



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
MICROBIOLOGÍA Y PARASITOLOGÍA



**Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como  
potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L.  
bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGÍA - PARASITOLOGÍA

PRESENTADA POR:

Bach. Jesus Cristian Barrera Fuentes

Bach. Luis Miguel Gonzales Rodríguez

ASESORA:

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

LAMBAYEQUE, PERÚ

06. OCTUBRE, 2022

**Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como  
potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L.  
bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGÍA - PARASITOLOGÍA

**APROBADA POR:**

Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes



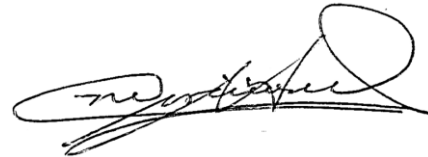
**PRESIDENTE**

Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez



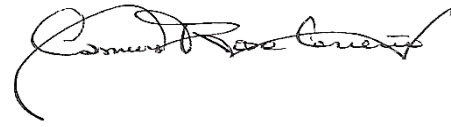
**SECRETARIO**

Msc. Mario Cecilio Moreno Mantilla



**VOCAL**

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán



**ASESORA**

LAMBAYEQUE, PERÚ

2022

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>II.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	15
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	15
2.2.	Base teórica.....	17
2.2.1	<i>Prosopis limensis</i> Benth. “algarrobo” .....	19
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	20
3.1	Materiales.....	20
3.1.1	Material biológico .....	20
3.1.2	Población y muestra .....	20
3.2	Métodos .....	20
3.2.1	Variables de la fase descriptiva .....	20
3.2.2	Variables de la fase explicativa .....	20
3.2.3	Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis .....	21
3.2.4	Lugar de muestreo y obtención de muestras .....	21
3.2.5	Caracterización morfológica de las bacterias endófitas aisladas de <i>Prosopis limensis</i> , Lambayeque 2019.....	26
3.2.6.	Selección de las bacterias endófitas de raíces y ramas de <i>Prosopis limensis</i> con base a las características que evidencian <i>in vitro</i> promoción de crecimiento vegetal, Lambayeque 2022.....	31
3.2.7.	Selección e identificación fenotípica del género de las bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y la sequía, Lambayeque 2022 .....	32
3.2.8.	Efecto comparativo de dos bacterias endófitas en el crecimiento de <i>Zea mays L.</i> maíz bajo estrés por salinidad y sequía .....	32
3.2.9.	Análisis estadístico de los datos .....	35
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	36
4.1.	Características morfológicas de las bacterias endófitas aisladas de las raíces y ramas de <i>Prosopis limensis Benth</i> “algarrobo”, Lambayeque 2019.....	36
4.2.	Bacterias endófitas seleccionadas con base a las características que evidencian <i>in vitro</i> promoción de crecimiento vegetal, Lambayeque 2022 .....	41

4.3. Bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y sequía aisladas e identificadas fenotípicamente, Lambayeque 2022.....	41
4.4. Efecto comparativo de las bacterias endófitas en el crecimiento de <i>Z. mays</i> L. “maíz” bajo estrés por salinidad y sequía .....	48
V. DISCUSIÓN.....	72
VI. CONCLUSIONES.....	82
VII. RECOMENDACIONES .....	833
VIII. REFERENCIAS .....	844
IX. ANEXOS.....	92

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diseño completamente aleatorio para determinar el efecto de bacterias endófitas en Zea mays L. “maíz”, bajo diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante.</i> .....	22
<b>Figura 2</b> <i>Ubicación del lugar de muestreo en la Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	23
<b>Figura 3</b> <i>Prosopis limensis en el sector La Compuerta, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	24
<b>Figura 4</b> <i>Extracción de raíces de Prosopis limensis, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	24
<b>Figura 5</b> <i>Raíces de Prosopis limensis, a una profundidad de 0,30 m, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	25
<b>Figura 6</b> <i>Recolección de raíces de Prosopis limensis, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	25
<b>Figura 7</b> <i>Raíces y ramas de Prosopis limensis, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.</i> .....	28
<b>Figura 8</b> <i>Hojas de Prosopis limensis, en agua destilada más detergente neutro, Lambayeque 2019.</i> .....	28
<b>Figura 9</b> <i>Hojas de Prosopis limensis, con agua destilada esterilizada, Lambayeque 2019.</i> ...	29
<b>Figura 10</b> <i>Fragmentos de raíces de Prosopis limensis. con solución tampón de fosfato de potasio, Lambayeque 2019.</i> .....	29
<b>Figura 11</b> <i>Fragmentos de raíces de Prosopis Limensis desinfectadas, Lambayeque 2019.</i> ..	30
<b>Figura 12</b> <i>Macerado de fragmentos de raíces de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.</i> .....	30
<b>Figura 13</b> <i>Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en agar nutritivo, Lambayeque 2019.</i> .....	37
<b>Figura 14</b> <i>Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en agar MacConkey, Lambayeque 2019.</i> .....	37
<b>Figura 15</b> <i>Cultivos puros de bacterias endófitas aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.</i> .....	38

<b>Figura 16_</b> <i>Porcentaje de bacterias aisladas en raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.</i> .....	38
<b>Figura 17_</b> <i>Observación microscópica (100 x) de cocos y bacilos en bacterias aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.</i> .....	40
<b>Figura 18_</b> <i>Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en medio de cultivo con ACC como fuente de nitrógeno, Lambayeque 2022.</i> .....	42
<b>Figura 19_</b> <i>Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en medio de cultivo con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, Lambayeque 2022.</i> .....	42
<b>Figura 20_</b> <i>Porcentaje de bacterias con actividad de la enzima ACCD aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.</i> .....	43
<b>Figura 21_</b> <i>Densidad óptica de caldo nutritivo con cloruro de sodio cultivado con bacterias endófitas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.</i> .....	46
<b>Figura 22_</b> <i>Densidad óptica de caldo nutritivo con PEG - 6000 cultivado con bacterias endófitas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.</i> .....	46
<b>Figura 23_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino.</i> .....	49
<b>Figura 24_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.</i> .....	49
<b>Figura 25_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino</i> .....	50
<b>Figura 26_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo no salino.</i> .....	50
<b>Figura 27_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 45 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.</i> .....	51
<b>Figura 28_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino.</i> .....	52
<b>Figura 29_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.</i> .....	52
<b>Figura 30_</b> <i>Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo con sequía.</i> .....	53

<b>Figura 31</b> <i>Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.</i> .....	53
<b>Figura 32</b> <i>Plantas de Zea mays L., 45 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.</i> .....	54
<b>Figura 33</b> <i>Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.</i> .....	54
<b>Figura 34</b> <i>Altura de plantas de Zea mays L. a los 15, 30, 45 y 60 días, inoculadas con Pseudomonas sp. 306. y Klebsiella sp.162 en suelos salino y no salino. ....</i>	55
<b>Figura 35</b> <i>Altura de plantas de Zea mays L. a los 15, 30, 45 y 60 días, inoculadas con Pseudomonas sp. 306 y Klebsiella sp. 162 en suelos con sequía y sin sequía. ....</i>	55
<b>Figura 36</b> <i>Biomasa aérea seca de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía. ....</i>	56
<b>Figura 37</b> <i>Biomasa aérea fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4). ....</i>	57
<b>Figura 38</b> <i>Biomasa aérea fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con sequía y sin sequia; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4). ....</i>	57
<b>Figura 39</b> <i>Biomasa aérea seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4). ....</i>	58
<b>Figura 40</b> <i>Biomasa aérea seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp.306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4). ....</i>	58
<b>Figura 41</b> <i>Raíces de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino. ....</i>	59
<b>Figura 42</b> <i>Raíces de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo no salino. ....</i>	59
<b>Figura 43</b> <i>Longitud radicular de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (4). ....</i>	60

- Figura 44** *Longitud radicular de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....60*
- Figura 45** *Biomasa radicular fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....61*
- Figura 46** *Biomasa radicular fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....61*
- Figura 47** *Biomasa radicular seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp.306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....62*
- Figura 48** *Biomasa radicular seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....62*
- Figura 49** *Tasa de follaje / raíces de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....63*
- Figura 50** *Tasa de follaje / raíces de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp 162 (T4).....63*
- Figura 51** *Clorofila en plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....64*
- Figura 52** *Clorofila en raíces de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).....64*
- Figura 53** *Incremento (%) en la altura de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 15 (a, b) y 30 días (c, d) después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).....65*
- Figura 54** *Incremento (%) en la altura de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos*



con sequía y sin sequía, 45 (a, b) y 60 días (c, d) de la aplicación de fertilizante químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3), *Klebsiella* sp.162 (T4).....66

**Figura 55** *Incremento (%) en la longitud de raíz de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....67

**Figura 56** *Incremento (%) en la biomasa radicular fresca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....67

**Figura 57** *Incremento (%) en la biomasa radicular seca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....68

**Figura 58** *Incremento (%) en la biomasa aérea fresca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....68

**Figura 59** *Incremento (%) en la biomasa aérea seca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....69

**Figura 60** *Incremento (%) en la tasa follaje/raíces de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....69

**Figura 61** *Incremento (%) en contenido de clorofila de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).* .....70

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Posición georeferencial de la ubicación de los puntos de muestreo de raíces y ramas de <i>Prosopis limensis</i> , Comunidad Campesina San José, Lambayeque, 2019.....	23
<b>Tabla 2.</b> Conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable del suelo radicular de <i>Prosopis limensis</i> , Comunidad Campesina San José, Lambayeque 2019.....	27
<b>Tabla 3.</b> Análisis físico-químico de suelo radicular de <i>Prosopis limensis</i> , sector de riego San Nicolás, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019 .....	34
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de bacterias Gram positivas y Gram negativas según profundidad de raíces de <i>Prosopis limensis</i> muestreadas y medio de cultivo de aislamiento, Lambayeque 2019 .....	39
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de bacterias Gram positivas y Gram negativas en raíces y ramas de <i>Prosopis limensis</i> según el medio de cultivo de aislamiento, Lambayeque 2019 .....	39
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de bacterias según morfología y reacción a la coloración de Gram, aisladas de raíces y ramas de <i>Prosopis limensis</i> , Lambayeque 2019 .....	40
<b>Tabla 7.</b> Densidad óptica comparativa de caldo mínimo con ACC y sulfato de amonio como fuentes de nitrógeno, cultivado con bacterias endófitas de <i>Prosopis limensis</i> , Lambayeque 2022 .....	44
<b>Tabla 8.</b> Concentración (ppm) de ácido indol acético y fósforo solubilizado por bacterias endófitas con actividad ACCD aisladas de raíces y ramas de <i>Prosopis limensis</i> , Lambayeque 2022.....	45
<b>Tabla 9.</b> Características fenotípicas diferenciales de los géneros <i>Pseudomonas</i> y <i>Klebsiella</i> identificados en bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y sequía, Lambayeque 2022...47	

## RESUMEN

La salinidad y sequía son factores limitantes en el cultivo de *Zea mays* L. "maíz". El objetivo de la investigación fue determinar el potencial de las bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. "algarrobo" como promotores de crecimiento de maíz, bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía. Las bacterias se aislaron de raíces y ramas de algarrobos en la Comunidad Campesina San José de Lambayeque ( $CE_e=5,51 - 120,67 \text{ dSm}^{-1}$ ), se seleccionaron con base a las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal, se identificó el género de dos bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y la sequía y se comparó el efecto en el crecimiento de maíz. El ensayo se condujo bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3 x 4. El factor A fue condiciones de estrés (sin estrés, salinidad:  $CE_e 8 \text{ dSm}^{-1}$ , sequía: 45 % del riego) y el factor B fertilizante (sin aplicación, fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp 162). Se obtuvieron 496 bacterias endófitas; el 7,9 % presentó actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa; el 76,92 % produjo ácido indol acético y el 61,53 % solubilizó fosfato. *Pseudomonas* sp. 306 y *klebsiella* sp. 162 tolerantes a la salinidad (8 % NaCl) y sequía (20 % polietilenglicol PEG – 6000) disminuyeron el impacto del estrés. Los mayores porcentajes de incremento en el crecimiento de maíz se alcanzaron en el suelo salino, en lo correspondiente a la altura, longitud de raíz (36,98 – 43,4 %), biomasa radicular fresca (25,48 – 26,96 %) y seca (22,48 – 46,68 %), biomasa aérea fresca (26,61 – 33,33 %) y clorofila (20,08 – 27,11 %) y en el suelo con sequía en la biomasa aérea seca (26,61 – 27,63 %) y tasa follaje/raíces (8,66 – 11 %). Se demostró el potencial de las bacterias endófitas como promotoras de crecimiento en maíz bajo salinidad y sequía.

**Palabras clave:** Bacterias endófitas, maíz, salinidad, sequía, ACC desaminasa.

## ABSTRACT

Salinity and drought are limiting factors in the cultivation of *Zea mayz* L. "maiz". The objective of the research was to determine the potential of the endophytic bacteria of *Prosopis limensis* Benth. "algarrobo" as maize growth promoters, under stress conditions due to salinity and drought. The bacteria were isolated from roots and branches of carob trees in the San José de Lambayeque Peasant Community ( $ECe=5.51 - 120.67 \text{ dSm}^{-1}$ ), they were selected based on the characteristics that show in vitro promotion of plant growth, they were identified the genus of two endophytic bacteria tolerant to salinity and drought and compared the effect on maize growth. The trial was conducted under a completely randomized design with a 3 x 4 factorial arrangement. Factor A was stress conditions (no stress, salinity:  $ECe 8 \text{ dSm}^{-1}$ , drought: 45% irrigation) and factor B was fertilizer (without application, chemical fertilizer, *Pseudomonas* sp. 306 and *Klebsiella* sp. 162). 496 endophytic bacteria were obtained, 7.9% showed activity of the enzyme 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, 76.92% produced indole acetic acid and 61.53% solubilized phosphate. *Pseudomonas* sp. 306 and *Klebsiella* sp. 162 tolerant to salinity (8% NaCl) and drought (20% polyethylene glycol PEG – 6000) decreased the impact of stress. The highest percentages of increase in corn growth were reached in the saline soil, in relation to height, root length (36.98 - 43.4%), fresh root biomass (25.48 - 26.96%) and dry (22.48 – 46.68%), fresh aerial biomass (26.61 – 33.33%) and chlorophyll (20.08 – 27.11%) and in the soil with drought in the dry aerial biomass (26.61 – 27.63%) and foliage/root ratio (8.66 – 11%). The potential of endophytic bacteria as growth promoters in maize under salinity and drought was demonstrated.

**Keywords:** Endophytic bacteria, corn, salinity, drought, ACC deaminase.

## I. INTRODUCCIÓN

La población en el mundo es en promedio 7 billones y se ha calculado que será de 10 billones en el 2070, por tanto, la demanda de alimento aumentará; no obstante, no es posible el incremento del área de suelo cultivable, debido a la contaminación, urbanización, industrialización, salinización, erosión del suelo y limitada disponibilidad de agua para el riego. En este contexto, se requiere incrementar la productividad de los cultivos agrícolas como *Zea mays* L. “maíz” en el suelo agrícola existente (Saghafi et al., 2019). La salinidad y sequía son factores limitantes en el cultivo del maíz (Sánchez et al., 2018; Mosaad et al., 2019). La salinidad disminuye el rendimiento en 24 % (Huang et al., 2019) a 34 % (Mosaad et al., 2019). En el Perú 42 de los 52 valles de la Costa presentan problemas de drenaje y salinidad en el suelo, principalmente Tumbes, Piura y Lambayeque (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015; Soca et al., 2016).

La sequía es otro factor ambiental limitante en el cultivo del maíz (Sánchez et al., 2018). En el Perú, la sequía constituye uno de los mayores desastres naturales, principalmente en el sector agrícola (Gil, 2018) y disminuye hasta el 30 % del rendimiento de los cultivos (Soto y Castillo, 2013). Las tres regiones con Riesgo Alto (RA) a la sequía son Ica, Lambayeque y Tacna (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI, 2015). *Prosopis limensis* Benth. “algarrobo” está adaptado a las condiciones áridas de los bosques secos (Otivo, 2015), donde los períodos de sequía demoran entre 6 a 9 meses (Rivera, 2018). En los tejidos de *Prosopis* spp. (Piccoli et al., 2011; Sgroy et al., 2009), así como de otras especies (Mahmud et al., 2022; Haitao et al., 2022) se encuentran bacterias endófitas, reconocidas por su capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas e inclusive disminuir el estrés ocasionado por la salinidad (Mohamed et al., 2020), sequía (Langner et al., 2018) u otras condiciones desfavorables (Egamberdieva et al., 2017; Walitang et al., 2017).

Los algarrobos, cada vez más susceptibles a la sequía están bajo amenaza en todo el mundo (Cuentas y Salazar, 2017); no obstante, se desconoce el potencial de las bacterias endófitas como promotoras de crecimiento en el cultivo de maíz bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía. Por tanto, el problema de la investigación fue: ¿Cuál es el potencial de las bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. "algarrobo" como promotoras de crecimiento en *Zea mays* L. "maíz" bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía? La hipótesis fue: Las bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. "algarrobo", presentan actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato, ACC desaminasa (ACCD), producen ácido indol acético (AIA), solubilizan fosfatos, son tolerantes a la salinidad y sequía y promueven el crecimiento de *Zea mays* L. "maíz", bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía.

El objetivo general fue: Determinar el potencial de las bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. "algarrobo", como promotores de crecimiento de *Zea mays* L. "maíz", bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía. Los objetivos específicos fueron: Determinar las características morfológicas de las bacterias endófitas aisladas de las raíces y ramas de *Prosopis limensis*, Lambayeque 2019, seleccionar las bacterias endófitas aisladas de las raíces y ramas de *Prosopis limensis* con base a las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal, seleccionar e identificar fenotípicamente el género de las bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y la sequía y comparar el efecto de dos bacterias endófitas en el crecimiento de *Zea mays* L. bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Las bacterias promotoras de crecimiento en plantas aisladas en *Prosopis* spp. han sido reportadas por Sgroy et al. (2009), Piccoli et al. (2011) y Villegas et al. (2014). En raíces de *Prosopis strombulifera* se aislaron 29 bacterias endófitas Gram positivas (68,9 %) y Gram negativas (31,1 %), entre las que se identificaron los géneros *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Achromobacter*, *Lysinibacillus* y *Pseudomonas*. Las bacterias endófitas fijaron nitrógeno, presentaron actividad ACCD, produjeron sideróforos, ácidos indol acético y abscísico y giberelinas (Sgroy et al., 2009). Asimismo, en las raíces de *P. strombulifera* se identificó la bacteria endófito fijadora de nitrógeno *Arthrobacter koreensis* productora de ácidos giberélico, abscísico, indol acético y jasmónico. Se concluyó que las raíces de *P. strombulifera* son colonizadas por bacterias con potencial para la promoción de crecimiento en plantas (Piccoli et al., 2011).

Villegas et al. (2014) caracterizaron bacterias promotoras de crecimiento en el suelo rizosférico de *Prosopis glandulosa* "mezquite" e investigaron el efecto de su inoculación en la germinación y plántulas de *P. chilensis* "mezquite chileno" bajo estrés salino. Las bacterias se aislaron de árboles en floración y se determinó la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y el efecto de *Bacillus amyloliquefaciens* en *P. chilensis*. Se obtuvieron 19 colonias bacterianas, entre las que *B. amyloliquefaciens* fijó nitrógeno, solubilizó fosfato y aumentó la germinación, altura y longitud de las raíces de las plántulas. Se evidenció el potencial de *B. amyloliquefaciens* como biofertilizante para *Prosopis* sp.

Farahat et al. (2020) investigaron el efecto de *Bacillus aryabhatthai* con actividad ACC en el crecimiento de *Triticum* sp. "trigo" bajo salinidad (12 % NaCl) y sequía (0,49 MPa). Las bacterias ACCD se aislaron de raíces de trigo y se les investigaron las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal. Una bacteria seleccionada por su tolerancia a la salinidad y sequía se inoculó en semillas de trigo, éstas se sembraron en suelo con 50, 100 y 150 mM

NaCl y después de 45 días se evaluaron los parámetros de crecimiento. Se obtuvieron 34 bacterias endófitas ACCD, entre las que se seleccionó *B. aryabhatthai*, que solubilizó fosfato tricálcico, produjo ácido indol acético, cianuro de hidrógeno, formo biopelícula y presentó tolerancia a la salinidad y sequía. En las plantas bajo 150 mmol NaCl incrementó la altura (57,4 %), longitud de raíz (51,4 %), biomasa fresca (65,3 %) y biomasa seca (39,8 %). Se demostró el potencial de *B. aryabhatthai* para disminuir el impacto de la salinidad y sequía en trigo.

