6	7	9	10	10.5	12.5	15	17	21
T0	P4	1	1	2	2	2	4	4	5	5	5	6.5	8	9	10	11.5	12	14.5	15	17	19	21	23
T0	P5	6	8	3	9	6	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	14	17.5	19	20.5	21	22	24	27	28	30	31
T0	P6	5	5	8.5	6	9	9	9	10.5	11	11	12	15	17	18	19.5	21	21	22	21	22.5	26.5	26.5
T0	P7	7	7	6	9	8	11	12.5	12.5	12.5	12.5	13	14	15	12	13	16	17.5	17.5	21	24	24.2	25
T0	P8	7	8	8.5	9	9	9	10	10	10	10	11.5	12	13	8	9	13	14	14	16	19	20	20
T0	P9	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4.5	5	6	7	12	13	13	13	14	17	19.5	22.5
T0	P10	4	4	4.5	5	4.5	6.2	8	8	8	8	9	9	12.5	14	12.5	14	16	17	17	18	18.5	18.5
T0	P11	7	6	6	7	5	9	9.2	10	10	10	11	11.5	12	13	15	16	17	21	23	24	25	26.5
T0	P12	4	6	6	6.5	8	8	8	8	8	8	8.5	9	11	12	14	15.5	17.5	19	22	23	25	25

Tabla 27:

Registro del número de hojas de R. sativus

REGISTRO DE NUMERO DE HOJAS											
TRATAMIENTO 1	**PLANTA**	21/07/25	28/07/25	04/08/25	11/08/25	18/08/25	25/08/25	01/09/25	08/09/25	15/09/25	22/09/25
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T1	P1	3	3	3	3	4	5	5	6	7	9
T1	P2	3	4	4	4	5	5	6	6	7	9
T1	P3	4	4	4	4	4	4	6	7	8	10
T1	P4	3	3	4	4	5	5	6	7	7	10
T1	P5	3	3	3	4	4	4	5	6	6	8
T1	P6	3	3	3	4	5	5	5	6	6	7
T1	P7	3	3	4	5	5	6	6	6	8	10
T1	P8	3	3	3	3	4	4	4	5	6	7
T1	P9	4	4	4	5	6	6	6	6	8	10
T1	P10	4	4	4	5	6	6	7	7	7	10
T1	P11	4	4	4	4	5	5	5	6	7	9
T1	P12	4	4	4	4	5	5	6	7	7	9
TRATAMIENTO 2	**PLANTA**	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T2	P1	2	2	2	2	3	4	5	6	6	8
T2	P2	2	2	2	3	3	4	6	7	8	10
T2	P3	2	2	2	3	5	5	5	6	8	9
T2	P4	2	2	3	4	6	6	7	7	8	11
T2	P5	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8
T2	P6	2	3	3	4	5	6	7	7	8	8
T2	P7	3	3	4	5	5	6	7	7	8	10
T2	P8	3	4	4	6	6	7	7	7	9	10
T2	P9	3	4	4	4	4	6	6	6	7	8
T2	P10	4	4	4	5	6	6	7	7	8	8
T2	P11	4	4	4	5	6	6	7	7	8	10
T2	P12	2	2	2	3	4	4	5	6	7	9
TRATAMIENTO 3	**PLANTA**	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T3	P1	2	2	2	2	3	3	4	6	6	8
T3	P2	2	2	2	3	3	3	4	6	6	8
T3	P3	2	2	2	2	4	4	6	7	7	8
T3	P4	2	2	2	2	2	3	4	5	6	8
T3	P5	3	3	3	3	3	5	5	6	7	9
T3	P6	2	2	2	2	2	3	4	5	6	7
T3	P7	3	3	4	5	6	6	7	7	9	10
T3	P8	2	3	3	3	4	4	5	6	7	8
T3	P9	2	3	3	3	3	5	6	8	10	12
T3	P10	2	2	3	4	5	5	5	6	7	7

T3	P11	2	2	2	3	4	5	6	6	6	6
T3	P12	2	2	2	2	2	4	4	5	7	7
TRATAMIENTO 4	**PLANTA**	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T4	P1	2	2	3	4	6	6	7	7	10	12
T4	P2	2	2	2	3	5	6	7	8	10	11
T4	P3	3	3	4	6	7	7	7	8	9	11
T4	P4	2	3	3	4	6	6	7	9	10	12
T4	P5	2	2	3	4	6	6	7	8	8	8
T4	P6	3	4	4	5	7	7	7	8	10	10
T4	P7	3	4	4	5	6	6	7	8	8	10
T4	P8	2	4	4	5	5	6	7	8	8	10
T4	P9	2	3	3	4	6	6	7	8	8	10
T4	P10	3	4	4	4	5	5	7	8	9	9
T4	P11	2	2	2	3	5	6	7	8	9	9
T4	P12	2	2	2	3	4	6	7	8	8	10
TRATAMIENTO 5	**PLANTA**	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T5	P1	2	2	2	2	3	4	5	5	5	7
T5	P2	2	2	2	2	2	2	3	4	5	5
T5	P3	2	2	2	2	2	2	4	5	5	7
T5	P4	2	2	3	3	4	4	5	6	7	8
T5	P5	2	2	3	3	4	5	5	5	6	7
T5	P6	2	3	3	4	6	6	6	7	7	9
T5	P7	2	3	4	6	7	7	7	7	8	10
T5	P8	3	3	3	4	4	5	5	6	7	9
T5	P9	2	4	4	4	5	5	6	7	8	10
T5	P10	2	2	2	2	3	3	5	6	6	8
T5	P11	2	2	2	3	4	4	4	5	6	7
T5	P12	4	3	4	4	5	5	7	8	8	10
CONTROL T0	**PLANTA**	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T0	P1	3	3	3	4	4	4	5	7	7	8
T0	P2	3	3	3	4	4	5	6	6	6	8
T0	P3	2	2	2	3	4	4	5	6	7	9
T0	P4	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8
T0	P5	4	4	4	6	6	5	5	6	6	10
T0	P6	2	3	4	6	6	7	8	10	12	15
T0	P7	3	3	3	4	4	7	7	7	7	12
T0	P8	3	3	3	3	4	4	5	6	7	7
T0	P9	2	2	2	3	3	5	6	7	7	9
T0	P10	3	3	3	3	4	5	7	8	8	8
T0	P11	3	3	4	5	5	6	7	8	8	10
T0	P12	2	2	3	4	6	6	7	8	8	9