Sánchez et al. (2018) investigaron la densidad y diversidad de bacterias endófitas en siete líneas de *Z. mays* L. “maíz” homocigóticos tolerantes y susceptibles a la sequía. Las bacterias endófitas se cuantificaron en el tejido interno de la zona apical de las raíces. La densidad poblacional se determinó por conteo de las colonias desarrolladas en medio de cultivo y la identificación de la diversidad poblacional se realizó por amplificación del gen 16S rADN. La mayor densidad de bacterias endófitas correspondió a las líneas de maíz tolerantes a la sequía y destacaron *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp. y *Sinorhizobium* sp. bacterias que evidenciaron potencial para inducir tolerancia al estrés hídrico en las plantas.

Walitang et al. (2017) caracterizaron a nivel fenotípico y molecular las bacterias endófitas de semillas de cultivares de *Oryza sativa* L. arroz, tolerantes y no tolerantes a la salinidad. La superficie de las semillas se esterilizó, se removió la cubierta superficial, se cuantificaron las poblaciones bacterianas en agar y se identificaron mediante el análisis del gen 16S rRNA. Las Proteobacteria predominaron entre las bacterias endófitas, en forma particular la clase Gammaproteobacteria. Bacterias de los géneros *Flavobacterium*, *Mycobacterium* y *Xanthomonas* spp. fueron aisladas de cultivos susceptibles y no susceptibles a la salinidad. Las cepas de *Flavobacterium* solubilizadoras de fosfatos y productoras de ácido indol acético, mostraron elevada tolerancia a la salinidad y estrés osmótico y se demostró su capacidad para constituir biofertilizantes en plantas bajo estrés salino.

Egamberdieva et al. (2017) caracterizaron las bacterias endófitas no pertenecientes a los rizobios de nódulos radiculares de *Cicer arietinum* L. “garbanzo”. Las bacterias se aislaron de los nódulos y se investigó, la solubilización de fosfatos, producción de ácido indol acético, quitinasas, celulasas, lipasas, cianuro de hidrógeno, sideróforos y antagonismo *in vitro* e *in vivo* frente a



*Fusarium* spp., *Alternaria alternata* y *Botrytis cinerea* bajo salinidad. Se obtuvieron 40 aislados de bacterias endófitas entre las que destacaron *B. subtilis*, *B. cereus*, *Achromobacter xylosoxidans* y *B. thuringiensis*. La cepa NUU4 de *B. subtilis* demostró ser multifuncional, mejoró el aspecto de las plantas en simbiosis con los rizobios, incrementó el rendimiento bajo condiciones salinas y redujo la tasa de infección por *F. solani*. Se demostró que esta bacteria endófito puede estimular el desarrollo y ser agente de biocontrol.

## 2.2. Base teórica

Los programas de Agricultura en América Latina tienen como objetivo mejorar la productividad para garantizar la seguridad alimentaria de una manera amigable con el ambiente, es decir un desarrollo sostenible. La FAO estima que la población en el mundo será de 9000 millones el 2050 y la demanda de alimentos aumentará en 70 %, lo que evidencia una enorme presión en los recursos naturales (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015).

La interacción entre los microorganismos y las plantas puede ser benéfica, perjudicial y neutra (Moon y Ali, 2022). Entre las interacciones benéficas el mutualismo es la más importante en la rizósfera. Las bacterias que tienen efecto benéfico en las plantas son denominadas promotoras de crecimiento vegetal (plant growth promoting rhizobacteria, PGPB) y presentan mecanismos directos, indirectos o una combinación de ambos (Esquivel et al., 2013). Los mecanismos de acción directa son la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y potasio, síntesis de fitohormonas (ácido indol acético, citoquininas, ácidos abscísico y giberélico), producción de sideróforos, polisacáridos extracelulares, compuestos volátiles y no volátiles y la enzima ACCD. Los mecanismos indirectos son la resistencia sistémica inducida y biosíntesis de compuestos antibióticos y antifúngicos (Gupta et al., 2022).

Una característica interesante de las PGPB es la capacidad para inducir en las plantas tolerancia al estrés abiótico. Las PGPB son eficientes en la colonización de la superficie de la raíz o de la rizósfera, tienen potencial para competir con otros microorganismos por el mismo nicho y favorecen el crecimiento de las plantas (Notununu et al., 2022). Especies de los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Sarcina* y *Flavobacterium* son consideradas PGPB (Saghafi et al., 2019).

Las PGPB capaces de colonizar el interior de los tejidos vegetales se denominan endófitas, cuyo ciclo de vida transcurre de forma parcial o total en las raíces o en la parte aérea de la planta, localizadas en los espacios intra e intercelulares o en el tejido vascular (Santos et al., 2018). Las bacterias endófitas promueven el crecimiento de las plantas mediante los mecanismos de biofertilización o incremento de la disponibilidad de nutrientes (fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos), control biológico de fitopatógenos y fitoestimulación o producción de reguladores: auxinas, citoquininas, giberelinas y la enzima ACCD (Esquivel et al., 2013; Santos et al., 2018).

El estrés agrupa las respuestas que definen el estado de un organismo, diferente al observado en condiciones óptimas (Basurto et al., 2008). La sequía, salinidad y temperaturas extremas son los principales tipos de estrés ambiental que disminuyen el crecimiento y productividad de los cultivos agrícolas (Martínez et al., 2011). La salinidad y sequía inducen en las plantas el cierre de estomas, producción de especies reactivas del oxígeno (ROS), incremento de la concentración de iones sodio, senescencia y ataque de fitopatógenos, reducción del crecimiento, fotosíntesis, vigor y rendimiento. En las raíces la salinidad y sequía reducen la formación de raíces laterales, la absorción de agua y nutrientes y el nivel de antioxidantes. Por el contrario, aumentan el transporte del sodio desde las raíces al follaje y ROS producidas y acumuladas (Gupta et al., 2022).

El etileno es una hormona producida por la mayoría de las plantas y es esencial para el crecimiento y desarrollo vegetal (Li et al., 2016); sin embargo, bajo condiciones de estrés la producción de etileno por la planta se acelera de forma significativa, con efecto adverso en el crecimiento de la raíz y planta en general y se observa clorosis, senescencia y abscisión foliar (Glick, 2013). El etileno es regulado por las bacterias con actividad ACCD que no sólo promueven el crecimiento de las plantas, sino también las protegen de las condiciones desfavorables. En respuesta al triptófano de los exudados radiculares, algunas bacterias sintetizan AIA, utilizado en parte por la planta y el resto junto con el AIA endógeno pueden inducir la transcripción de la enzima vegetal ACC sintasa, que cataliza la transformación del S-adenosilmetionina (SAM) en ACC, el cual a su vez es transformado en etileno por la ACC oxidasa. En condiciones de estrés se induce la enzima ACCD de las bacterias y el ACC que es exudado por las semillas y raíces es hidrolizado en alfa-cetobutirato y amonio, al ser utilizado como fuente

de nitrógeno, con la consecuente disminución del nivel de etileno y la inhibición causada por el estrés (Kour y Yadav, 2022; Moon y Ali, 2022).

Las bacterias con actividad ACCD se encuentran sobre la rizósfera, filósfera, en la superficie de las semillas, raíces, hojas, flores y también dentro de los tejidos. Estas bacterias que utilizan el ACC como única fuente de nitrógeno pueden ser aisladas del suelo rizosférico y del interior de los tejidos vegetales y todas son consideradas promotoras de crecimiento en plantas, PGPB (Kour y Yadav et al., 2022; He et al., 2021).

### **2.2.1 *Prosopis limensis* Benth. “algarrobo”**

En el Perú se ha reportado 10 especies de *Prosopis*, que en su mayoría (nueve) son árboles y una es arbustiva. *P. limensis* Bentham se encuentra en la costa, desde Arequipa hasta Lambayeque. Los árboles presentan 4 - 20 m de altura, el tronco es retorcido (0,3 – 2 m diámetro), la corteza es marrón-negruzca, el cilindro central rojo vinoso rodeado de tejido blanco amarillento, las espinas son cónicas (1 - 3 cm), las hojas son solitarias o en fascículos de hasta 10 por nudo con 2-3 pares de pinnas, las ramas son péndulas con grupos de hojas enrolladas en los nudos (algarrobo zambito), las vainas son amarillas rectas o curvas con pulpa dulce ligeramente amarga, bordes rectangulares u obtusos con constricciones irregulares y las semillas son lenticulares con una hendidura apical y caras esculpidas con una línea de forma de U (Lazo, 2018; Vásquez et al., 2010).

El hábitat natural del algarrobo corresponde a territorios áridos y semiáridos, en zonas costeras con escasez de agua y nutrientes (Rivera, 2018). Es una fabácea que se puede utilizar para mejorar la fertilidad y productividad de los suelos con problemas de sodicidad en los bosques secos tropicales (Aguilera, 2014). El algarrobo es utilizado con propósitos medicinales para humanos y animales. Los componentes fenólicos, flavonoides, taninos, alcaloides y quinonas tienen potencial como analgésicos, antihelmínticos, antibióticos antieméticos, antioxidantes y antiulcerosos y tienen efecto probiótico y nutricional (Henciya et al., 2017). La madera del algarrobo utilizada como leña o carbón es de gran demanda y también son importantes los frutos para obtener algarrobina y alcohol y como alimento para de animales (Cuentas y Salazar, 2017).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Material biológico

Raíces y ramas de árboles de *Prosopis limensis* Benth. “algarrobo”, semillas de *Zea mays* L. “maíz” amarillo duro híbrido simple precoz ATL 200 y bacterias endófitas aisladas de algarrobos.

##### 3.1.2 Población y muestra

En la etapa descriptiva de la investigación la población correspondió a las raíces y ramas de árboles de algarrobo, desarrollados en la Comunidad Campesina de San José de Lambayeque. Se investigaron 96 muestras no probabilísticas de raíces y ramas de plantas colectadas en septiembre de 2019. El número de muestras fue calculado (Hernández et al., 2014) considerando una prevalencia de 90 %, determinada por los investigadores en un muestreo piloto. En la investigación explicativa la población y muestra de estudio fueron 72 plantas de maíz distribuidas en 12 tratamientos, tres repeticiones y dos plantas por repetición.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Variables de la fase descriptiva

Variable cuantitativa : Rango de tolerancia al NaCl y a la sequía (PEG - 6000), concentración de indoles y fósforo solubilizado por las bacterias

##### 3.2.2 Variables de la fase explicativa

Variables independientes: Condición de estrés (sin estrés, estrés por salinidad, estrés por sequía)

Fertilizante (sin aplicación, fertilizante químico, bacteria endófito 1, bacteria endófito 2)

Variable dependiente : Crecimiento de *Zea mays* L. (altura, biomasa aérea fresca y seca, longitud de raíces, biomasa radicular fresca y seca, tasa follaje/ raíces y contenido de clorofila)

### 3.2.3 Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

La investigación explicativa se condujo bajo el diseño completamente aleatorio, DCA (Hernández et al., 2014), con arreglo factorial 3 x 4 (Figura 1). El factor A correspondió a las condiciones de estrés (sin estrés, salinidad:  $CE_e$  8  $dSm^{-1}$ , sequía: 45 % del riego) y el factor B al fertilizante (sin aplicación, fertilizante químico, bacteria endófito 1, bacteria endófito 2).

### 3.2.4 Lugar de muestreo y obtención de muestras

En los sectores de riego La Compuerta, Grau, Rastrojo Baca y La Madrid de la Comunidad Campesina San José de Lambayeque, caracterizados por presentar suelos salinos:  $CE_e = 7,28 - 41,3 dSm^{-1}$  (Santamaria, 2013), se colectaron 96 muestras de raíces y ramas de *Prosopis limensis* (Figura 2, tabla 1). El distrito de San José está comprendido entre 6°45'35.65" de latitud sur y 79°57'41.35" de longitud oeste (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2003).

Se seleccionaron árboles de algarrobo con no más de 3 metros de altura (Figura 3), característicos de zonas donde escasea el agua y el terreno es infértil (Vicentini y Pérez, 2010). Para la toma de muestra de las raíces, a 0,5 m de la base del tallo en el suelo se marcaron tres puntos equidistantes y con un pico se fragmentó la capa superficial. Después, con una palana se retiró el suelo cuidadosamente hasta alcanzar profundidades de 0,30 y 0,60 m en busca de raíz (Figuras 4, 5, 6) en la que se colectaron los pelos absorbentes con el suelo rizosférico adherido. En simultáneo, en cada algarrobo muestreado se colectaron cuatro ramas jóvenes.

**Figura 1**

*Diseño completamente aleatorio para determinar el efecto de bacterias endófitas en Zea mays L. "maíz", bajo diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante.*

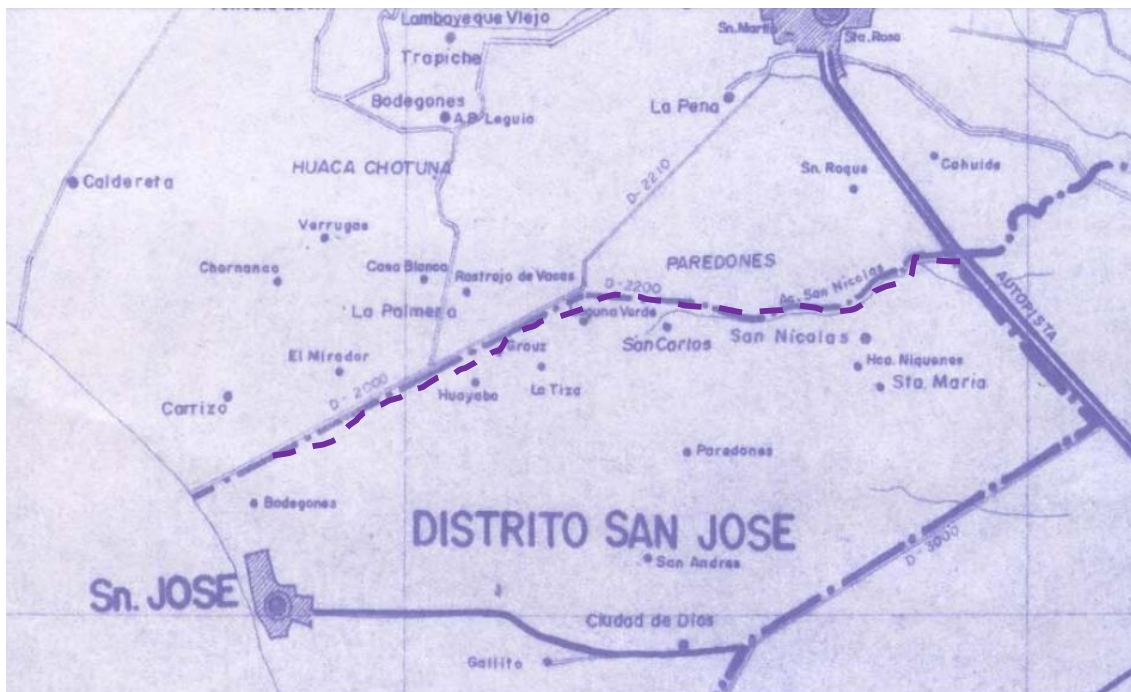


A1: Sin estrés  
 A2: Estrés por salinidad  
 A3: Estrés por sequía

B1: Sin aplicación  
 B2: Fertilizante químico  
 B3: Bacteria endófitas 1  
 B4: Bacteria endófitas 2

**Figura 2**

*Ubicación del lugar de muestreo en la Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.*

**Tabla 1**

*Posición georeferencial de la ubicación de los puntos de muestreo de raíces y ramas de *Prosopis limensis* Comunidad Campesina San José, Lambayeque, 2019*

Lugar de muestreo	Posición georeferencial	Muestras	
		N°	Códigos
La Compuerta	6.731297,79.932465	20	(1-20)
	6.731427,79.931610		
	6.731527,79.931811		
	6.731784,79.931657		
	6.732298,79.936589		
Grau	6.752656,79.659984	22	(21-42)
	6.731902,79.931674		
	6.731100,79932298		
Rastrojo Baca	6.851427,79.931610	28	(43-70)
	6.831527,79.921811		
	6.931784,79.941657		
La Madrid	6.831427,79.981610	26	(71-96)
	6.631527,79.91811		
	6.951784,79.931657		
<b>Total</b>		<b>96</b>	



**Figura 3**

*Prosopis limensis* en el sector La Compuerta, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.

**Figura 4**

Extracción de raíces de *Prosopis limensis*, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.





**Figura 5**

*Raíces de Prosopis limensis, a una profundidad de 0,30 m, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.*

**Figura 6**

*Recolección de raíces de Prosopis limensis, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.*



Las raíces y ramas se depositaron en forma independiente en bolsas de polietileno y se llevaron hacia el laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque. En simultáneo al muestreo, se colectaron 2 kg de suelo radicular para realizar el análisis químico en el Laboratorio Agrícola Análisis de suelo y Agua (CYSAG) y en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). En el sector La Compuerta el suelo fue muy salino sódico con un nivel muy alto de sales solubles ( $CE_e = 120,67 \text{ dSm}^{-1}$ ) y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 25,93 %. En el sector Rastrojo Baca el suelo fue salino no sódico con una  $CE_e = 10,28 \text{ dSm}^{-1}$  y un PSI de 3,4 %. En el sector Grau el suelo fue salino no sódico con una  $CE_e = 5,51 \text{ dSm}^{-1}$  y un PSI de 2,1 % y en el sector La Madrid el suelo fue salino-sódico con una  $CE_e = 23,68 \text{ dSm}^{-1}$  y un PSI 24,65 % (Tabla 2).

### **3.2.5 Caracterización morfológica de las bacterias endófitas aisladas de *Prosopis limensis*, Lambayeque 2019**

Las bacterias endófitas se aislaron de raíces y ramas que previamente se lavaron con agua potable, se fragmentaron (5 cm), se pesaron (5 g), se desinfectaron (Pérez et al., 2010) con agua destilada más detergente neutro (0,005 %) por 1 minuto, se enjuagaron por cuatro veces con agua destilada esterilizada (1 minuto por enjuague), se agitaron por 15 minutos en una solución tampón de fosfato de potasio ( $0,05 \text{ molL}^{-1}$ ), se agitaron en alcohol 70 % por 1 minuto y en solución de hipoclorito de sodio con Tween 80 % durante 5 minutos. El tejido se cambió a otros frascos para la inmersión por 1 minuto con alcohol 70 %, agitación en solución tampón de fosfato de potasio por 15 minutos y lavado con agua destilada esterilizada cuatro veces consecutivas (Figuras 7 a 12).

El tejido vegetal desinfectado se acondicionó en papel secante para eliminar el exceso de humedad, se llevó a bolsas con cierre hermético (15x16 cm) donde se maceró, se tomaron alícuotas y se sembraron mediante la técnica de agotamiento y estría en agar nutritivo y MacConkey y se incubaron a 30°C durante 48 horas. Con las colonias de las bacterias desarrolladas se realizaron tinciones de Gram, se registró la forma de las células y se cultivaron en agar soya tripticasa. De esta forma, se obtuvieron los cultivos puros de bacterias endófitas que se mantuvieron en refrigeración a 8° C.

**Tabla 2**

Conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable del suelo radicular de *Prosopis limensis*, Comunidad Campesina San José, Lambayeque 2019

Sector de riego	CE <sub>e</sub> *	PSI**
	dSm <sup>-1</sup>	(%)
La Compuerta	120,67	25,93
Rastrojo Baca	10,28	3,4
Grau	5,51	2,1
La Madrid	23,68	24,65

\*Conductividad eléctrica del extracto de saturación

\*\*Porcentaje de sodio intercambiable



**Figura 7**

*Raíces y ramas de Prosopis limensis, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019.*

**Figura 8**

*Hojas de Prosopis limensis, en agua destilada más detergente neutro, Lambayeque 2019.*



**Figura 9**

*Hojas de Prosopis limensis, con agua destilada esterilizada, Lambayeque 2019.*

**Figura 10**

*Fragmentos de raíces de Prosopis limensis. con solución tampón de fosfato de potasio, Lambayeque 2019.*





**Figura 11**

*Fragmentos de raíces de Prosopis Limensis desinfectadas, Lambayeque 2019.*

**Figura 12**

*Macerado de fragmentos de raíces de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.*



### 3.2.6. Selección de las bacterias endófitas de raíces y ramas de *Prosopis limensis* con base a las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal, Lambayeque 2022

En las bacterias endófitas de raíces y ramas de *Prosopis limensis*, se investigó la actividad de la enzima ACC desaminasa, la producción de ácido indol acético (AIA) y la solubilización de fosfato. Las bacterias se sembraron por duplicado en caldo mínimo de Dworkin y Foster (DF) con dos fuentes de nitrógeno: ACC (3 mM) y sulfato de amonio ( $2 \text{ gL}^{-1}$ ) o control positivo. Trascorridas 72 horas de incubación a  $30^{\circ}\text{C}$  se determinó la densidad óptica en el espectrofotómetro (Modelo Tenso Med NV-203) a 405 nm. Las bacterias que desarrollaron con el ACC como fuente de nitrógeno y la densidad óptica del caldo cultivado fue similar o mayor al control positivo se consideraron con actividad ACCD (Rangseekeaw et al., 2021).

La producción de AIA, se investigó mediante el método colorimétrico de Gordon y Weber descrito por García et al. (2010) y Li et al. (2022). Las bacterias se cultivaron en caldo nutritivo con triptófano a  $30^{\circ}\text{C}$ , en agitación constante (180 rpm) durante 72 horas. Los caldos se centrifugaron, 1 mL del sobrenadante se mezcló con 4 mL del reactivo de Salkowski y se dejó en reposo, en oscuridad por 30 minutos. La observación de un color rosado se consideró un indicador de la producción de AIA. La absorbancia se determinó en el espectrofotómetro (Modelo Tenso Med NV-203) a 530 nm y la concentración del AIA se calculó con la ecuación  $X = Y - 0,076 / 0,004$ , obtenida con diluciones sucesivas de una solución de 100 ppm de AIA.

La solubilización de fosfato *in vitro* se investigó mediante el método colorimétrico del molibdato (Escobar et al., 2011). Las bacterias se cultivaron en caldo National Botanical Research Institute's phosphate (NBRIP) a  $30^{\circ}\text{C}$ , con agitación constante (180 rpm) por 72 horas. Los caldos se centrifugaron y 20 mL se mezclaron con 4 mL del reactivo indicador y se completó a 25 mL con agua destilada. Trascorridos 20 minutos de reposo en oscuridad se observó un color azul, cuya absorbancia se determinó con el espectrofotómetro de luz visible (Modelo Tenso Med NV-203) a 690 nm. La concentración de fósforo soluble se calculó con la ecuación  $X = Y - 0,0002 / 0,07$ , obtenida con diluciones sucesivas de una solución de 2 ppm de fósforo. Las tres bacterias con actividad ACCD que

alcanzaron los mayores valores en la concentración de AIA y fósforo soluble se seleccionaron para determinar la tolerancia a la salinidad y la sequía.

### **3.2.7. Selección e identificación fenotípica del género de las bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y la sequía, Lambayeque 2022**

La tolerancia de las bacterias endófitas a la salinidad se determinó mediante el cultivo por duplicado en caldo nutritivo suplementado con concentraciones crecientes de NaCl (0,5; 1;2;4;8 %) y caldo nutritivo sin NaCl como testigo positivo. La tolerancia de las bacterias endófitas a la sequía se determinó mediante el cultivo por duplicado en caldo nutritivo suplementado con 5,10,15 y 20 % de polietilenglicol (PG-6000) para inducir estrés por sequía artificial y caldo nutritivo sin PG-6000 como testigo positivo (Azeem et al., 2022). En ambos casos después de la incubación a 30 °C durante 48 horas, se determinó la densidad óptica en el espectrofotómetro (Modelo Tenso Med NV-203) a 600 nm. Las bacterias que desarrollaron en el caldo nutritivo con NaCl o en el caldo PEG-6000 y presentaron una densidad óptica mayor del 50 % que los testigos positivos se consideraron tolerantes a la salinidad y sequía respectivamente (Li et al., 2022).

La identificación fenotípica del género de las bacterias seleccionadas se realizó con base a las características morfológicas y bioquímicas. Para la bacteria código 306 se realizaron las pruebas de catalasa, oxidasa, fluorescencia en agar King B, crecimiento a 42° C, hidrólisis del almidón y reducción de nitratos. Para la bacteria código 162 se realizaron las pruebas de fermentación en Agar Hierro-Triple Azúcar (TSI), producción de gas y sulfuro de hidrógeno, utilización de citrato, descarboxilación de lisina, formación de acetoína y producción de indol.

### **3.2.8. Efecto comparativo de dos bacterias endófitas en el crecimiento de *Zea mays L.* maíz bajo estrés por salinidad y sequía**

El ensayo se condujo bajo el diseño completamente aleatorio, DCA (Hernández et al., 2014), con arreglo factorial 3 x 4. Los tratamientos fueron 12, con tres repeticiones y dos plantas por repetición. El suelo experimental no salino se colectó en el sector de riego San Nicolás en la Comunidad Campesina San José de Lambayeque y sus características se determinaron en el Laboratorio Agrícola Análisis de Suelo y Agua (CYSAG). El análisis mostró un suelo con una



textura franco arenosa, un pH neutro, nivel bajo de sales ( $CE_e = 1,51 \text{ dSm}^{-1}$ ), nivel medio de materia orgánica (3,64 %) y niveles altos de fósforo disponible ( $55 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y potasio:  $299 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabla 3).

Se colectaron 144 kg de suelo y en 36 kg se agregó cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ,  $281 \text{ mg kg}^{-1}$ ), sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $704 \text{ mg kg}^{-1}$ ), sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ,  $101 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ,  $394 \text{ mg kg}^{-1}$ ), para lograr de forma artificial la salinización, con una  $CE_e = 8 \text{ dSm}^{-1}$  (Qadeer et al., 2022). El tratamiento con sequía se inició 10 días después de la siembra. En el suelo sin sequía se aplicó el 100% de riego ( $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de agua, contenido volumétrico) y en suelo con sequía se aplicó 45 % del riego con  $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Bheemanahalli et al., 2022).

El inóculo se obtuvo con las bacterias endófitas cultivadas en 200 mL de caldo nutritivo con 4 %  $\text{NaCl}$ , a  $30^\circ \text{ C}$  en agitación constante (120 rpm) por 24 horas. Los caldos cultivados se centrifugaron (3000 rpm) por 10 minutos, la biomasa sedimentada se lavó con solución salina ( $\text{NaCl}$  0,85 %) dos veces consecutivas y el "pellet" o biomasa se resuspendió en solución salina esterilizada ( $\text{NaCl}$  0,85 %), hasta alcanzar la densidad óptica de 1 en el espectrofotómetro a 600 nm, equivalente a  $10^6$  células/mL (Waqar et al., 2022).

Las semillas de maíz amarillo duro híbrido simple precoz ATL 200 se trataron por el método de "Slurry" con el insecticida en polvo soluble Acephato O,S- dimethyl acetylphoromidothiolate (Orthene 75 PS) y después de 24 horas (Hernández et al., 2015) se inocularon con las bacterias por inmersión. En los testigos se aplicó agua destilada. Después de 0,5 horas las semillas se sembraron en el suelo de las macetas (cuatro semillas por maceta), a 2 cm de profundidad. Después de 10 días se eliminaron las dos plántulas menos vigorosas y quedaron dos por maceta. Éstas se regaron con agua de clorada según los requerimientos de las plantas.

**Tabla 3**

*Análisis físico-químico de suelo radicular de Prosopis limensis, sector de riego San Nicolás, Comunidad Campesina San José de Lambayeque, 2019*

Clase textural	pH	CE (dSm <sup>-1</sup> )	MO (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )
Franco Arenosa	7,31	1,51	3,64	55	299

#### Métodos empleados

Textura: Método de hidrómetro

pH: Medido en la suspensión suelo: agua (1:1) con el potenciómetro

CE: Medida en el extracto de saturación (Conductímetro)

Materia orgánica: Método de Walkey & Black

Fósforo: Método de Olsen modificado

Potasio: Extracción con acetato de amonio

Transcurridos 15, 30, 45 y 60 días de la siembra se midió la altura de las plantas. A los 50 días se determinó el contenido relativo de clorofila utilizando el clorofilómetro Minottan SPAD-502 Plus. La medición se realizó por triplicado en la parte media de las hojas ubicadas en el centro de las plantas y los valores SPAD leídos (X) se transformaron a  $\text{mg g}^{-1}$  para obtener la clorofila total (Jiang et al., 2017):

$$\text{Clorofila total (mg g}^{-1}\text{)} = [0,0306 (X) + 0,144]$$

A los 60 días de la siembra, las plantas se extrajeron del suelo de las macetas, se separaron las raíces del follaje, se midió la longitud de la raíz, la raíz y el follaje se lavaron para eliminar el suelo adherido, se secó el exceso de humedad y se determinó el peso de la biomasa aérea y radicular fresca. Las raíces y follaje se deshidrataron en la estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  por 72 horas (Alam et al., 2021) y se determinó el peso de la biomasa seca. La tasa follaje/raíces se calculó al dividir el peso de la biomasa aérea fresca entre el peso de las raíces frescas (Waqar et al., 2022). Con los valores de la altura, longitud de raíces, peso de la biomasa aérea y radicular, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila se determinó el porcentaje de incremento por las bacterias endófitas investigadas (Escobar et al., 2011)

### **3.2.9. Análisis estadístico de los datos**

Los valores de la altura, longitud radicular, biomasa aérea y radicular, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila se analizaron mediante las pruebas de Shapiro — Wilk (normalidad) y Bartlett (homogeneidad de varianzas). Con los valores paramétricos se determinaron las diferencias entre los tratamientos (análisis de varianza) y la significancia ( $p < 0,05$ ) mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Hernández et al., 2014). Se utilizaron los programas Microsoft Office Word y Excel versión 2013.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Características morfológicas de las bacterias endófitas aisladas de las raíces y ramas de *Prosopis limensis Benth* “algarrobo”, Lambayeque 2019

En los tejidos de algarrobos desarrollados en suelos de la Comunidad Campesina de San José en Lambayeque, 2019 se obtuvieron 496 cultivos puros de bacterias (62,7 % Gram positivas y 37,3 % Gram negativas), entre las que el 66,53 % se aisló de raíces y el 33,47 % de ramas en agar nutritivo y MacConkey (Figuras 13 a 16). El 56,3 % de las bacterias aisladas de raíces fueron Gram positivas y el 43,7 % Gram negativas. En las raíces colectadas, a una profundidad de 30 cm, las bacterias se aislaron en agar nutritivo (75,10 %) y agar MacConkey (24,90 %). En las raíces colectadas a una profundidad de 60 cm, las bacterias se aislaron en agar nutritivo (61,18 %) y en agar MacConkey (38,82 %). En agar nutritivo las bacterias fueron Gram positivas (79,3 %) y Gram negativas (20,7 %) en las raíces a una profundidad de 30 cm y 76,9 y 23,1 %, respectivamente en las raíces a una profundidad de 60 cm. En agar MacConkey el 100% de bacterias fueron Gram negativas en las raíces de 30 y 60 cm de profundidad (Tabla 4).

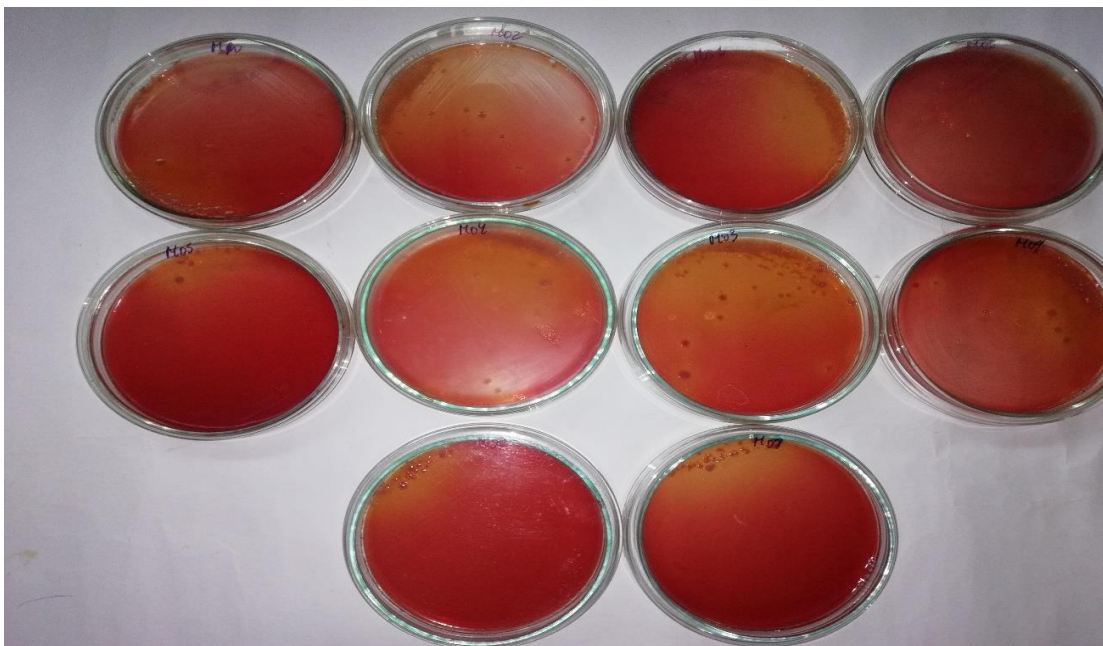
El 75,3% de bacterias aisladas de ramas fueron Gram positivas y el 24,7 % Gram negativas. En las ramas se aislaron las bacterias en agar nutritivo (83,13 %) y agar Mac Conkey (16,87 %). En agar nutritivo las bacterias fueron Gram positivas (90,5 %) y Gram negativas (9,5 %). En agar MacConkey el 100 % de bacterias fueron Gram negativas (Tabla 5). Las bacterias aisladas de raíces de plantas de algarrobo según la morfología fueron cocos (33 %), bacilos (49,4 %) y cocobacilos (17,6 %). Las bacterias aisladas de ramas según la morfología fueron cocos (24,1 %), bacilos (48,2 %) y 27,7 % de cocobacilos. En las raíces y ramas predominaron los bacilos (Figura 17, tabla 6).

**Figura 13**

*Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en agar nutritivo, Lambayeque 2019.*

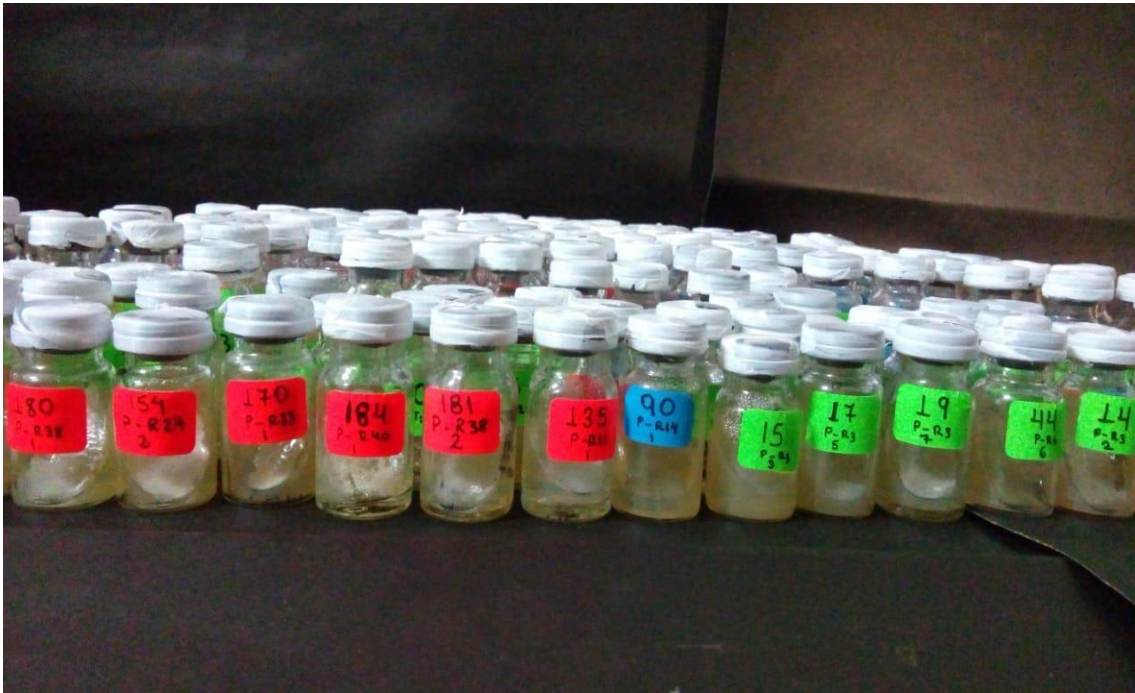
**Figura 14**

*Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en agar MacConkey, Lambayeque 2019.*

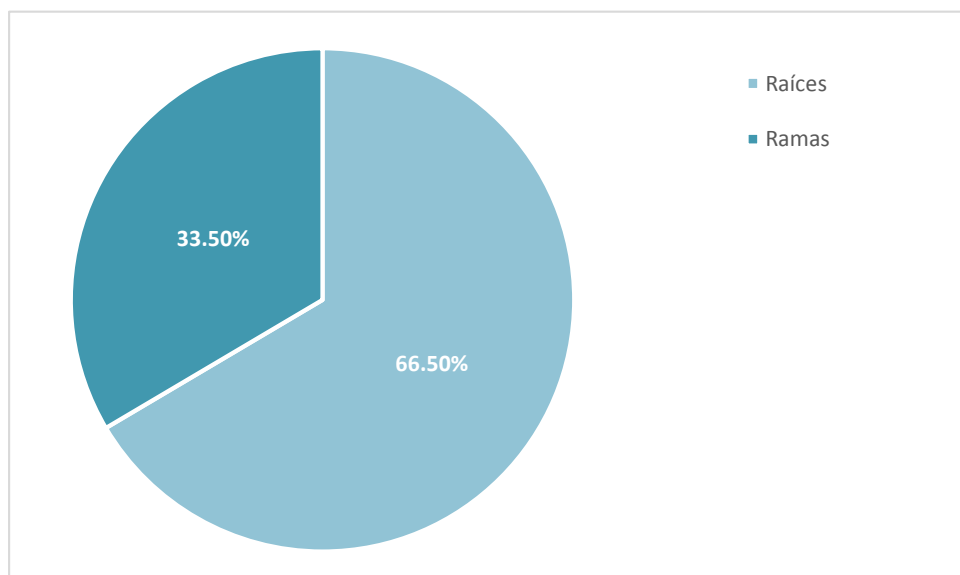


**Figura 15**

*Cultivos puros de bacterias endófitas aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.*

**Figura 16**

*Porcentaje de bacterias aisladas en raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2019.*



**Tabla 4**

*Porcentaje de bacterias Gram positivas y Gram negativas según profundidad de raíces de Prosopis limensis muestreadas y medio de cultivo de aislamiento, Lambayeque 2019*

Profundidad de raíz (cm)	Medio de cultivo de aislamiento	Cultivos puros de bacterias (%)			
		Gram positivas		Gram negativas	
		N°	%	N°	%
30	Agar nutritivo	146	79,3	38	20,7
30	Agar MacConkey	0	0	61	100,0
60	Agar nutritivo	40	76,9	12	23,1
60	Agar MacConkey	0	0	33	100,0

**Tabla 5**

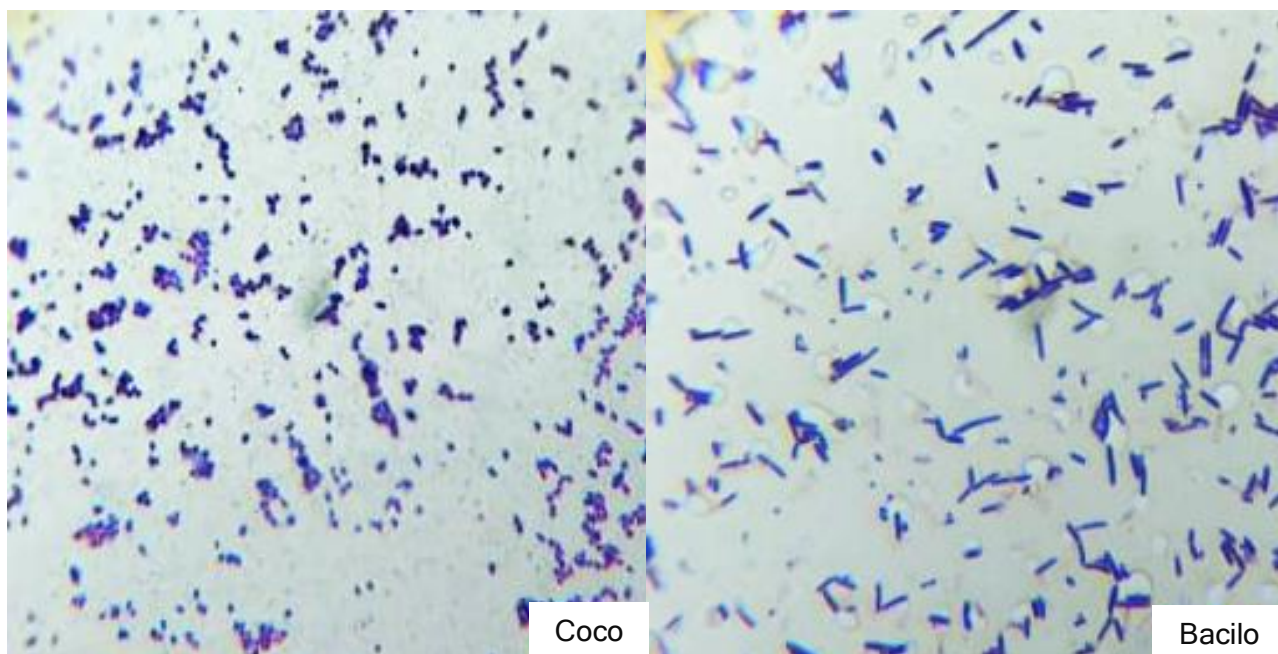
*Porcentaje de bacterias Gram positivas y Gram negativas en raíces y ramas de Prosopis limensis según el medio de cultivo de aislamiento, Lambayeque 2019*

Medio de cultivo	Cultivos puros de bacterias (%)			
	Gram positivas		Gram negativas	
	N°	%	N°	%
Agar nutritivo	125	90,5	13	9,5
Agar Mac conkey	0	0	28	100



**Figura 17**

Observación microscópica (100 x) de cocos y bacilos en bacterias aisladas de raíces y ramas de *Prosopis limensis*, Lambayeque 2019.