Tabla 28:

Registro final de parámetros morfológicos y biomásicos del cultivo de R. sativus

T0						
N° de plantas	**Altura total + Raiz (cm)**	**Hojas (N°)**	**Diámetro del tubérculo (cm)**	**Longitud de la raíz (cm)**	**Peso fresco del tubérculo (g)**	**Peso seco del tubérculo (g)**
1	41	9	1.52	8	27.95	
2	51	8	4.37	8	87.28	5.02g
3	34	8	0.4	4	8.55	
4	38	8	2.71	6	32.35	
5	48	9	3.65	9.5	50.91	
6	42	17	4.36	8	84.48	
7	41	12	3.7	8	69.54	
8	37	8	3.96	11	54.59	
9	38	10	7.4	9	13.66	
10	32	7	3.45	6.5	33.58	
11	44	10	3.1	10	56.21	
12	43	9	3.74	9.5	63.09	
T1						
N° de plantas	**Altura total + Raiz (cm)**	**Hojas (N°)**	**Diámetro del tubérculo (cm)**	**Longitud de la raíz (cm)**	**Peso fresco del tubérculo (g)**	**Peso seco del tubérculo (g)**
1	38	8	1.05	10	15.2	
2	40	9	3.2	10	34.92	
3	50	8	3.7	13.5	49.24	
4	42	9	1.47	10	19.6	
5	29	6	2.85	6	22.9	
6	38	9	3.25	10	29.7	
7	48	9	3.89	15.5	60.72	4.55g
8	32	7	3.42	5.5	36.91	
9	37	7	2.78	15.5	24.87	
10	36	11	3.33	7	41.86	
11	36	8	3.86	8	48.74	
12	42	8	2.14	13	20.05	
T2						
N° de plantas	**Altura total + Raiz (cm)**	**Hojas (N°)**	**Diámetro del tubérculo (cm)**	**Longitud de la raíz (cm)**	**Peso fresco del tubérculo (g)**	**Peso seco del tubérculo (g)**
1	39	9	1.26	12	14.65	
2	41	12	1.61	12.5	28.01	
3	38	9	2.72	10	22.66	
4	50	13	1.74	18	27.53	
5	46	12	2.25	9	38.45	
6	51	8	3.27	14	47.28	
7	45	13	3.46	12	50.05	
8	46	10	4.34	15	73.19	
9	37	9	3.95	8.5	46.22	
10	46	9	4.7	12	91.11	5.20g

11	47	12	4.1	12	78.37	
12	51	9	2.5	9	26.65	

T3

N° de plantas	Altura total (cm)	Hojas (N°)	Diámetro del tubérculo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso fresco del tubérculo (g)	Peso seco del tubérculo (g)
1	33	7	2.14	9	12.66	
2	32	7	3.32	7	31.69	
3	34	8	3.48	8.5	40.59	
4	39	7	2.56	11	27.33	
5	39	7	2.43	10	29.03	
6	29	7	1.93	7.5	11.04	
7	42	14	4.28	9	68.94	
8	45	8	3.9	16	50.56	
9	38	14	1.27	11	20.05	
10	44	8	3.65	8.5	51.48	
11	34	6	4.28	10	64.84	3.48g
12	31	8	1.37	10	12.01	

T4

N° de plantas	Altura total (cm)	Hojas (N°)	Diámetro del tubérculo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso fresco del tubérculo (g)	Peso seco del tubérculo (g)
1	53	13	2.27	10	31.81	
2	53	10	3.97	10.5	77.9	
3	50	13	4.5	14	90.93	
4	46	10	4.75	12	91.02	
5	40	10	2.36	9	20.23	
6	58	8	6.73	15	203.9	12.94g
7	43	12	5.1	7.5	135.03	
8	51	11	5.16	11	104.37	
9	41	10	3.15	8	38.24	
10	49	9	4.4	12	76.94	
11	46	9	4.31	11.5	66.52	
12	42	10	4.08	12	56.02	

T5

N° de plantas	Altura total (cm)	Hojas (N°)	Diámetro del tubérculo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso fresco del tubérculo (g)	Peso seco del tubérculo (g)
1	29	7	0.45	9	5.51	
2	29	4	2.43	5.5	14.92	
3	30	6	1.13	8	10.26	
4	35	8	2.23	10	18.77	
5	31	7	2.54	9	20.76	
6	35	10	3.23	9	40.65	
7	36	10	5	8	93.07	5.25g
8	43	7	2.68	11.5	31.92	
9	38	10	1.2	11	17.71	
10	38	6	2.78	13	34.92	
11	35	7	2.24	14	16.18	
12	39	9	4.98	9	80.39	

Tabla 29:

Componentes de varianza del LMM para la altura de plantas de rábano

Grupo	Nombre	Varianza	Desviación estándar	Correlación
planta	Intercepto	7.03	2.65	—
planta	Dia-c (pendiente)	0.023	0.152	0.59
Residuos	—	7.38	2.72	—

Nota: *La varianza del intercepto (7.03) muestra que las plantas difieren notablemente en su altura inicial, mientras que la varianza de la pendiente (0.023) indica poca variación en sus ritmos de crecimiento. La correlación positiva (0.59) sugiere que las plantas que inician más altas tienden a crecer ligeramente más rápido.*

Tabla 30:

Efecto de los tratamientos bacterianos sobre el crecimiento de rábano a lo largo de 23 días (media ± SE).

Efecto fijo	Valor Estimado	Error estándar	t valor	p-valor	Significancia.	Interpretación
(Intercepto)	13.19	0.78	16.85	<0.001	***	Altura promedio al día medio del experimento.
Tratamiento T1	−0.41	1.11	−0.37	0.710		No difiere del testigo (T0).
Tratamiento T2	0.26	1.11	0.24	0.815		No difiere del testigo.
Tratamiento T3	−2.82	1.11	−2.54	**0.013**	*	Plantas más bajas que el testigo (efecto negativo).
Tratamiento T4	3.44	1.11	3.11	**0.003**	**	Plantas significativamente más altas que el testigo.
Tratamiento T5	−3.51	1.11	−3.17	**0.002**	**	Plantas más bajas que el testigo.
Día (dia_c)	1.04	0.05	20.61	**<0.001**	***	Crecimiento significativo con el tiempo.
T1 × Día	−0.16	0.07	−2.29	**0.026**	*	T1 crece ligeramente más lento que el testigo.

Efecto fijo	Valor Estimado	Error estándar	t valor	p-valor	Significancia.	Interpretación
T2 × Día	0.03	0.07	0.37	0.710		Sin diferencia en la tasa de crecimiento.
T3 × Día	−0.10	0.07	−1.42	0.160		Crecimiento similar al testigo.
T4 × Día	0.40	0.07	5.56	**<0.001**	***	T4 crece mucho más rápido que el testigo.
T5 × Día	−0.21	0.07	−2.95	**0.004**	**	T5 crece más lentamente que el testigo.

Nota: *Interpretación de efecto fijo, T X Dia, valor estimado, error estándar y el p-valor.*

Tabla 31:

ANOVA tipo III y post hoc de Tukey de las alturas de las plantas de rábano registrados durante 23 días para los 6 tratamientos.

Efecto	Df Num	Df Den	F	p-valor	Significación
Tratamiento	5	66	10.05	3.47×10^{-7}	***
Días (centrada)	1	66	2507.10	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Tratamiento × Día	5	66	18.746	1.50×10^{-11}	***

Nota: *ANOVA tipo III y la prueba de Tukey confirmaron que los tratamientos generan diferencias significativas en la altura y el crecimiento del rábano, respaldando lo observado previamente en el modelo mixto (LMM).*

Tabla 32:

Interpretación de los resultados del T0, T1, T2, T3, T4 y T5.

Tratamiento	Media ajustada (cm)	Comparaciones significativas (p < 0.05)
T0	13.19	—
T1	12.77	—
T2	13.45	Diferente de T4 (p = 0.0581, tendencia), T5 (p = 0.0138)
T3	10.37	Diferente de T4 (p < 0.0001)
T4	16.63	Diferente de T0 (p = 0.0316), T1 (p = 0.0109), T2 (p = 0.0581), T3 (p < 0.0001), T5 (p < 0.0001)
T5	9.68	Diferente de T4 (p < 0.0001), T0 (p = 0.0268), T2 (p = 0.0138)

Nota: *Comparaciones significativas (p < 0.05) entre los tratamientos y media ajustada en (cm).*

Tabla 33:

Efecto de los CBSF sobre el crecimiento foliar de rábano a lo largo de 10 semanas (media ± SE).

Efecto	Estimante	p-valor	Interpretación
(Intercept)	5.25	<2e-16 ***	Número promedio de hojas en el testigo (T0) en la semana centrada = 0 (semana media)
tratamientoT1	-0.0167	0.956	No hay diferencia significativa entre T1 y T0 al inicio
tratamientoT2	0.0167	0.956	No hay diferencia significativa entre T2 y T0 al inicio
tratamientoT3	-0.8833	0.0048 **	T3 empieza con ~0.88 hojas menos que T0, diferencia significativa
tratamientoT4	0.5917	0.055	Tendencia a tener más hojas que T0 al inicio, marginalmente significativo
tratamientoT5	-0.7583	0.015 *	T5 empieza con ~0.76 hojas menos que T0, significativo
semana_c	0.7333	<2e-16 ***	Todas las plantas aumentan ~0.73 hojas por semana (pendiente promedio)
tratamientoT1:semana_c	-0.1737	0.005 **	La pendiente de T1 es menor que T0: crece más lento
tratamientoT2:semana_c	-0.0374	0.535	No difiere de T0 en la pendiente
tratamientoT3:semana_c	-0.0556	0.357	No difiere significativamente de T0

Efecto	Estimante	p-valor	Interpretación
tratamientoT4:semana_c	0.1489	0.015 *	Crecimiento más rápido que T0
tratamientoT5:semana_c	-0.1157	0.058	Tendencia a crecer más lento que T0 (marginal)

Nota: *Efecto de los CBSF en el creciente foliar de los rábanos, estimante el p-valor y su interpretación.*

Tabla 34:

ANOVA tipo III y post hoc de Tukey de las alturas de las plantas de rábano registrados durante 10 semanas para los 6 tratamientos.

Efecto	Df Num	Df Den	F	p-valor	Significación
Tratamiento	5	66	6.64	4.62×10^{-5}	***
Semana (centrada)	1	66	1611.01	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Tratamiento × Semana	5	66	6.81	3.55×10^{-5}	***

Nota: *Análisis de varianza de tipo III indicó efectos significativos del tratamiento ($p < 0.001$), de la semana ($p < 0.001$) y de su interacción (tratamiento * tiempo) ($p < 0.001$) sobre el número de hojas del rábano.*

Tabla 35:

Comparación significativa de T0, T1, T2, T3, T4 y T5.

Tratamiento	Media ajustada	Comparación significativa
T0	5.25	—
T1	5.23	—
T2	5.27	vs T3 (p = 0.0455)
T3	4.37	vs T4 (p = 0.0001), vs T2 (p = 0.0455)
T4	5.84	vs T3 (p = 0.0001), vs T5 (p = 0.0005)
T5	4.49	vs T4 (p = 0.0005)

Nota: *Comparación significativa de los tratamientos su media ajustada.*

III. DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CONSEJO DE FACULTAD

RESOLUCIÓN N° 014-2025-CF-FACIA-UNAM

Moquegua, 19 de junio de 2025.

VISTOS, el Informe N° 186-2025-UNAM/EPIAM/FILIAL ILO de fecha 17.06.2025, Informe N° 08-2025-MRRC-DOC.-EPIAM/UNAM/FILIAL-ILO del 16.06.2025 y, el acuerdo adoptado en Sesión Extraordinaria del Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de fecha 19 de junio de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Universidad Nacional de Moquegua, es una institución de educación universitaria con personería jurídica de derecho público interno, creada por Ley N° 28520, que tiene como misión Ser una comunidad académica que forma profesionales e investigadores que sean innovadores, competitivos, éticos y multiculturales para contribuir con el bienestar de la sociedad;

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18° prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y en el artículo 8° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de sus sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, la Ley N° 30220, Ley Universitaria, en el artículo 3 establece que, la universidad es una comunidad académica orientada a la investigación y a la docencia, que brinda una formación humanística, científica y tecnológica con una clara conciencia de nuestro país como realidad multicultural (…) en ese orden de ideas, el artículo 8 de la citada ley establece que el Estado reconoce la autonomía universitaria, la cual se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, la ley y demás normativa aplicable, y se manifiesta en los regímenes normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, que guarda concordancia con el Capítulo IV del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, la Facultad es la unidad académica de la UNAM que concreta la organización y desarrollo de las carreras que están a su cargo, la misma que conlleva al Grado Académico de Bachiller y al Título Profesional. Está integrada por docentes, estudiantes y graduados;

Que, en el artículo 33° del Estatuto Universitario en concordancia con el 68° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, el Decano es la máxima autoridad de gobierno de la Facultad, representa a la Facultad ante el Consejo Universitario y la Asamblea Universitaria conforme lo dispone la presente Ley. Es elegido por un periodo de cuatro (4) años y no hay reelección inmediata. El ejercicio del cargo de Decano es incompatible con cualquier otro cargo o función en otras universidades públicas o privadas.