**Tabla 6**

Porcentaje de bacterias según morfología y reacción a la coloración de Gram, aisladas de raíces y ramas de *Prosopis limensis*, Lambayeque 2019

Órgano vegetal	Morfología bacteriana	Reacción a la coloración de Gram (%)			
		Gram positivas		Gram negativas	
		N°	%	N°	%
Raíces	Cocos	80	73,3	29	26,7
Raíces	Bacilos	86	52,7	77	47,3
Raíces	Cocobacilos	20	34,4	38	65,6
Ramas	Cocos	26	65	14	35
Ramas	Bacilos	65	81,2	15	18,8
Ramas	Cocobacilos	34	73,9	12	26,1



#### **4.2. Bacterias endófitas seleccionadas con base a las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal, Lambayeque 2022**

Las características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal investigadas fueron la actividad ACCD, la producción de AIA y la solubilización de fosfatos. El 7,9 % de las bacterias endófitas de plantas de algarrobo equivalente a 39 bacterias demostraron actividad de la enzima ACCD, debido a que desarrollaron utilizando el ACC como fuente de nitrógeno. El crecimiento bacteriano se evidenció por la absorbancia del caldo de cultivo con ACC como fuente de nitrógeno, cuyos valores fueron mayores a los del medio de cultivo con sulfato de amonio como testigo (Figuras 18 a 20). Las bacterias con actividad ACCD fueron aisladas de raíces (87,2 %) y tallos (12,8 %) y según la reacción a la coloración de Gram fueron Gram positivas (71.8 %) y Gram negativas (28.2 %).

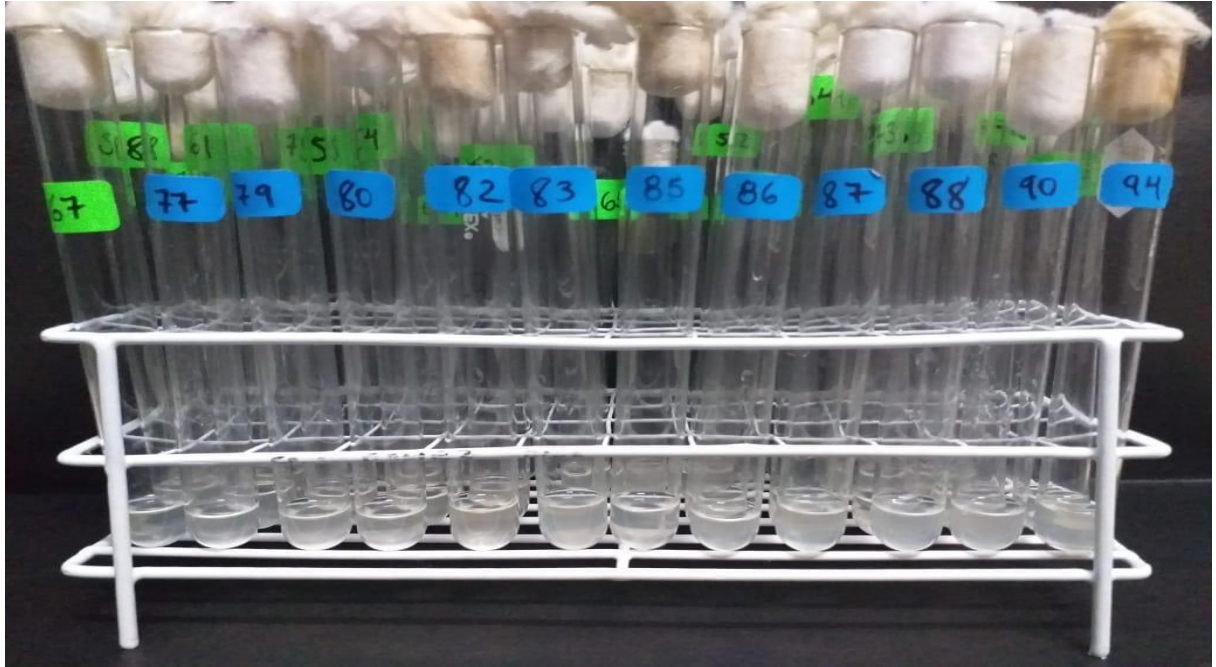
El 76,92 % de las bacterias con actividad ACCD sintetizaron ácido indol acético con rango de 4,47 – 15,80 ppm. El 61,53% de las bacterias con actividad ACCD solubilizaron fosfato tricálcico y se determinó un rango de 2,02 – 10,21 ppm de fósforo soluble. Las bacterias con actividad ACCD que alcanzaron los tres mayores valores en la concentración de AIA y fósforo soluble se seleccionaron para determinar la tolerancia a la salinidad y sequía (Tabla 8).

#### **4.3. Bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y sequía aisladas e identificadas fenotípicamente, Lambayeque 2022**

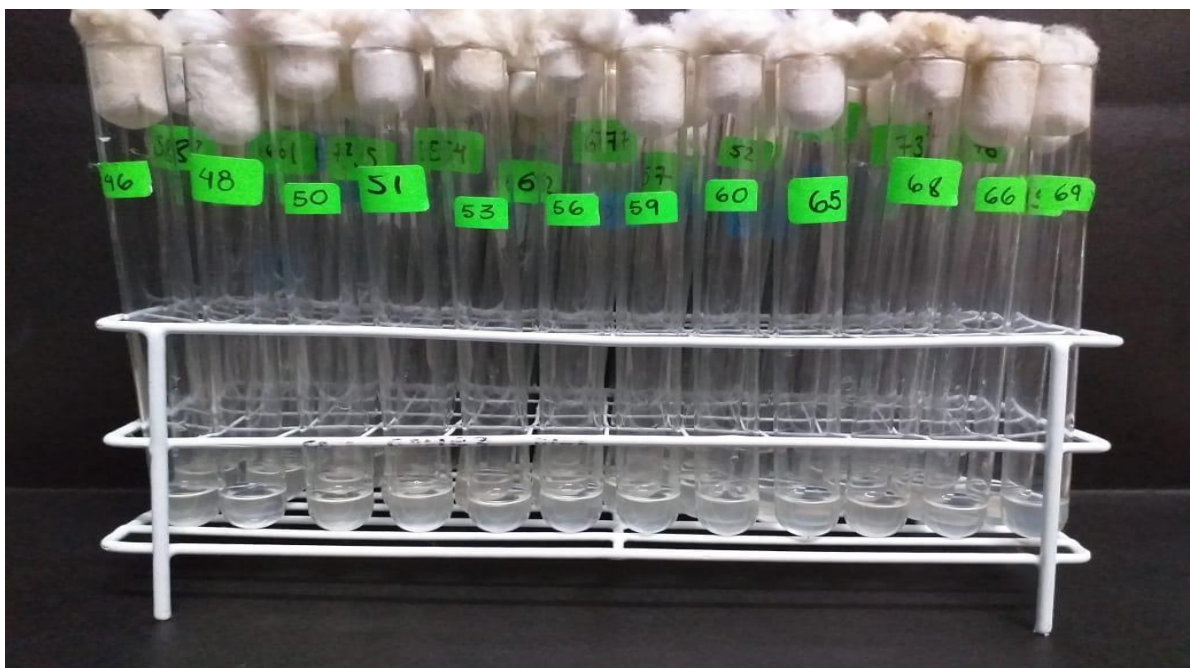
Las bacterias con códigos 306 y 162 se calificaron como tolerantes a la salinidad, porque crecieron en caldo nutritivo suplementado con 0 – 8 % de NaCl y la densidad óptica en el espectrofotómetro de luz visible (600 nm) fue mayor del 50 % de la densidad del testigo positivo (caldo nutritivo sin NaCl). Asimismo, estas bacterias se calificaron como tolerantes a la sequía porque crecieron en caldo nutritivo suplementado con 0 – 20 % PEG – 6000 y la densidad óptica a 600 nm fue mayor del 50 % de la densidad del testigo positivo o caldo nutritivo sin PEG – 6000. Las bacterias con códigos 306 y 162 se identificaron fenotípicamente en los géneros *Pseudomonas* y *Klebsiella*, respectivamente (Figuras 21, 22, tabla 6). La bacteria código 354 no se seleccionó porque creció en caldo nutritivo con PEG – 600; sin embargo, la densidad óptica de los caldos con 15 y 20 % fue menor del 50 % de los testigos positivos.

**Figura 18**

*Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en medio de cultivo con ACC como fuente de nitrógeno, Lambayeque 2022.*

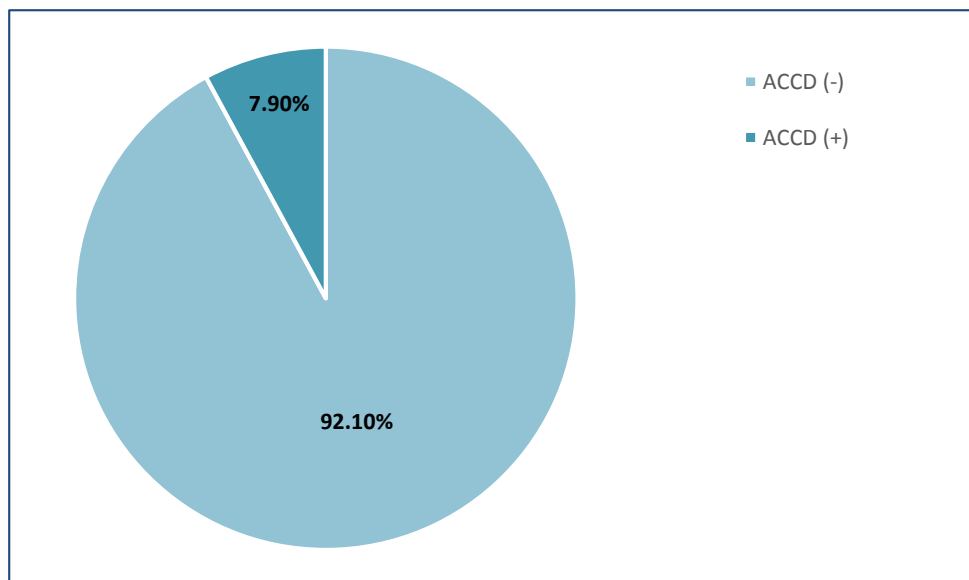
**Figura 19**

*Bacterias endófitas de Prosopis limensis desarrolladas en medio de cultivo con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, Lambayeque 2022.*



**Figura 20**

*Porcentaje de bacterias con actividad de la enzima ACCD aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.*



**Tabla 7**

*Densidad óptica comparativa de caldo mínimo con ACC y sulfato de amonio como fuentes de nitrógeno, cultivado con bacterias endófitas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022*

Código de bacteria	ACC		Sulfato de amonio	
	Densidad	Densidad corregida	Densidad	Densidad corregida
8	0,161	0,060	0,127	0,026
10	0,172	0,071	0,132	0,031
15	0,159	0,058	0,130	0,029
22	0,194	0,093	0,156	0,055
48	0,133	0,032	0,125	0,024
63	0,203	0,102	0,134	0,033
87	0,208	0,107	0,177	0,076
99	0,239	0,138	0,204	0,103
112	0,207	0,106	0,194	0,093
131	0,297	0,196	0,167	0,066
139	0,499	0,398	0,457	0,356
142	0,244	0,143	0,194	0,093
162	0,427	0,326	0,410	0,309
177	0,209	0,108	0,187	0,086
185	0,294	0,193	0,183	0,082
188	0,199	0,098	0,172	0,071
195	0,277	0,176	0,202	0,101
229	0,188	0,087	0,152	0,051
242	0,258	0,157	0,233	0,132
254	0,285	0,184	0,260	0,159
262	0,205	0,104	0,191	0,090
276	0,223	0,122	0,194	0,093
288	0,182	0,081	0,151	0,050
306	0,187	0,086	0,152	0,051
312	0,197	0,096	0,171	0,070
315	0,214	0,113	0,182	0,081
316	0,229	0,128	0,199	0,098
323	0,168	0,067	0,141	0,040
339	0,177	0,076	0,144	0,043
354	0,204	0,103	0,173	0,072
368	0,173	0,072	0,131	0,030
378	0,195	0,094	0,172	0,071
388	0,166	0,065	0,135	0,034
403	0,188	0,087	0,149	0,048
409	0,145	0,044	0,139	0,038
412	0,185	0,084	0,156	0,055
426	0,174	0,073	0,151	0,050
432	0,215	0,114	0,129	0,028
442	0,273	0,172	0,133	0,032

\*Densidad óptica:

Testigo ACC= 0,101

Testigo sulfato de amonio= 0,125

**Tabla 8**

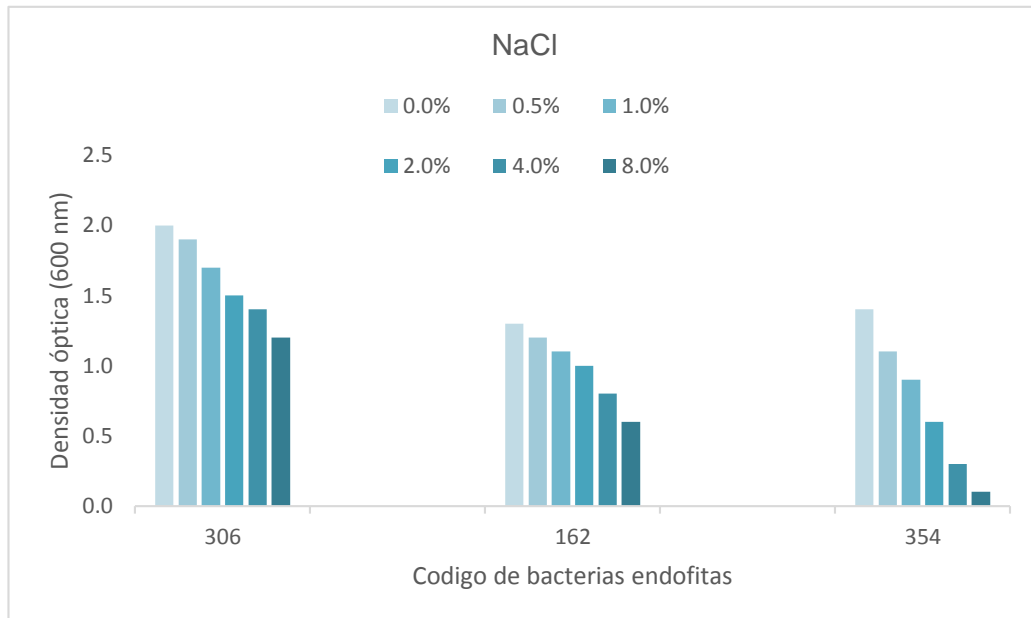
*Concentración (ppm) de ácido indol acético y fósforo solubilizado por bacterias endófitas con actividad ACCD aisladas de raíces y ramas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022*

Código de bacteria	Procedencia			AIA (ppm)	Fósforo Soluble (ppm)
306*	Raíz	-	La Compuerta	15,80	10,21
162*	Raíz	-	La Madrid	13,58	9,84
354*	Ramas	-	La Madrid	13,13	8,77
388	Ramas	-	La Madrid	12,91	8,09
339	Raíz	-	La Compuerta	12,91	0,00
323	Raíz	-	La Madrid	12,47	7,99
378	Raíz	-	La Madrid	11,58	7,95
368	Raíz	-	Rastrojo Baca	11,58	7,57
288	Raíz	-	La Compuerta	10,91	5,69
262	Raíz	-	Rastrojo Baca	10,47	5,22
254	Raíz	-	Rastrojo Baca	10,47	0,00
312	Raíz	-	La Compuerta	10,02	0,00
315	Raíz	-	La Madrid	9,58	5,05
276	Raíz	-	La Madrid	9,13	3,85
316	Raíz	-	La Madrid	8,69	3,54
142	Raíz	-	La Compuerta	8,69	3,14
185	Raíz	-	La Madrid	8,69	2,81
188	Raíz	-	La Madrid	8,24	0,00
195	Raíz	-	La Madrid	8,02	2,74
229	Raíz	-	La Compuerta	7,80	2,61
242	Raíz	-	La Compuerta	7,58	2,34
48	Ramas	-	La Madrid	7,58	2,18
8	Ramas	-	La Madrid	7,36	0,00
15	Raíz	-	La Madrid	6,91	2,18
426	Raíz	-	La Compuerta	6,47	2,14
409	Raíz	-	La Madrid	6,24	2,14
403	Raíz	-	Rastrojo Baca	5,80	2,08
22	Raíz	-	La Compuerta	5,80	2,08
10	Raíz	-	La Compuerta	4,69	0,00
87	Raíz	-	Rastrojo Baca	4,47	2,02