Que, en virtud a ello, mediante Resolución de Consejo Universitario N° 004-2025-CU-UNAM, de fecha 03 de enero de 2025, se oficializa la elección de la Dra. Sheda Méndez Ancca, como Decana de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Resolución de Consejo Universitario N°345-2025-CU-UNAM, de fecha 20 de mayo de 2025, en su Art. 2°, establece dentro del marco de la normatividad vigente que; la Sra. Decana de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, proceda con la instalación del Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UNAM;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N.° 578-2021-UNAM, se aprueba el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, en cuyo artículo 32, referido a las atribuciones del Consejo de Facultad, se establece en su numeral 10 señala: "Aprobar las necesidades académicas, administrativas y económicas de las Escuelas";

Que, el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM del 21 de diciembre de 2021, y sus

RESOLUCIÓN N° 014-2025-CF-FACIA-UNAM

modificatorias aprobadas con Resolución de Comisión Organizadora N° 410-2022-UNAM del 10.06.2022 y la Resolución de Comisión Organizadora N° 453-2022-UNAM del 06.07.2022, establece en el Artículo 16°, que el Proyecto de Tesis es el plan de un trabajo de investigación, individual o en pares, cuya finalidad es resolver un problema objeto de estudio. Dicho documento deberá ser presentado a la Dirección de la Escuela Profesional, por los estudiantes del último año académico, egresados o bachilleres, precisa en el Artículo 19° que todo proyecto de Tesis debe tener un Asesor Principal, el cual podrá ser un docente ordinario o contratado de la Escuela Profesional o de otra Escuela Profesional de la Universidad Nacional de Moquegua. Sobre el Coasesor el Artículo 20°, indica: si la investigación tuviera carácter multidisciplinario o por la naturaleza de la investigación, el tesista podrá solicitar un Coasesor a un docente contratado de las diferentes Escuelas Profesionales de la UNAM; o un profesional externo. Respecto el Artículo 24° Composición del Jurado Dictaminador del proyecto estará integrado por tres miembros titulares y un miembro accesitario. La convocatoria se efectuará con un plazo mínimo de 48 horas a los cuatro miembros del jurado, incluyendo el miembro accesitario, quien tendrá derecho a voz, salvo cuando ocurra la inasistencia de un miembro titular donde tendrá derecho a voto; finalmente, el artículo 37° dispone: El tesista dispone de un plazo máximo de veinticuatro (24) meses para la ejecución y presentación del trabajo de Tesis, a partir de la fecha de aprobación del Proyecto En casos justificados y dependiendo de la naturaleza de la investigación, el tesista podrá solicitar una ampliación hasta por tres (3) meses adicionales. Si la ejecución y sustentación del Proyecto de Tesis no se ajusta al plazo máximo, el Proyecto será anulado automáticamente en el registro de inscripción, debiendo presentar el tesista otro proyecto;

Que, mediante Informe N° 08-2025-MRRC-DOC.-EPIAM/UNAM/FILIAL-ILO del 16 de junio de 2025, el Presidente del Jurado Dictaminador presenta el Acta de Aprobación de Proyecto de Tesis, de fecha 16.06.2025, declarándose APTO con la siguiente denominación: CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO", presentado por las tesistas Srta. ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ y Srta. JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental; en su atención, con Informe N° 186-2025-UNAM/EPIAM/FILIAL ILO del 17.06.2025, el Director de la Escuela Profesional, solicita a la Decanatura de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, la aprobación mediante acto resolutivo, y la ratificación del Asesor, y miembros del Jurado de Proyecto de Tesis, conforme se precisa en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, en Sesión Extraordinaria del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, llevada a cabo el 19 de junio de 2025, y luego del análisis y deliberación correspondiente, los miembros del Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura acuerdan, por unanimidad, aprobar Proyecto de Tesis, denominado: CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO", presentado por las tesistas Srta. ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ y Srta. JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA;

Que, de conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM del 21.12.2021 y su modificatorias aprobadas con Resolución de Comisión Organizadora N° 410-2022-UNAM del 10.06.2022 y la Resolución de Comisión Organizadora N° 453-2022-UNAM del 06.07.2022, la Resolución de Consejo Universitario N°345-2025-CU-UNAM, de fecha 20 de mayo de 2025, que dentro del marco de la normatividad vigente la Sra. Decana de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, proceda con la instalación del Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UNAM; el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 578-2021-UNAM, el Reglamento de Facultades, Escuelas y Departamentos Académicos de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 715-2021 de fecha 16 de julio del 2021 y, dando cumplimiento al Acta N° 002-2025, y el acuerdo del Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UNAM;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CONSEJO DE FACULTAD

RESOLUCIÓN N° 014-2025-CF-FACIA-UNAM

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR, el Proyecto de Tesis denominado: **CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO"**, presentado por las tesistas **Srta. ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ** y **Srta. JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA.**

ARTÍCULO SEGUNDO.- DESIGNAR como **ASESOR** del Proyecto de Tesis al **DR. HEBERT HERNAN SOTO GONZALES** y como **COASESOR al Dr. RAFAEL FELIPPE RATKE.**

ARTÍCULO TERCERO.- DESIGNAR, como Jurado Dictaminador del Proyecto de Tesis denominado. **CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO",** a los siguientes docentes:

PRESIDENTE	**: DR. MILKO RAUL RIVERA CAMPANO.**
PRIMER MIEMBRO	**: DR. MARIO RUIZ CHOQUE**
SEGUNDO MIEMBRO	**: M.Sc. PAULINO FLAVIO RIOS ZAPANA.**
ACCESITARIO	**: M.Sc. NILTON BELTRAN ROJAS BRICEÑO.**

ARTÍCULO CUARTO. – ENCARGAR, a los profesionales designados el cumplimiento de lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua; asimismo, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, adoptar las acciones académicas necesarias para el cumplimiento de la presente Resolución.