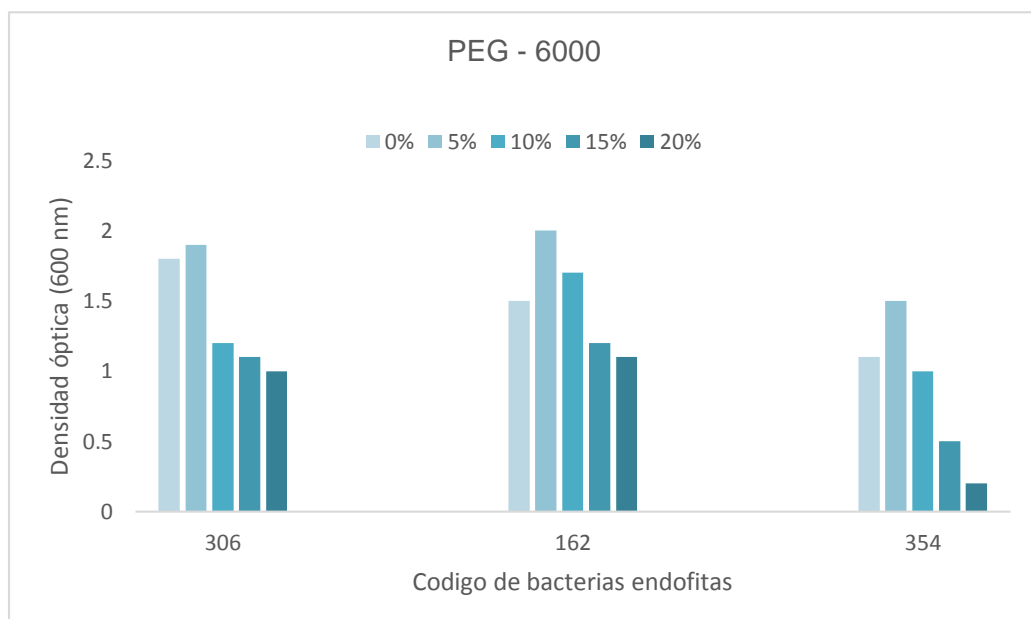
\*Bacterias seleccionadas

**Figura 21**

*Densidad óptica de caldo nutritivo con cloruro de sodio cultivado con bacterias endófitas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.*

**Figura 22**

*Densidad óptica de caldo nutritivo con PEG - 6000 cultivado con bacterias endófitas de Prosopis limensis, Lambayeque 2022.*



**Tabla 9**

*Características fenotípicas diferenciales de los géneros Pseudomonas y Klebsiella identificados en bacterias endófitas tolerantes a la salinidad y sequía, Lambayeque 2022*

Características fenotípicas	Género <i>Pseudomonas</i>	Características fenotípicas	Género <i>Klebsiella</i>
Prueba de catalasa	(+)	Fermentación en TSI	(A/A)
Prueba de oxidasa	(+)	Producción de gas	(+)
Fluorescencia en agar King B	(+)	Producción de sulfuro de hidrógeno	(-)
Crecimiento a 42°	(-)	Utilización de citrato	(+)
Hidrólisis del almidón	(-)	Descarboxilación de lisina	(+)
Reducción de nitratos	(-)	Formación de acetoína	(+)
		Producción de indol	(-)

#### **4.4. Efecto comparativo de las bacterias endófitas en el crecimiento de *Z. mays* L. “maíz” bajo estrés por salinidad y sequía**

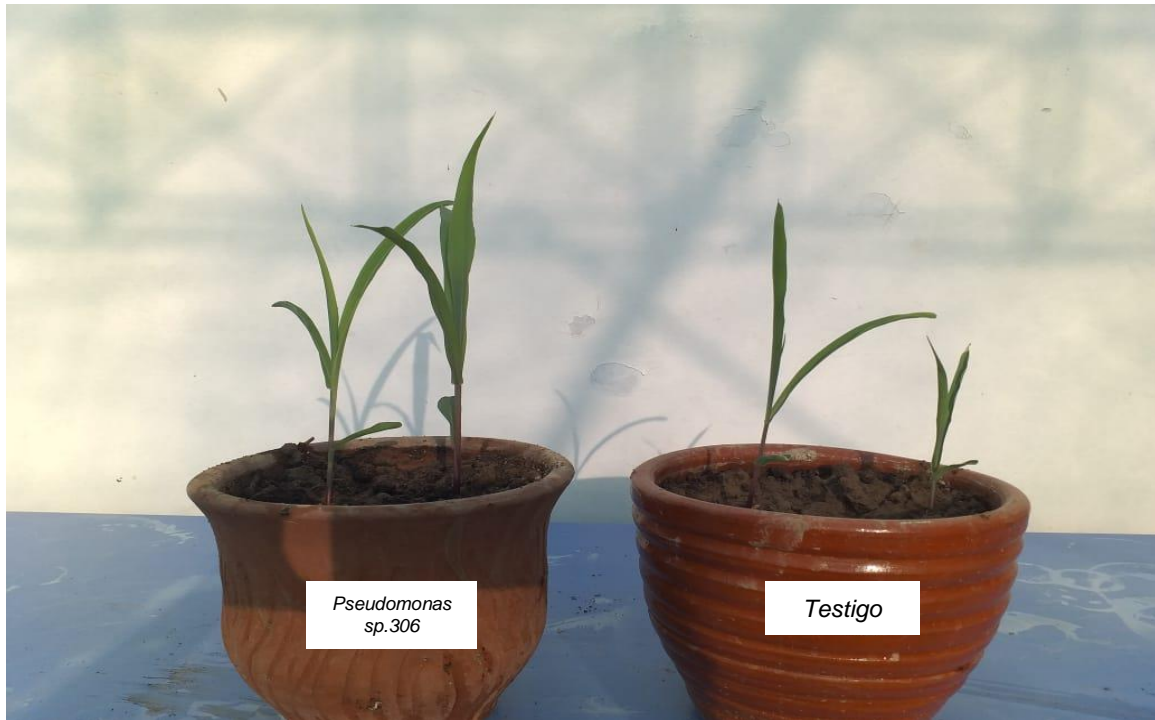
La salinidad y la sequía afectaron en forma negativa la altura, biomasa aérea fresca y seca, longitud radicular, biomasa radicular fresca y seca, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila de las plantas de maíz en comparación con los testigos en suelos no salino y sin sequía, respectivamente; no obstante, las bacterias endófitas *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp.162 disminuyeron el impacto negativo del estrés por las condiciones desfavorables (Figuras 23 a 52). Los parámetros de crecimiento en los que se registraron las mayores reducciones fueron la altura, longitud radicular y biomasa radicular fresca y seca en las plantas bajo salinidad y la biomasa aérea fresca y seca, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila en las plantas bajo sequía.

Los mayores porcentajes de incremento en el crecimiento de maíz por las bacterias investigadas se alcanzaron en el suelo salino, en lo correspondiente a la altura (15 y 30 días), longitud de raíz (36,98 – 43,4 %), biomasa radicular fresca (25,48 – 26,96 %) y seca (22,48 – 46,68 %), biomasa aérea fresca (26,61 – 33,33 %) y contenido de clorofila (20,08 – 27,11 %) y en el suelo con sequía en la biomasa aérea seca (26,61 – 27,63 %) y tasa follaje/raíces con 8,66 – 11 % (Figuras 53 a 61). En la mayoría de parámetros de crecimiento, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 superaron al testigo químico, a excepción de la longitud de la raíz cuyos valores fueron similares (43,92 %). En lo que respecta a las bacterias investigadas con *Pseudomonas* sp. 306 se alcanzaron los mayores porcentajes de incremento en todos los parámetros de maíz analizados.

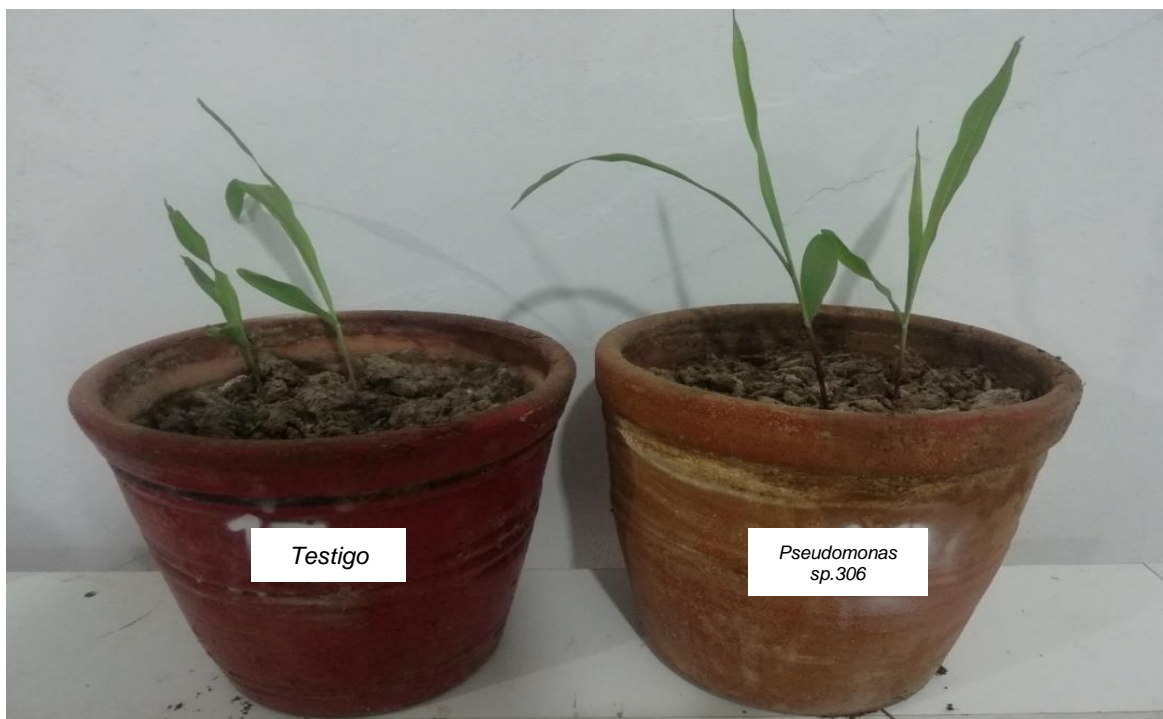


**Figura 23**

*Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino.*

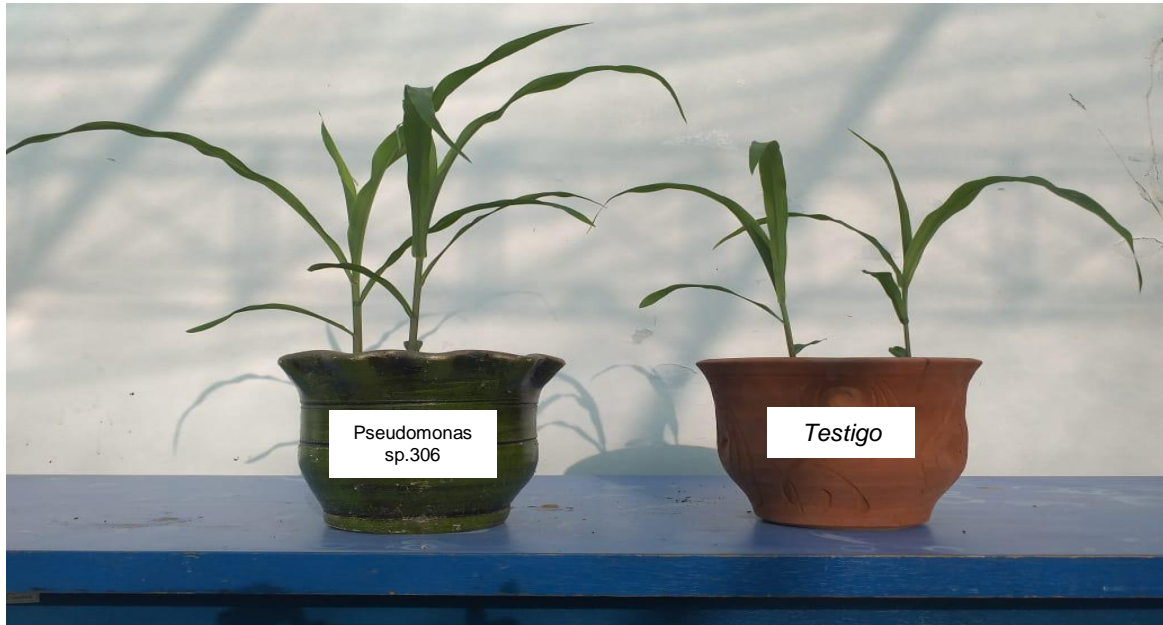
**Figura 24**

*Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.*



**Figura 25**

*Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino*

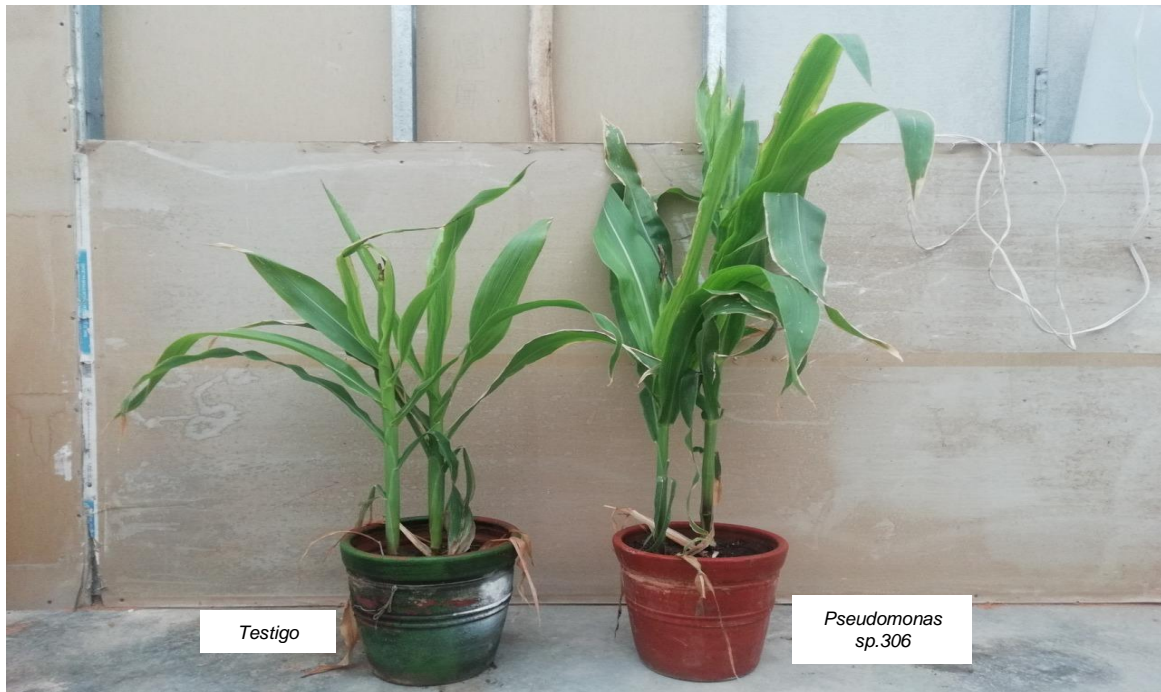
**Figura 26**

*Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo no salino.*



**Figura 27**

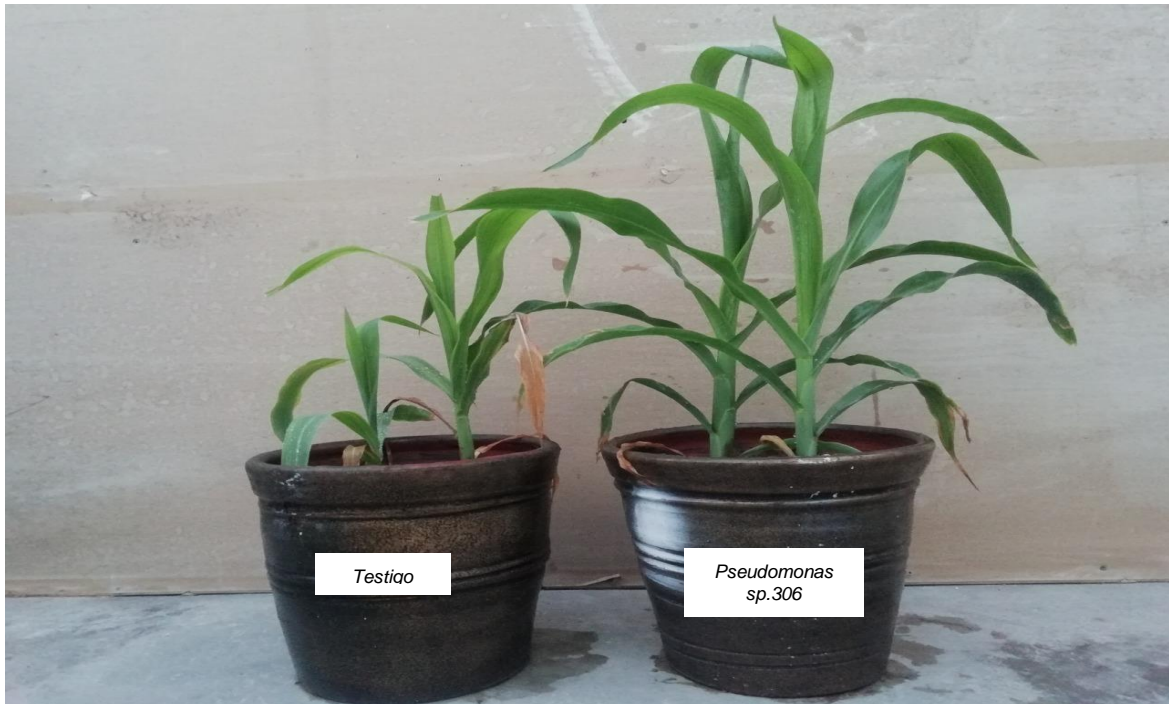
*Plantas de Zea mays L., 45 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.*