ARTÍCULO QUINTO. – ENCARGAR, a la Oficina de Tecnologías de la Información la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua

Regístrese, Comuníquese, Publíquese y Archívese.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FACULTAD INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Firmado digitalmente por MENDEZ ANCCA Sheda FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.06.2025 14:04:29 -05:00

Dra. SHEDA MENDEZ ANCCA
DECANA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FACULTAD INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Firmado digitalmente por: YANA MAMANI VICTOR FIR 02437887 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19/06/2025 08:35:08-0500

MSc. VICTOR YANA MAMANI
SECRETARIO ACADÉMICO

Distribución:

EPIAM
OTI
Interesados
Arch. (1)

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Erika Soledad Mamani Ibañez
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : DNI 73517414
Correo electrónico : erikamamaniibañez@mail.com
Teléfono/Celular : 916233403

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE Raphanus sativus "RABANO"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.08.00
c) Fecha de publicación : 18/12/2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Hebert Hernan Soto Gonzales
b) DNI/Pasaporte/Cédula : DNI 01317360
c) ORCID : 0000-0002-9936-1943

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 73517414
NOMBRES Y APELLIDOS : Erika Soledad Mamani Ibañez

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Jazmin Lucero Mejia Arteaga
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 74757032
Correo electrónico : jazmin.arteaga.1405@gmail.com
Teléfono/Celular : 938692490

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Caracterización de consorcios bacterianos solubilizadores de Fosfato con actividades promotoras en el crecimiento vegetal del cultivo de Raphanus sativus "Rábano".
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.08.01
c) Fecha de publicación : 18 de diciembre del 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Hebert Hernan Soto Gonzales
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01317360
c) ORCID : 0000-0002-9936-1943

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74757032
NOMBRES Y APELLIDOS : Jazmin Lucero Mejia Arteaga

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 73517414

NOMBRES Y APELLIDOS : Erika Soledad Hamani Ibañez

FECHA : 22 / 05 / 2026

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74757032

NOMBRES Y APELLIDOS : Jazmin Lucero Mejia Arteaga

FECHA : 26 de Marzo del 2026



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Erika Soledad Mamani Ibañez,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Ambiental
,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 73517414, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
TESIS: CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE Raphanus sativus "RÁBANO"

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 22 / 05 / 2026



Huella digital

Nombres y Apellidos: Erika Soledad Mamani Ibañez
DNI: 73517414

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Jazmin Lucero Mejia Arteaga,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingenieria Ambiental,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI N° 74757032, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
Caracterizacion de consorcios bacterianos solubilizadores de fosfato con actividades promotoras en el crecimiento vegetal del cultivo de Raphanus sativus "Rábano".

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 26 de Marzo del 2026



Huella digital

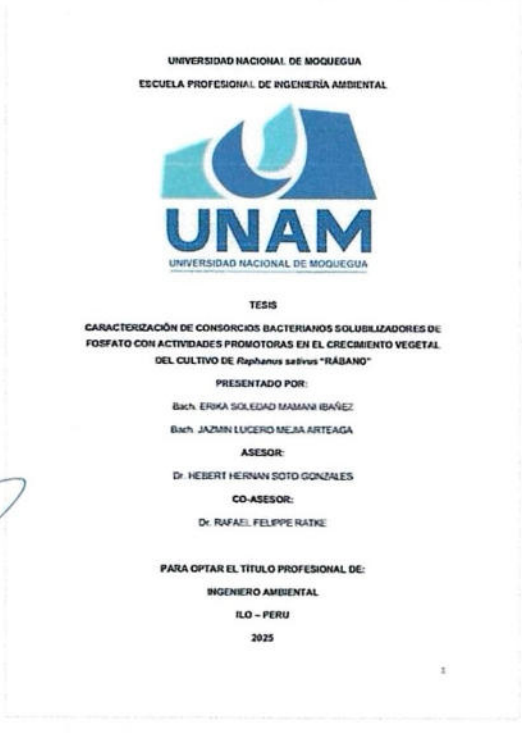
Nombres y Apellidos: Jazmin Lucero Mejia Arteaga
DNI: 74757032

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Jazmin Lucero Mejia Arteaga
Título del ejercicio:	Informe Nuevo de Tesis Jazmin
Título de la entrega:	INFORME FINAL DE TESIS JAZMIN MEJIA.docx
Nombre del archivo:	TESIS_JAZMIN_MEJIA.docx
Tamaño del archivo:	48.46M
Total páginas:	191
Total de palabras:	36,961
Total de caracteres:	195,689
Fecha de entrega:	25-mar-2026 03:38p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2913004560



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

TESIS

CARACTERIZACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO CON ACTIVIDADES PROMOTORAS EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DEL CULTIVO DE *Raphanus sativus* "RÁBANO"

PRESENTADO POR:

Bach. ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ

Bach. JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA

ASESOR:

Dr. HEBERT HERNAN SOTO GONZALES

CO-ASESOR:

Dr. RAFAEL FELIPPE RATKE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERU

2025

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales
BIOLOGO
C.B.P. 13968

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Jazmin Lucero Mejia Arteaga

INFORME FINAL DE TESIS JAZMIN MEJIA.docx

Informe Nuevo de Tesis Jazmin

INFORME DE TESIS DE ERIKA Y JAZMIN

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3517331895

Fecha de entrega
25 mar 2026, 3:37 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
25 mar 2026, 3:51 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_JAZMIN_MEJIA.docx

Tamaño del archivo
48.5 MB

191 páginas

36.961 palabras

195.689 caracteres

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales
BIOLOGO
C.B.P. 13968

15% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet

8% Publicaciones

0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales
BIOLOGO
C.B.P. 13968

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		1%
2	Internet	
vdocuments.es		<1%
3	Internet	
rid.unrn.edu.ar		<1%
4	Internet	
www.coursehero.com		<1%
5	Internet	
repositorio.unal.edu.co		<1%
6	Publicación	
Lluvia A. Chávez-Ambriz, Alejandro Hernández-Morales, José A. Cabrera-Luna, Lau...		<1%
7	Internet	
repository.usta.edu.co		<1%
8	Internet	
www.revistas.unitru.edu.pe		<1%
9	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		<1%
10	Publicación	
Comité Editorial Revista Hechos Microbiológicos. "Memorias: XXII Congreso Latin...		<1%
11	Internet	
www.stmarysmiddlebelford.northumberland.sch.uk		<1%

12	Internet	
tesisdigitales.umich.mx		<1%
13	Internet	
bdigital.unal.edu.co		<1%
14	Internet	
congresosuelo.inifap.gob.mx		<1%
15	Internet	
alaronline.org		<1%
16	Internet	
www.researchgate.net		<1%
17	Internet	
kipdf.com		<1%
18	Internet	
www.slideshare.net		<1%
19	Internet	
repositorio.utc.edu.ec		<1%
20	Internet	
colposdigital.colpos.mx:8080		<1%
21	Publicación	
Eliane Cristina Lombardi. "Qualidade microbiológica de vegetais minimamente pr...		<1%
22	Internet	
javeriana.edu.co		<1%
23	Internet	
www.repositorio.unach.mx:8080		<1%
24	Internet	
revistacta.agrosavia.co		<1%
25	Internet	
repository.javeriana.edu.co		<1%

26	Internet	
zaguan.unizar.es		<1%
27	Internet	
repositorio.unam.edu.pe		<1%
28	Internet	
repositorio.unasam.edu.pe		<1%
29	Internet	
issuu.com		<1%
30	Internet	
www.dicle.edu.tr		<1%
31	Internet	
core.ac.uk		<1%
32	Internet	
docplayer.es		<1%
33	Internet	
itzamna.bnct.ipn.mx		<1%
34	Internet	
repositorio.continental.edu.pe		<1%
35	Internet	
repositorio.ufmg.br		<1%
36	Internet	
apirepositorio.unu.edu.pe		<1%
37	Internet	
www.smcsmx.org		<1%
38	Internet	
adoc.pub		<1%
39	Internet	
cio.mx		<1%