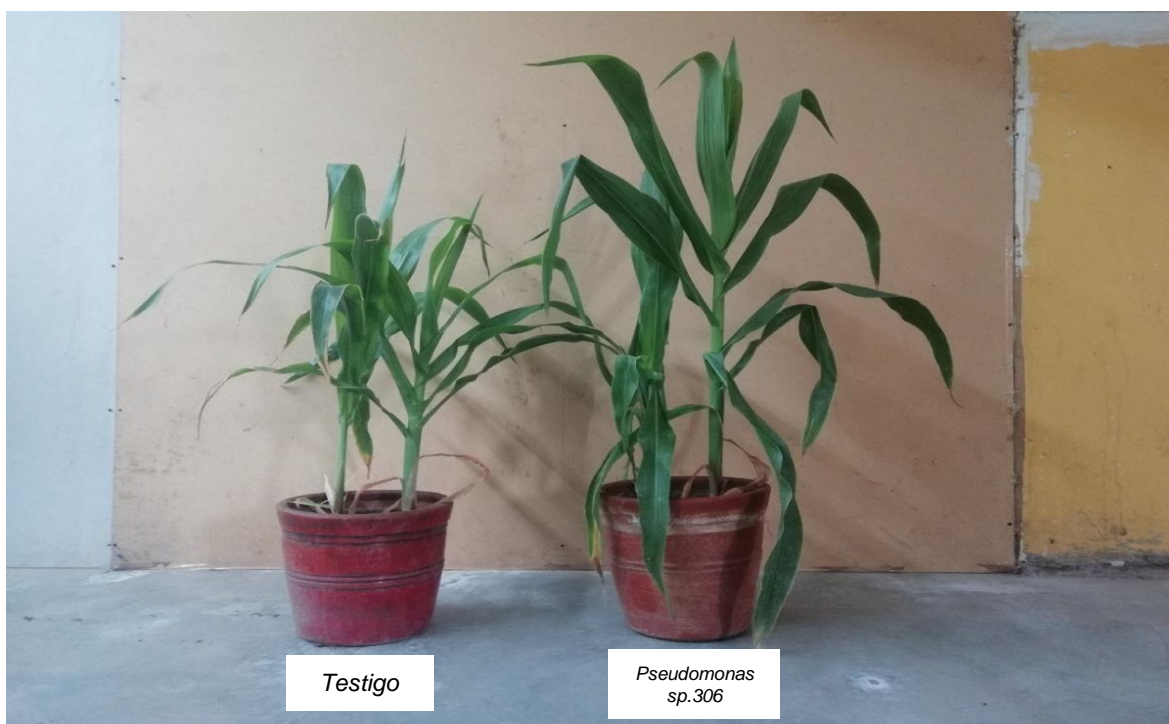


**Figura 28**

*Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino.*

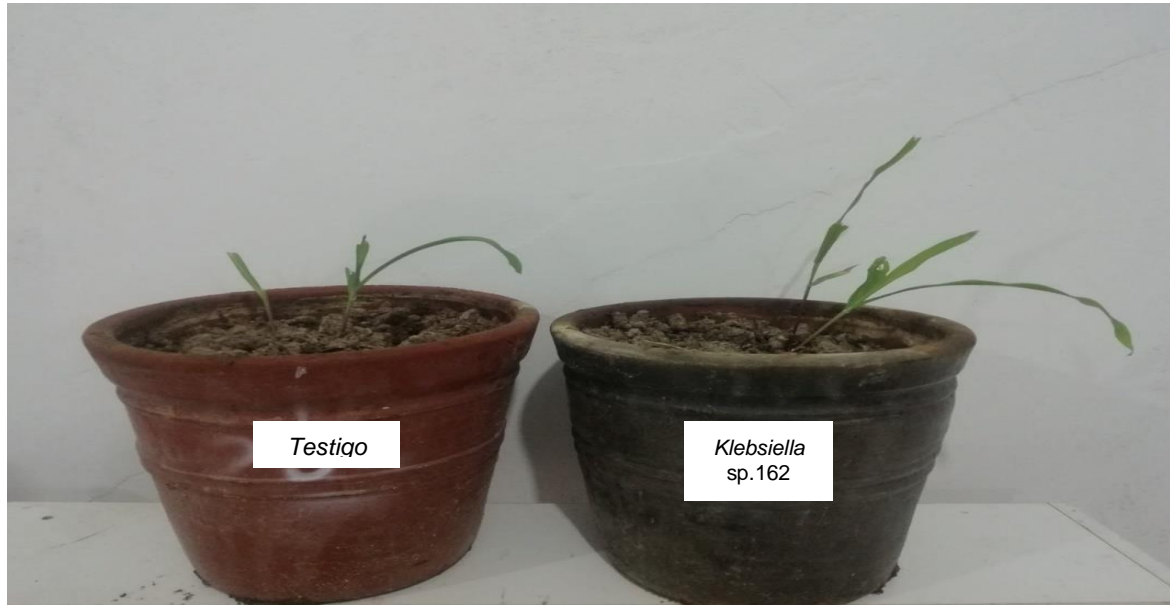
**Figura 29**

*Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo no salino.*

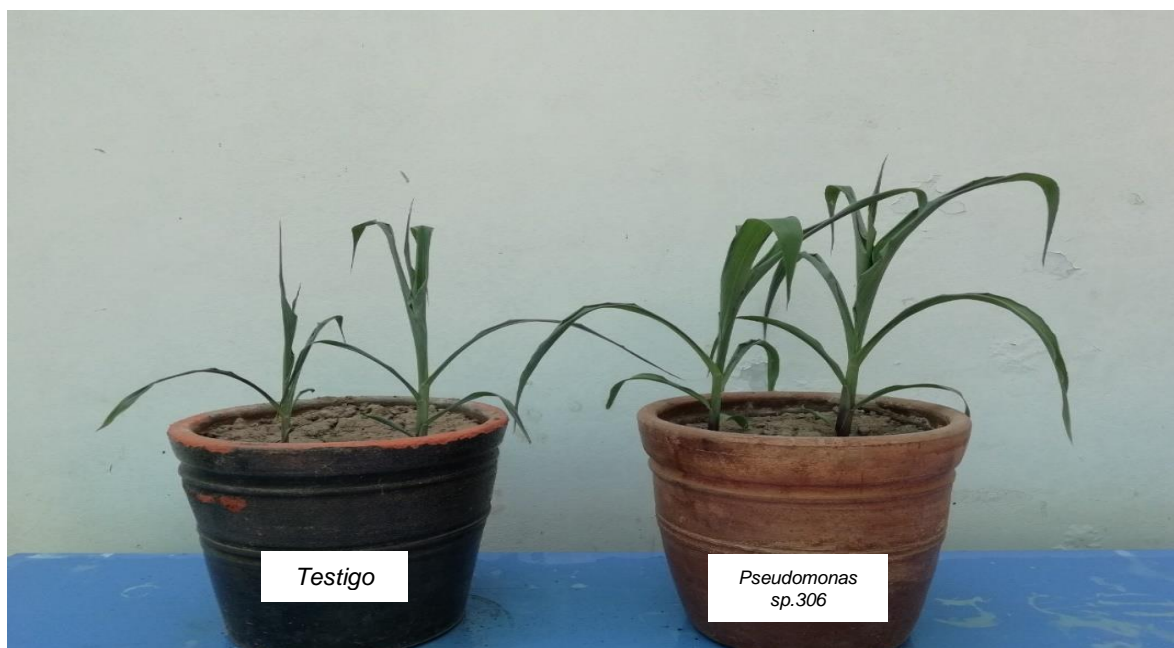


**Figura 30**

*Plantas de Zea mays L., 15 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo con sequía.*

**Figura 31**

*Plantas de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.*



**Figura 32**

*Plantas de Zea mays L., 45 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.*

**Figura 33**

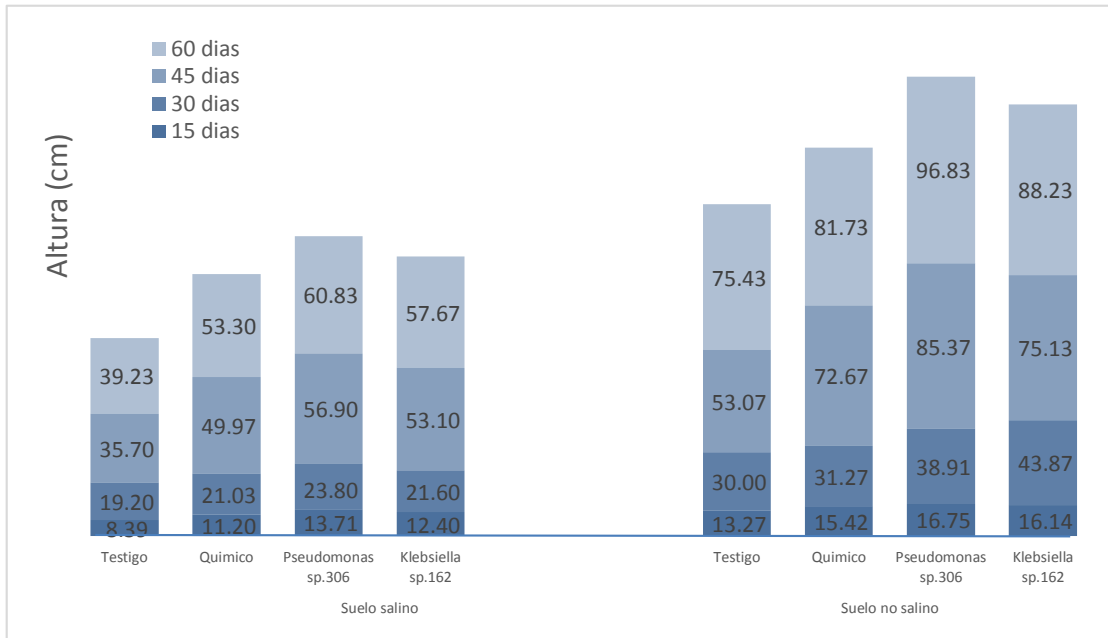
*Plantas de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.*





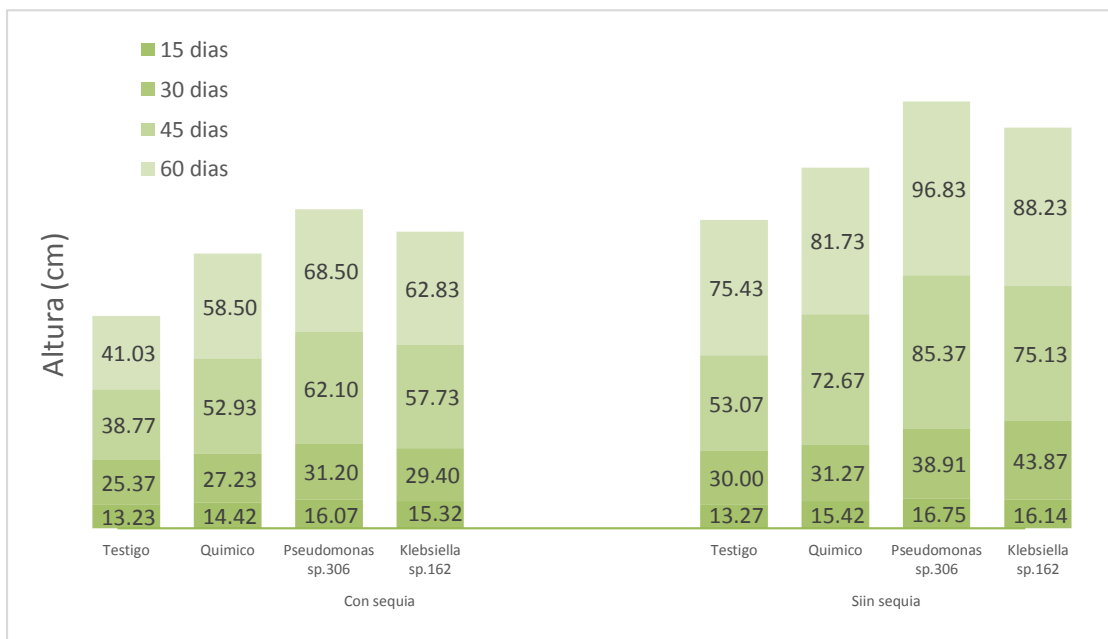
**Figura 34**

*Altura de plantas de Zea mays L. a los 15, 30, 45 y 60 días, inoculadas con Pseudomonas sp. 306. y Klebsiella sp.162 en suelos salino y no salino.*



**Figura 35**

*Altura de plantas de Zea mays L. a los 15, 30, 45 y 60 días, inoculadas con Pseudomonas sp. 306 y Klebsiella sp. 162 en suelos con sequía y sin sequía.*



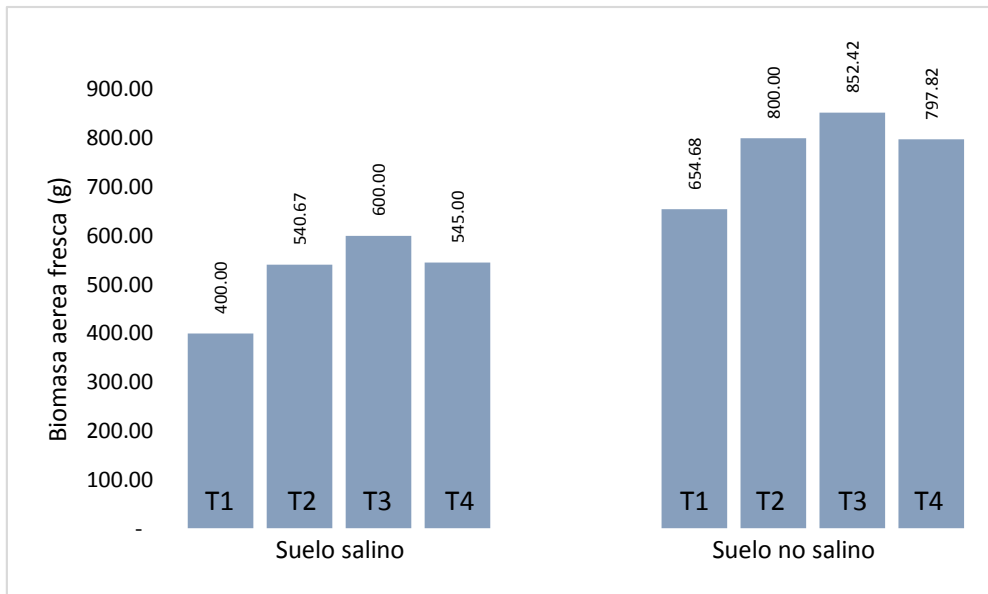
**Figura 36**

*Biomasa aérea seca de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo con sequía.*

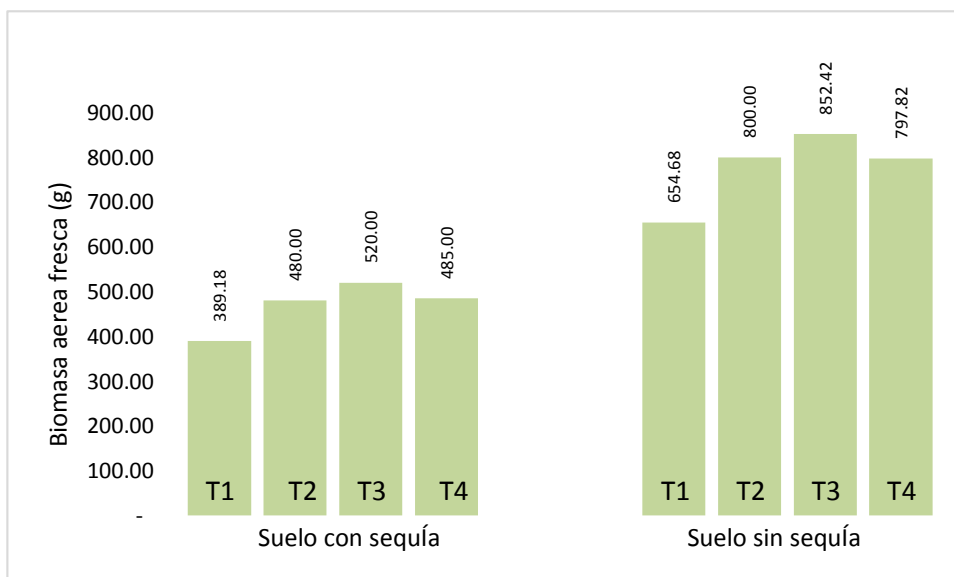


**Figura 37**

*Biomasa aérea fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

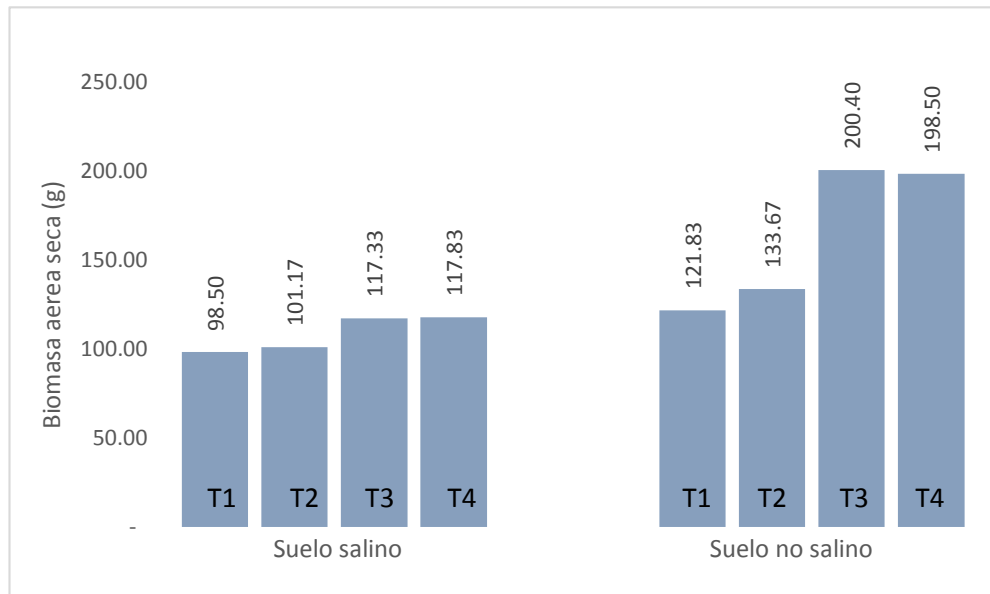
**Figura 38**

*Biomasa aérea fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con sequía y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

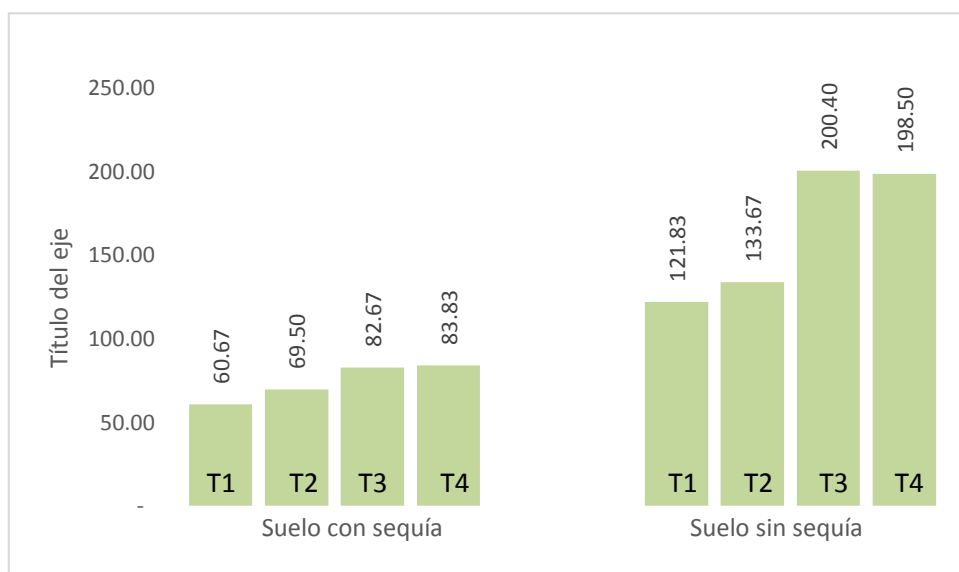


**Figura 39**

*Biomasa aérea seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

**Figura 40**

*Biomasa aérea seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp.306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*



**Figura 41**

*Raíces de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Pseudomonas sp.306 en suelo salino.*

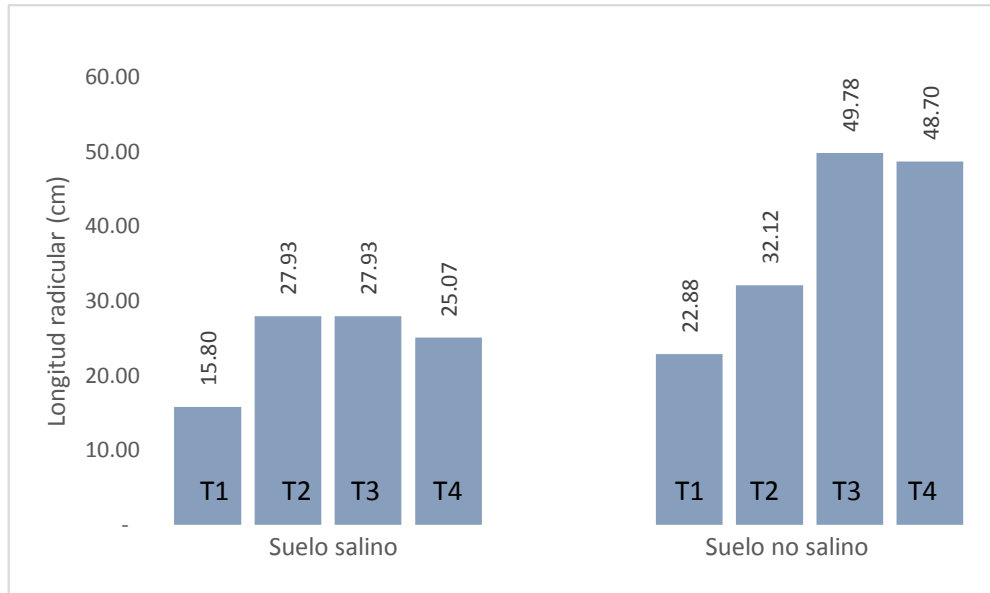
**Figura 42**

*Raíces de Zea mays L., 60 días después de la inoculación de Klebsiella sp.162 en suelo no salino.*

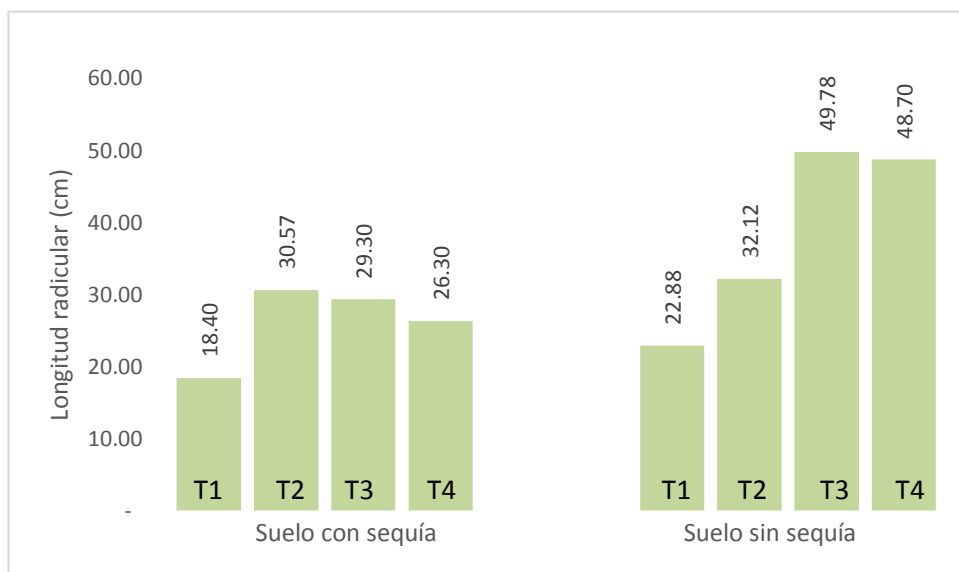


**Figura 43**

*Longitud radicular de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

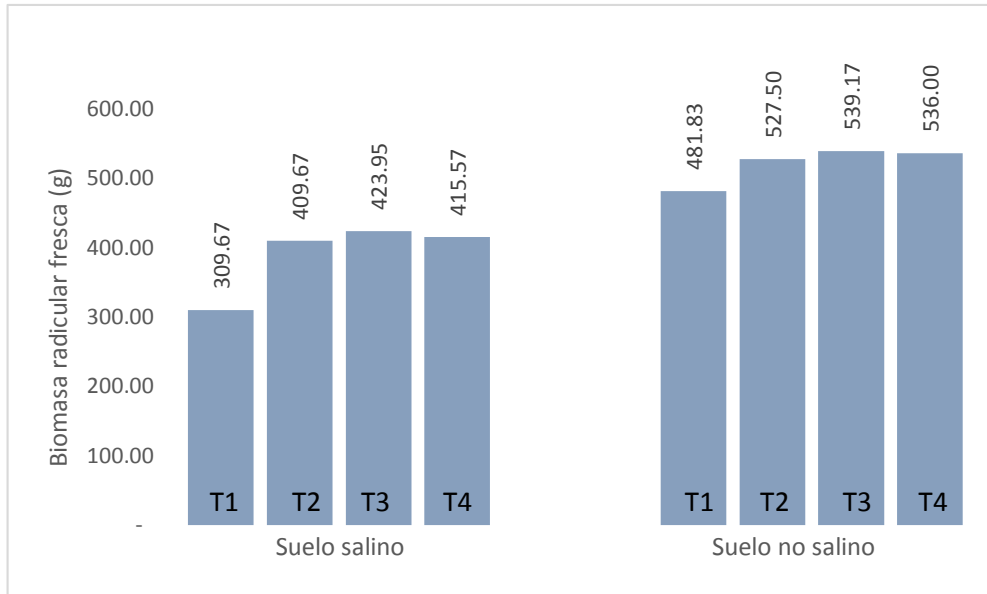
**Figura 44**

*Longitud radicular de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

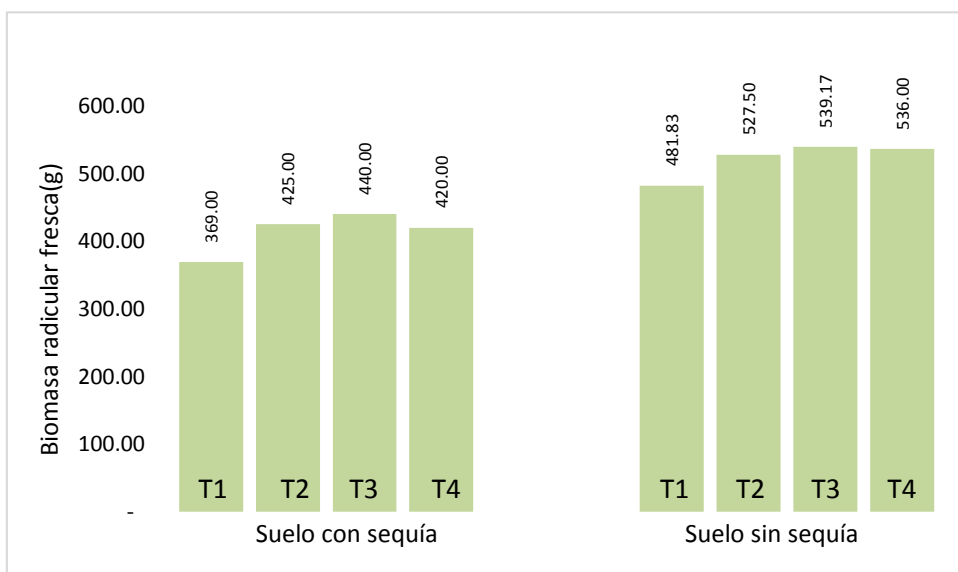


**Figura 45**

*Biomasa radicular fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

**Figura 46**

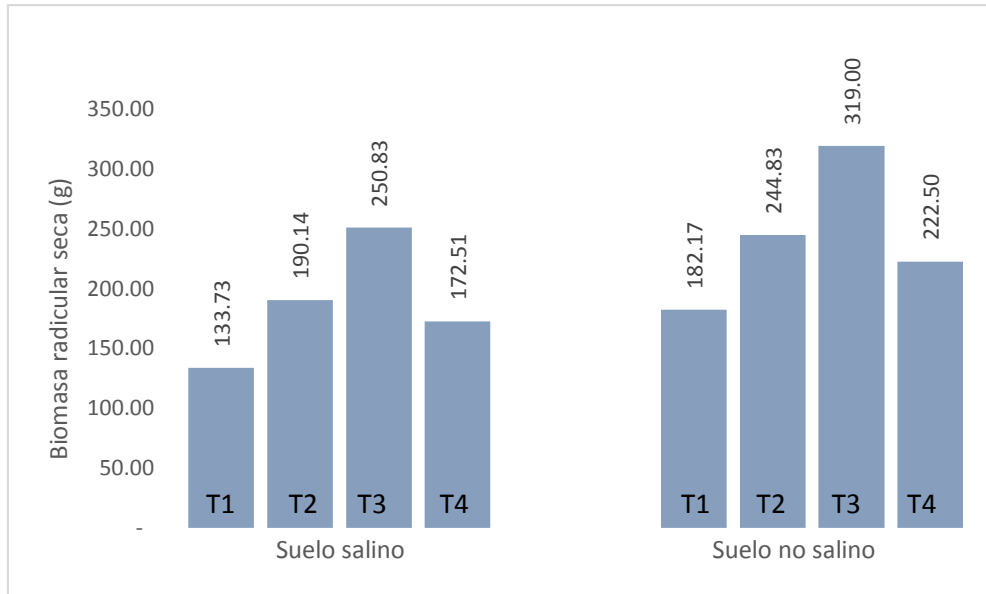
*Biomasa radicular fresca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*



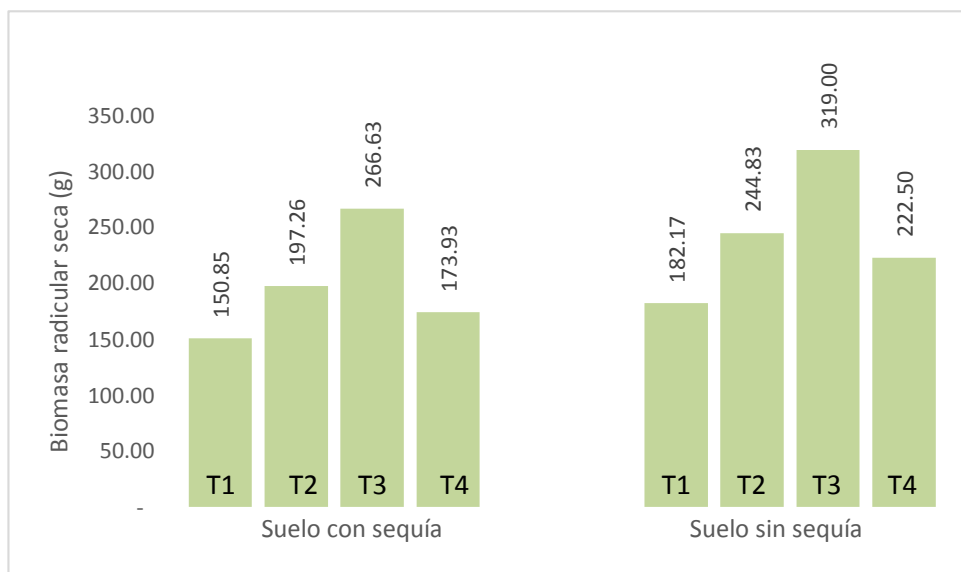


**Figura 47**

*Biomasa radicular seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp.306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

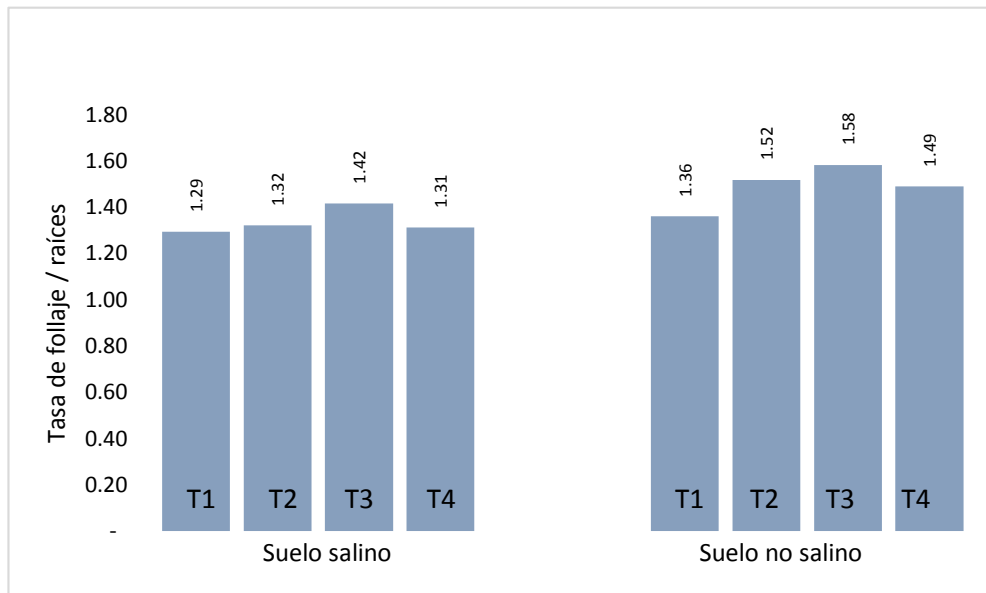
**Figura 48**

*Biomasa radicular seca de plantas de Zea mays L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3) y Klebsiella sp. 162 (T4).*

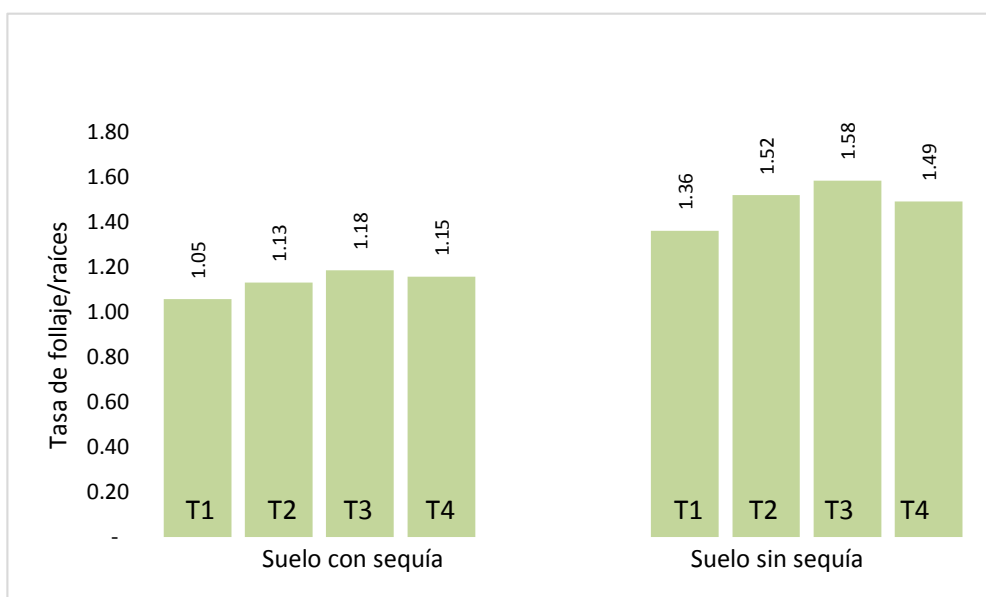


**Figura 49**

Tasa de follaje / raíces de plantas de *Zea mays* L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3) y *Klebsiella* sp. 162 (T4).

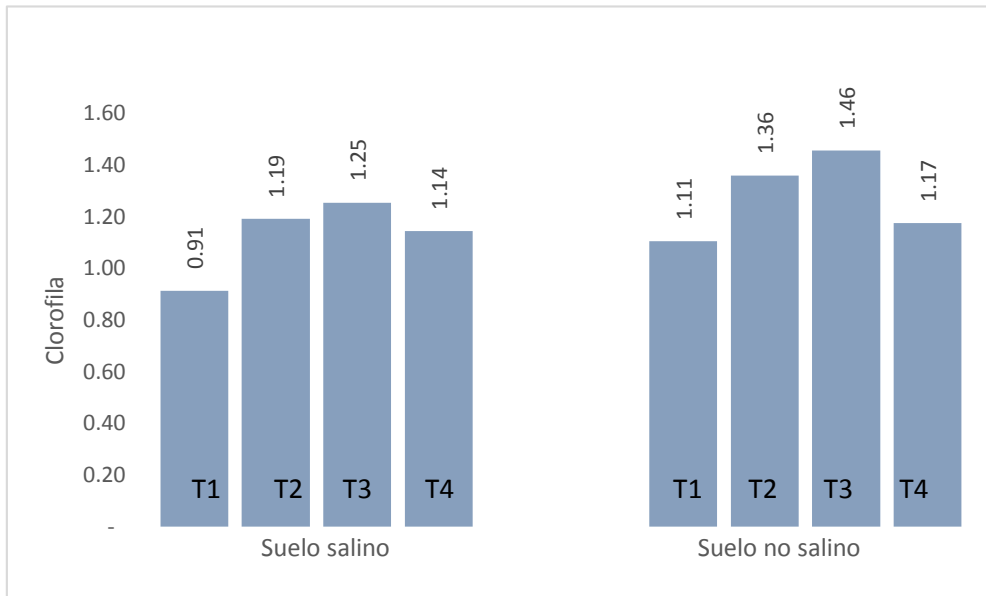
**Figura 50**

Tasa de follaje / raíces de plantas de *Zea mays* L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3) y *Klebsiella* sp. 162 (T4).

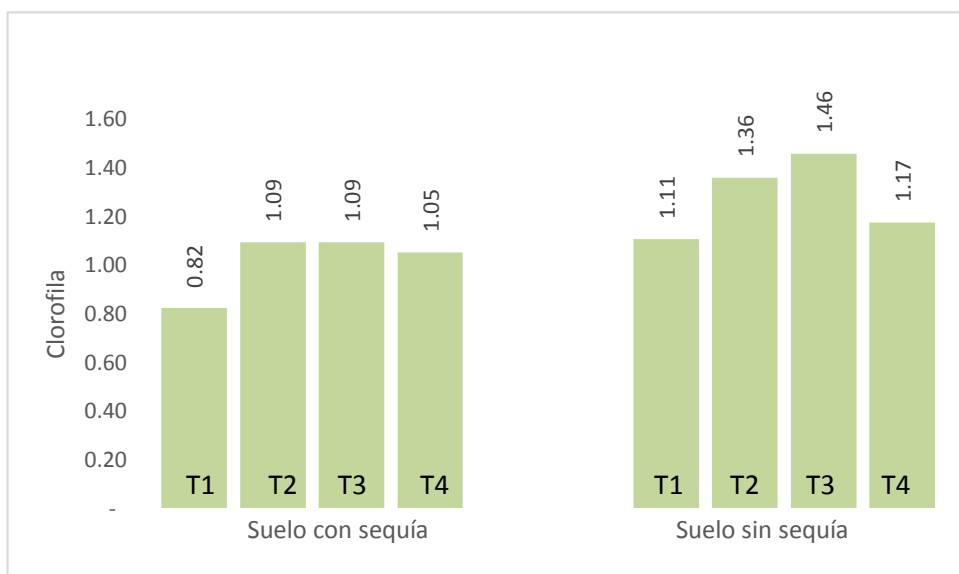


**Figura 51**

Clorofila en plantas de *Zea mays* L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos salino y no salino; testigo (T1), testigo químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3) y *Klebsiella* sp. 162 (T4).

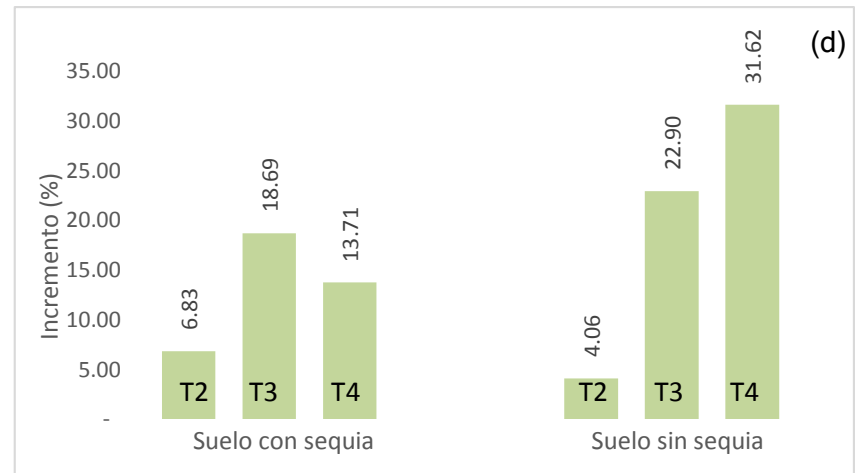
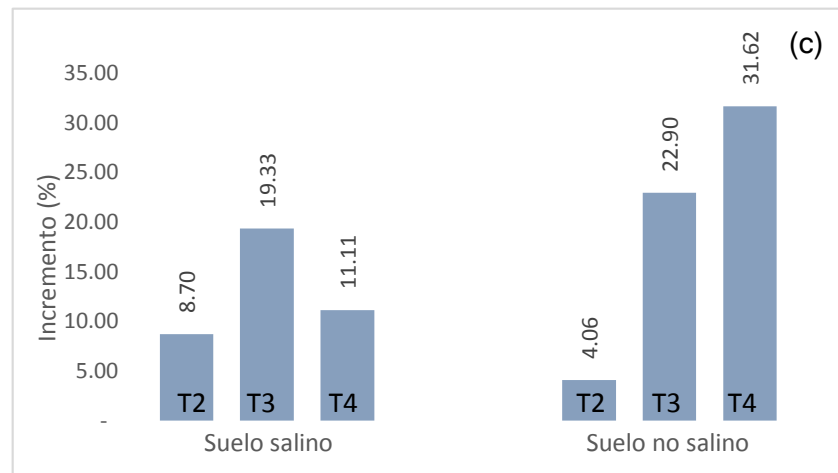
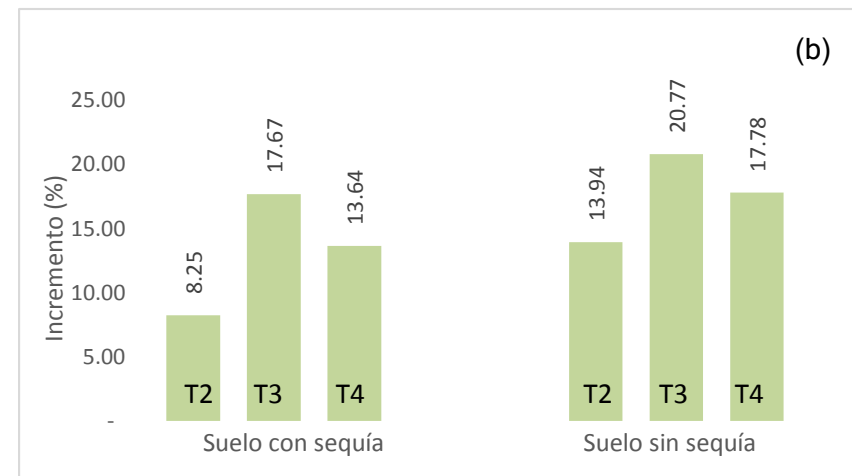
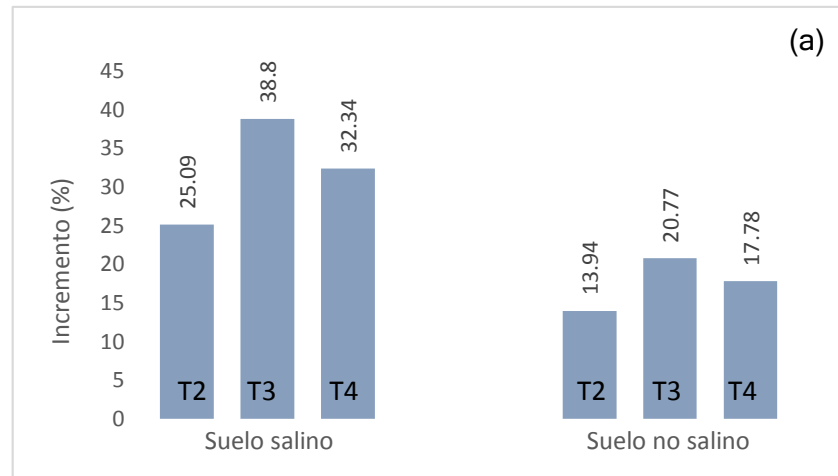
**Figura 52**

Clorofila en raíces de plantas de *Zea mays* L. 60 días después de la inoculación con bacterias endófitas en suelos con y sin sequía; testigo (T1), testigo químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3) y *Klebsiella* sp. 162 (T4).