40 Internet
www.repositorio.unam.edu.pe <1%

41 Internet
accesoabierto.uh.cu <1%

42 Internet
www.zietlow.com <1%

43 Internet
sedici.unlp.edu.ar <1%

44 Internet
www.scielo.org.co <1%

45 Internet
bibliotecadigital.exactas.uba.ar <1%

46 Internet
www.dspace.espol.edu.ec <1%

47 Internet
idus.us.es <1%

48 Internet
cdigital.uv.mx <1%

49 Internet
mathematics.foi.hr <1%

50 Publicación
Gustavo Santoyo, Gilberto de Oliveira Mendes, Ma. del Carmen Orozco-Mosqueda... <1%

51 Internet
es.scribd.com <1%

52 Internet
repositorio.uaaan.mx <1%

53 Internet
repositorio.uns.edu.pe <1%

54 Internet
www.alice.cnptia.embrapa.br <1%

55 Internet
doi.org <1%

56 Internet
gredos.usal.es <1%

57 Internet
patents.google.com <1%

58 Internet
www.scielo.org.mx <1%

59 Publicación
Secretaría Ciencia y Tecnología. "IV Reunión Argetina-Chile - X Jornadas FCA-UNR"... <1%

60 Internet
revistas.uptc.edu.co <1%

61 Publicación
Gema Cárdenas-Flores, Ana Yareli Flores-Ramírez, Juan Edgardo Cortés-Aguilera, ... <1%

62 Internet
repositorio.unc.edu.pe <1%

63 Internet
ru.dgb.unam.mx <1%

64 Publicación
Julia Marcelino Soave. "Bacillus spp. e a promoção de crescimento vegetal: um en... <1%

65 Internet
repositorio.una.ac.cr <1%

66 Internet
repositorio.upse.edu.ec <1%

67 Internet
www.seashadow.it <1%

68 Internet
datapdf.com <1%

69 Publicación
Rivaldi Pratama, Fidia Hudzaifah Akmal, Azzahra Mewa Kurnia. "A review of spray... <1%

70 Internet
es.slideshare.net <1%

71 Internet
repositorio.uaaan.mx:8080 <1%

72 Internet
repositorio.una.edu.ni <1%

73 Internet
repositorio.utn.edu.ec <1%

74 Internet
Moreno Degollado, Gustavo, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament d... <1%

75 Internet
Prat Forga, Josep Mª, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geogr... <1%

76 Internet
Rojas Contreras, Liliana. "Estudio de la incidencia de aflatoxinas, zearalenona y d... <1%

77 Internet
digibug.ugr.es <1%

78 Internet
fdocuments.mx <1%

79 Internet
repositorio.unah.edu.pe <1%

80 Internet
repositorioinstitucional.uabc.mx <1%

81 Internet
www.colibri.udelar.edu.uy <1%

82 Internet
revistas.ufps.edu.co <1%

83 Internet
roderic.uv.es <1%

84 Internet
www.nutricionhospitalaria.org <1%

85 Internet
repositorio.unsaac.edu.pe <1%

86 Internet
sired.udenar.edu.co <1%

87 Internet
www.ucla.edu.ve <1%

88 Publicación
Gelves Ibarra, Juan Sebastián | Hernández Lerma, Dora Jacqueline | Landazábal S... <1%

89 Internet
alimentacion.conahcyt.mx <1%

90 Internet
comunicaciones.utp.edu.co <1%

91 Internet
html.pdfcookie.com <1%

92 Internet
tesis.ipn.mx <1%

93 Internet
www.mdpi.com <1%

94 Internet
3fcampus.tau.edu.tr <1%

95 Internet
ciaorganico.net <1%

96 Internet
cibnor.repositorioinstitucional.mx <1%

97 Internet
eprints.uanl.mx <1%

98 Internet
repositorio.upao.edu.pe <1%

99 Internet
riull.ull.es <1%

100 Internet
repository.udistrital.edu.co <1%

101 Internet
www.techscience.com <1%

102 Publicación
Donal Efrain Merma Chacca, Ingrid Maldonado, Franz Zirena Vilca. "Environment... <1%

103 Publicación
MARTA GALLEGO IBÁÑEZ. "PÉPTIDOS GENERADOS EN JAMÓN CURADO COMO MA... <1%

104 Publicación
Meylin Huamán, Crhistian Pérez, Jorge Rodríguez, Marjorie Killerby, Stephane Lov... <1%

105 Internet
carcer3.blogspot.com <1%

106 Internet
idoc.pub <1%

107 Internet
repositorio.udh.edu.pe <1%

108 Publicación
Angel Virgilio Cedeño-Moreira, Luis Humberto Vásquez-Cortez, Ítalo Fernando Es... <1%

109 Publicación
Francisco David Moreno-Valencia, Miguel Ángel Plascencia-Espinosa, Jesús Muñoz... <1%

110 Internet
cicy.repositorioinstitucional.mx <1%

111 Internet
themysteryofepigenetics.blogspot.com.au <1%

112 Internet
"Función de OCP3 en la resistencia de Arabidopsis frente a hongos necrotrofos.", ... <1%

113 Publicación
Mayra Eleonora Beltrán Pineda. "La solubilización de fosfatos como estrategia mi... <1%

114 Publicación
Quispe Apaza, Ignacio Jose. "Competencias digitales y desempeño académico en l... <1%

115 Publicación
Ronald G. van den Berg, Joseph T. Miller, Maria L. Ugarte, Jouke P. Kardolus, Julie ... <1%

116 Publicación
S. Ahash, K. Manikandan, T. Sivasankari Devi, S. Elamathi, S. Maragatham, K. Subr... <1%

117 Internet
cosechador.siu.edu.ar <1%

118 Internet
dspace.unach.edu.ec <1%

119 Internet
micras.org <1%

120 Internet
repositorio.unan.edu.ni <1%

121 Internet
repositorio.unfv.edu.pe <1%

122 Internet
ria.utn.edu.ar <1%

123 Internet
www.agrociencia-colpos.org <1%

124 Internet
www.dello.com.br <1%

125 Internet
www.scribd.com <1%

126 Publicación
Giovanni Passeri. "Adhesion pattern and growth of primary human osteoblastic c... <1%

127 Publicación
Ivan C. H. Ip. "Positive Representations of Split Real Simply-Laced Quantum Grou... <1%

128 Publicación
T. Fernández, M. Marcet, W. Olivera, C. Martín. " AISLAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ... <1%