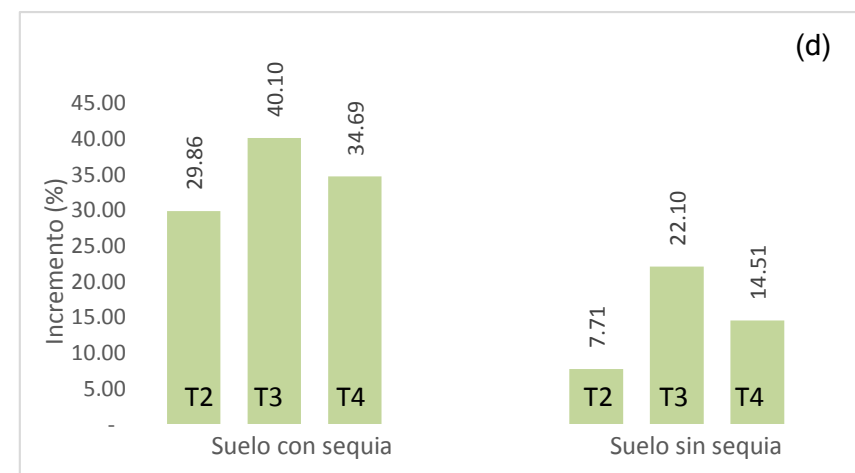
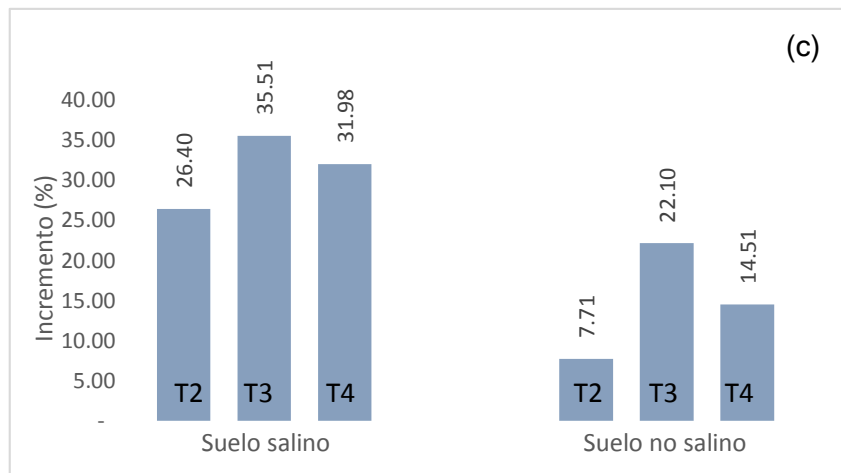
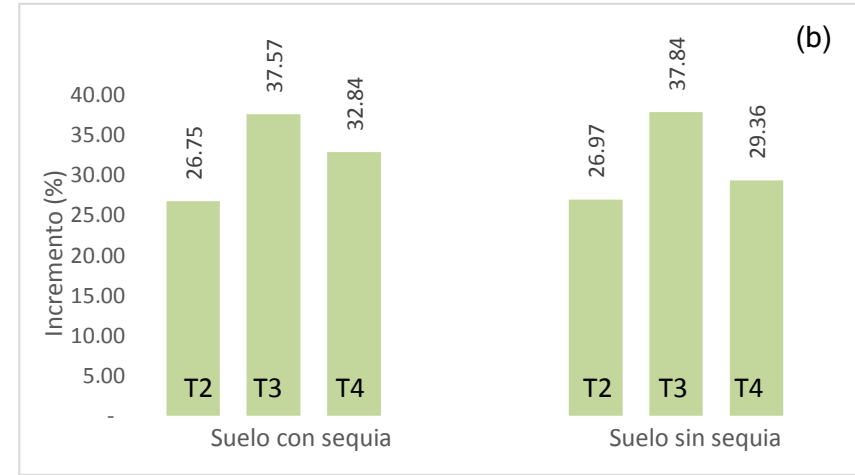
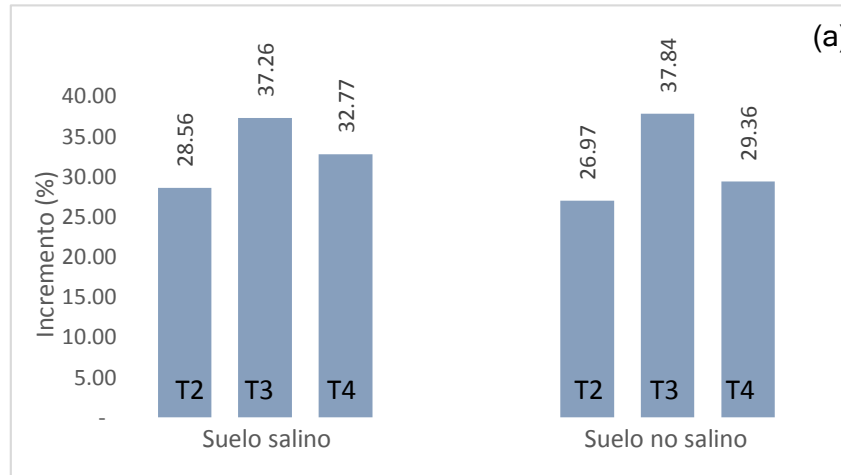
**Figura 53**

Incremento (%) en la altura de *Zea mays* L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 15 (a, b) y 30 días (c, d) después de la aplicación de fertilizante químico (T2), *Pseudomonas* sp. 306 (T3), *Klebsiella* sp.162 (T4).



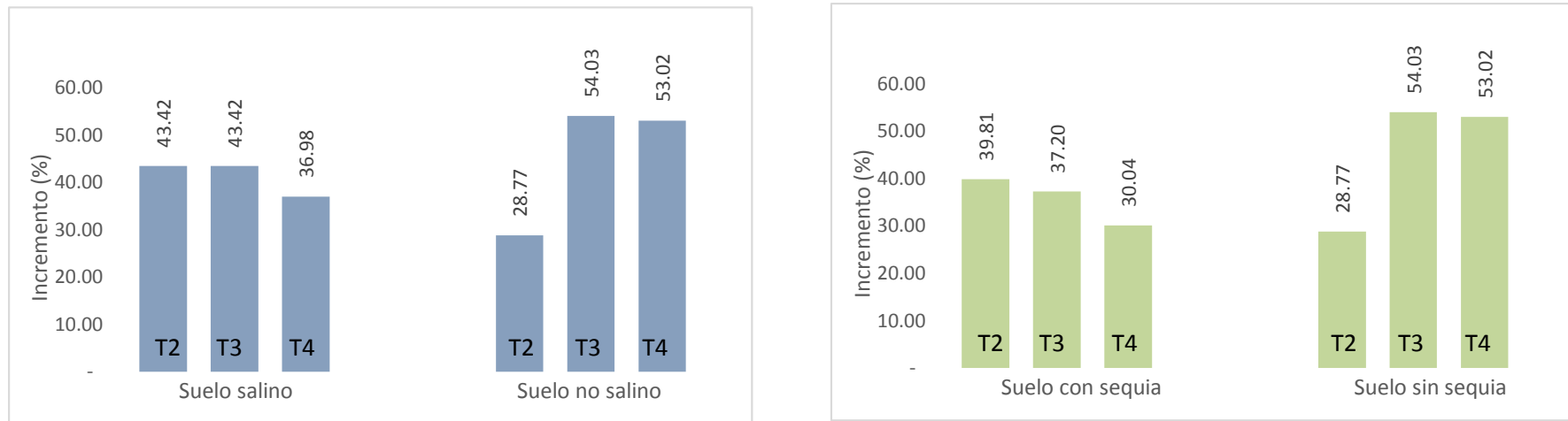
**Figura 54**

Incremento (%) en la altura de *Zea mays L.* en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía, 45 (a, b) y 60 días (c, d) de la aplicación de fertilizante químico (T2), *Pseudomonas sp.* 306 (T3), *Klebsiella sp.* 162 (T4).

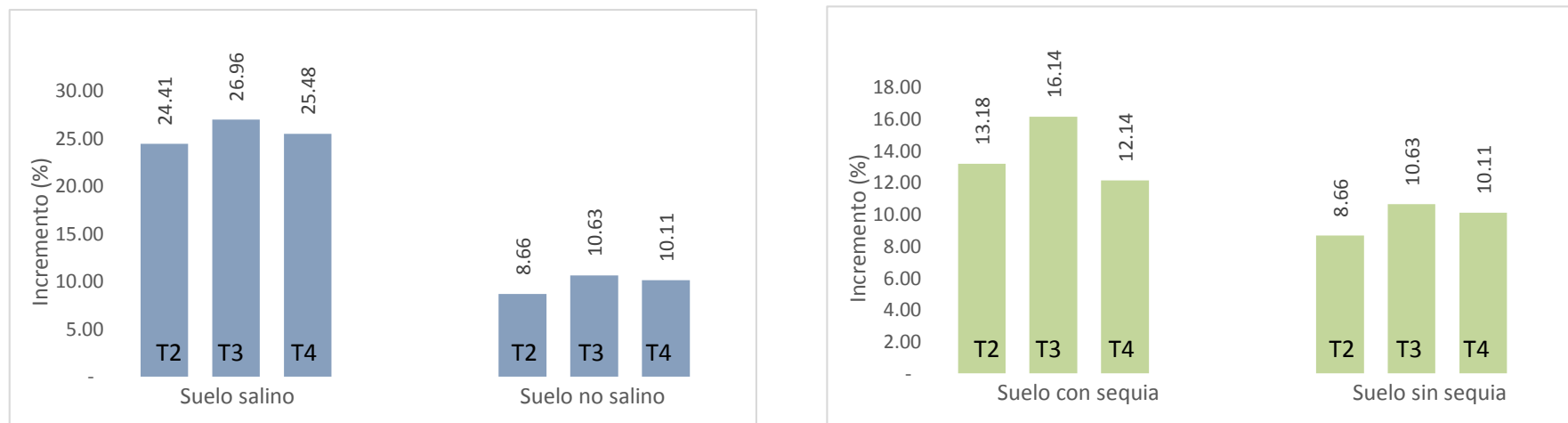


**Figura 55**

*Incremento (%) en la longitud de raíz de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*

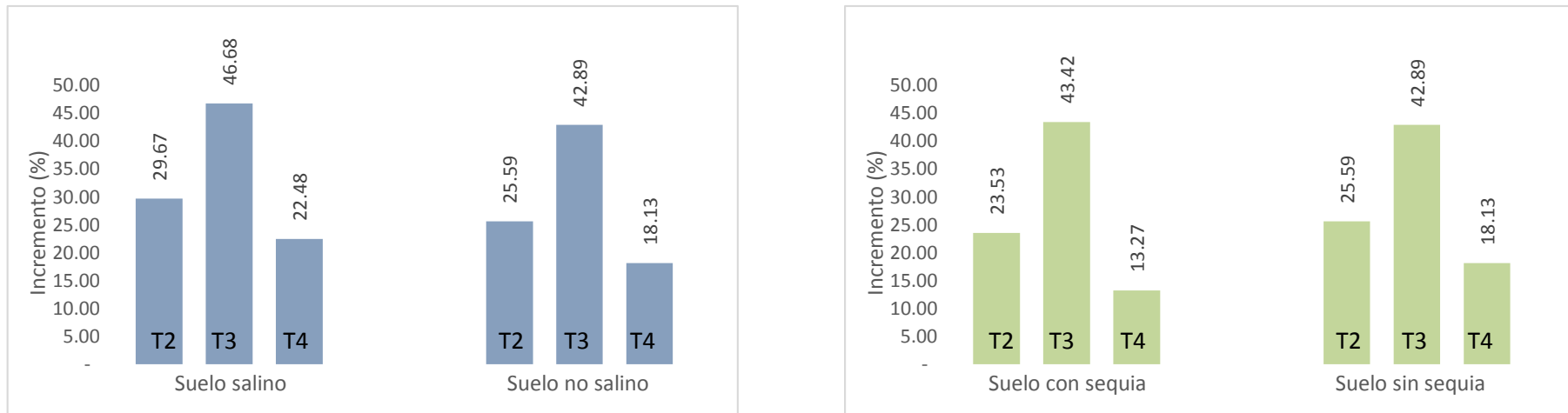
**Figura 56**

*Incremento (%) en la biomasa radicular fresca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*

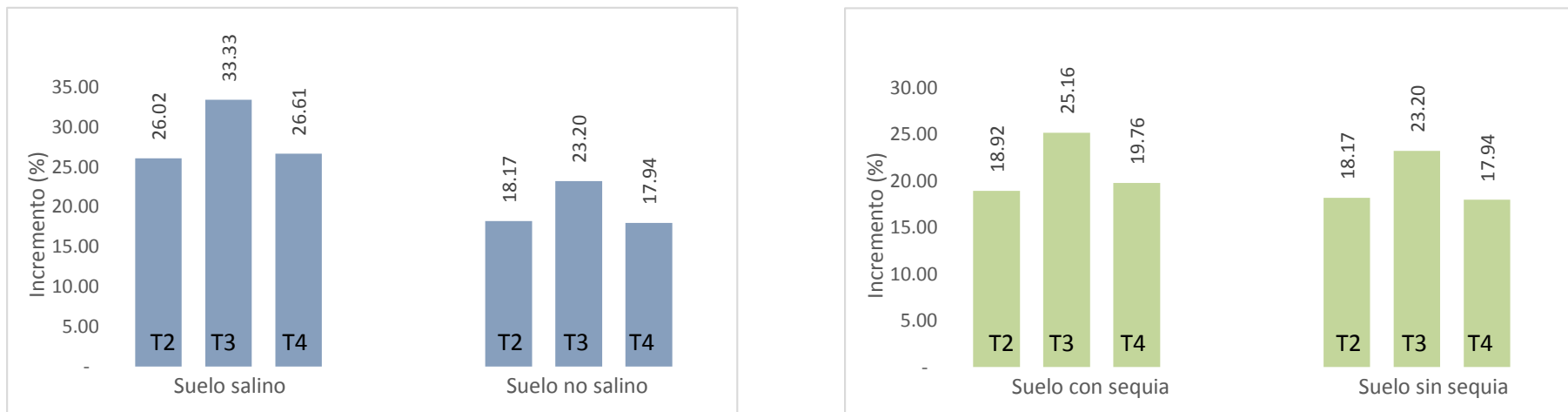


**Figura 57**

*Incremento (%) en la biomasa radicular seca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*

**Figura 58**

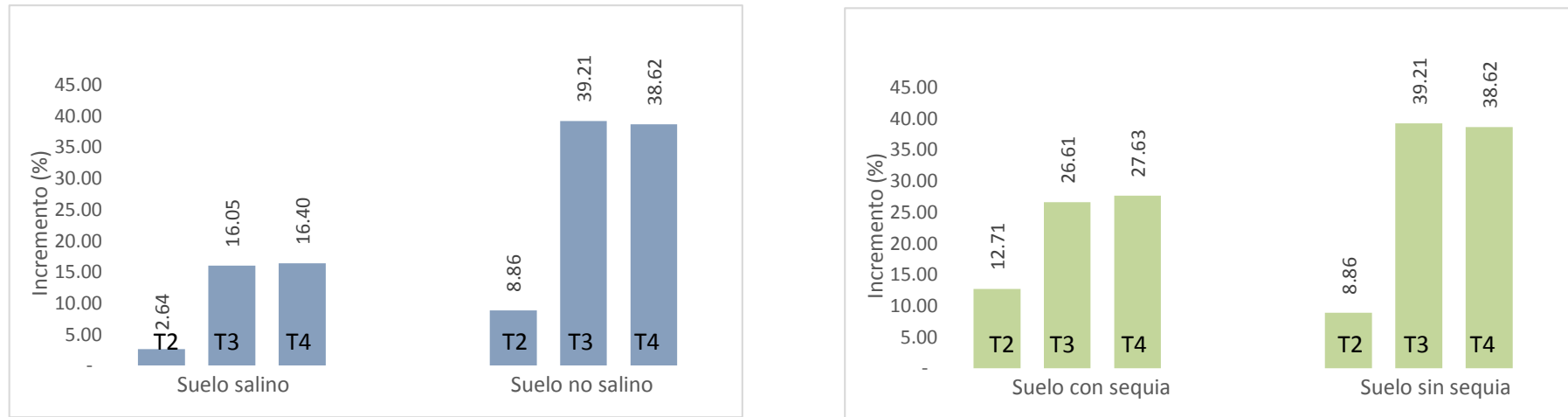
*Incremento (%) en la biomasa aérea fresca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*



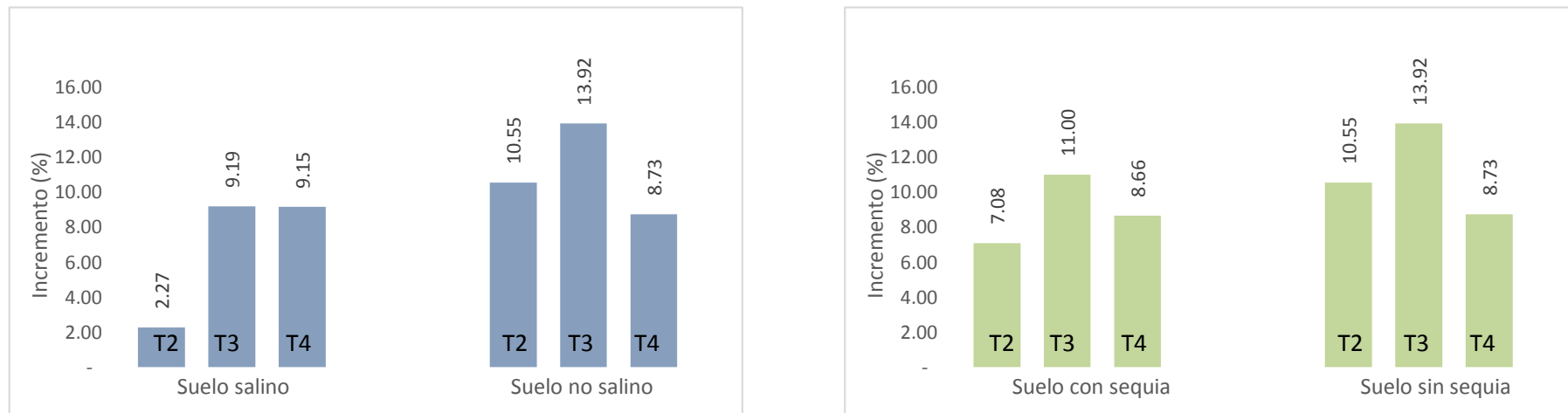


**Figura 59**

*Incremento (%) en la biomasa aérea seca de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*