129 Publicación
Vidal Marca, Javier. "Prospección de poblaciones del nematodo del nódulo de la r... <1%

130 Internet
documentop.com <1%

131 Internet
rsdjournal.org <1%

132 Internet
www.chemagri.com <1%

133 Internet
www.colpos.mx <1%

134 Internet
www.scielo.br <1%

135 Internet
www.semg.es <1%

136 Publicación
Ana Teresa Mosquera Espinosa, Didier Taborda Gálvez, Gustavo Suárez Rendón, J... <1%

137 Publicación
Jae Kwang Shim, Duck Hee Chun, Yong Seon Choi, Ji Yeon Lee, Seong Wook Hong, ... <1%

138 Publicación
Klassert, Tilman E.. "Expresion y regulacion De Las Taquicininas En celulas Del Sist... <1%

139 Publicación
William Senior, Mairin Lemus, Nieves González, Manuel Rey-Méndez, Cesar Lodeir... <1%

140 Internet
archive.org <1%

141 Internet
bip.gryfino.pl <1%

142 Internet
cict.umcc.cu <1%

143 Internet
doczz.net <1%

144 Internet
dspace.uib.es <1%

145 Internet
ebin.pub <1%

146 Internet
iqd.ok-em.com <1%

147 Internet
municipio.smandes.gov.ar <1%

148 Internet
patents.glgoo.top <1%

149 Internet
repositorio.udea.edu.pe <1%

150 Internet
repositorio.uniscjsa.edu.pe <1%

151 Internet
repositorio.xoc.uam.mx <1%

152 Internet
ri.uaemex.mx <1%

153 Internet
rima.ufrrj.br <1%

154 Internet
tesis.unap.edu.pe <1%

155 Internet
www.cimmyt.cgiar.org <1%

156 Internet
www.oalib.com <1%

157 Publicación
Pedro Quintero Campos. "Diseño, obtención y caracterización de proteínas recom... <1%

158 Internet
conference.edass.org <1%

159 Internet
dgsa.uaeh.edu.mx:8080 <1%

160 Internet
digital.csic.es <1%

161 Internet
documents.mx <1%

162 Internet
editorapantanal.com.br <1%

163 Internet
eprints.ucm.es <1%

164 Internet
foristom.org <1%

165 Internet
jalayo.blogspot.com <1%

166 Internet
m.riunet.upv.es <1%

167 Internet
oldri.ues.edu.sv <1%

168 Internet
prezi.com <1%

169 Internet
pt.scribd.com <1%

170 Internet
raccefyn.co <1%

171 Internet
repositorio.ucundinamarca.edu.co <1%

172 Internet
repositorio.unheval.edu.pe <1%

173 Internet
repositorio.unsa.edu.pe <1%

174 Internet
repositoriousco.co <1%

175 Internet
revistas.udca.edu.co <1%

176 Internet
revistas.uteq.edu.ec <1%

177 Internet
tesis.usat.edu.pe <1%

178 Internet
www.clubensayos.com <1%

179 Internet
www.ibm.com <1%

180 Internet
www.leisa-al.org.pe <1%

181 Internet
www.revistabionatura.com <1%

182 Internet
www.sidalc.net <1%

183 Internet
zira.clinic <1%

184 Publicación
"Agricultura em Foco: Tópicos Em Manejo, Fertilidade do Solo e Impactos Ambien... <1%

185 Publicación
"Propiedades Funcionales de hoy", Omnia Publisher SL, 2017 <1%

186 Publicación
Altug, Gulsen, Sevan Gurun, Mine Cardak, Pelin S. Ciftci, and Samet Kalkan. "The ... <1%

187 Publicación
Delia Gellibert-Coime, Brayan Llumiluisa-Tapuy, Cristóbal Manzaba-López, Fernan... <1%

188 Publicación
Huasco Escalante, Lidia Erlinda. "Caracteristicas en la produccion del habla en nin... <1%

189 Publicación
Mercado Ramos, Esther. "El control interno y su incidencia en la gestión de tesore... <1%

190 Publicación
Miguel Á. Guerra-Camacho, María C. Magaña-Tzuc, Arely A. Vargas-Díaz, Hilda V. S... <1%

191 Publicación
Plant Soil and Microbes, 2016. <1%

192 Publicación
Rafael Montanari, Elizeu de Souza Lima, Lenon Henrique Lovera, Luis Tadeu Rios ... <1%

193 Publicación
Raúl Pedraza, Kátia-R.S. Teixeira, Ana Fernández Scavino, Inés García De Salamon... <1%

194 Internet
biotecnia.unison.mx <1%

195 Internet
cienciadigital.org <1%

196 Internet
ciencialatina.org <1%

197 Internet
cybertesis.unmsm.edu.pe <1%

198 Internet
ddd.uab.cat <1%

199 Internet
digibuo.uniovi.es <1%

200 Internet
digital.library.adelaide.edu.au <1%

201 Internet
doku.pub <1%

202 Internet
dspace.ueb.edu.ec <1%

203 Internet
dspace.ups.edu.ec <1%

204 Internet
inba.info <1%

205 Internet
knowledge.unccd.int <1%

206 Internet
lookformedical.com <1%

207 Internet
repositorio.uea.edu.ec <1%

208 Internet
repositorio.unu.edu.pe <1%

209 Internet
repositoriodigital.uns.edu.ar <1%

210 Internet
repositorioinstitucional.uaslp.mx <1%

211 Internet
ri-ng.uaq.mx <1%

212 Internet
ribuni.uni.edu.ni <1%

213 Internet
ridum.umanizales.edu.co <1%

214 Internet
rraae.cedia.edu.ec <1%

215 Internet
theses.hal.science <1%

216 Internet
up-rid.up.ac.pa <1%

217 Internet
www.cm.colpos.mx <1%

218 Internet
www.degruyterbrill.com <1%

219 Internet
www.jornadasenre.cl <1%

220 Internet
www.refertil.info <1%

221 Internet
www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa <1%

222 Internet
www.tecamachalco.pue.gob.mx <1%

223 Publicación
Ádila Natália França de Almeida. "Interação entre microrganismos e fontes fosfat... <1%

224 Publicación
"Catálogo de recursos genéticos nativos de maíces blancos conservados en el Ba... <1%

225 Publicación
Rosana García De La Fuente. "Caracterización y uso de compost de alperujo como... <1%

226 Internet
revistadigital.uce.edu.ec <1%

227 Internet
www.researchsquare.com <1%

228 Publicación
Esteban Maestre, Ma Dolores. "Influence of heat treatment and natural antimicr... <1%

229 Internet
repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 <1%

230 Internet
www.jwpr.science-line.com <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 445-2026-CU

Moquegua, 30 de junio de 2026

VISTOS:

La Resolución de Consejo de Facultad N° 281-2026-CF-FAIN-UNAM, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías; el Informe N° D0348-2026-UNAM-R-FAIN, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías, el Informe Técnico N° D0084-2026-SG-GT, emitido por la Especialista Administrativo II de Grados y Títulos; el Informe N° D0310-2026-UNAM-R-SG, emitido por el Secretario General de la UNAM; el Proveído N° 3083-2026-R, emitido por el señor Rector; el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 28-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 24 de junio de 2026; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Resolución de Asamblea Universitaria N° 006-2026-AU, de fecha 20 de abril de 2026, se aprobó la incorporación de la Disposición Transitoria N° 22 al Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, referido a la excepción para la emisión de los grados académicos de bachiller y títulos profesionales consignando la denominación de "Facultad de Ingeniería y Arquitectura";

Que, mediante la Resolución de Consejo de Facultad N° 281-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 12 de junio de 2026, el Consejo de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, por la modalidad de Tesis, a un (01) Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle: ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ;

Que, mediante Informe N° D0348-2026-UNAM-R-FAIN, de fecha 16 de junio de 2026, la Decana de la Facultad de Ingenierías, remite a Secretaría General la Resolución de Consejo de Facultad Nº 281-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 12 de junio de 2026;

Que, mediante Informe Técnico N° D0084-2026-SG-GT de fecha 17 de junio de 2026, e Informe N° D0310-2026-UNAM-R-SG de fecha 18 de junio de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Ambiental a favor de la Bachiller: ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 24 de junio de 2026;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 445-2026-CU

Moquegua, 30 de junio de 2026

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 28-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 24 de junio de 2026, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de Tesis a la Bachiller: ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **ERIKA SOLEDAD MAMANI IBAÑEZ**

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.**

Por la modalidad de TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General de la UNAM, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

MTRO. JOSE LUIS PACHECO CACERES
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA,
VRI,
FAIN,
EPIAM,
GyT
DASA,
OTI
Interesado,
C.c. Arch.

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 362-2026-CU

Moquegua, 21 de mayo de 2026

VISTOS:

La Resolución de Consejo de Facultad N° 142-2026-CF-FAIN-UNAM, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías; el Informe N° D0274-2026-UNAM-R-FAIN, emitida por la Decana de la Facultad de Ingenierías, el Informe Técnico N° D0063-2026-SG-GT, emitido por la Especialista Administrativo II de Grados y Títulos; el Informe N° D0256-2026-UNAM-R-SG, emitido por el Secretario General de la UNAM; el Proveído N° 2394-2026-R, emitido por el señor Rector; el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 22-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 20 de mayo de 2026; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Resolución de Asamblea Universitaria N° 006-2026-AU, de fecha 20 de abril de 2026, se aprobó la incorporación de la Disposición Transitoria N° 22 al Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, referido a la excepción para la emisión de los grados académicos de bachiller y títulos profesionales consignando la denominación de "Facultad de Ingeniería y Arquitectura";

Que, mediante la Resolución de Consejo de Facultad N° 142-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 30 de abril de 2026, el Consejo de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, por la modalidad de Tesis, a un (01) Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle: JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA;

Que, mediante Informe N° D0274-2026-UNAM-R-FAIN, de fecha 06 de mayo de 2026, la Decana de la Facultad de Ingenierías, remite a Secretaría General la Resolución de Consejo de Facultad N° 142-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 30 de abril de 2026;

Que, mediante Informe Técnico N° D0063-2026-SG-GT de fecha 13 de mayo de 2026, e Informe N° D0256-2026-UNAM-R-SG de fecha 15 de mayo de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Ambiental a la Bachiller: JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 20 de mayo de 2026;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 362-2026-CU

Moquegua, 21 de mayo de 2026

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 22-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 20 de mayo de 2026, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de Tesis a la Bachiller: JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **JAZMIN LUCERO MEJIA ARTEAGA**

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.**

Por la modalidad de TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General de la UNAM, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

MTRO. JOSE LUIS PACHECO CACERES
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA.
VRI,
FAIN,
EPIAA,
GyT
DASA,
OTI
Interesado,
C.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe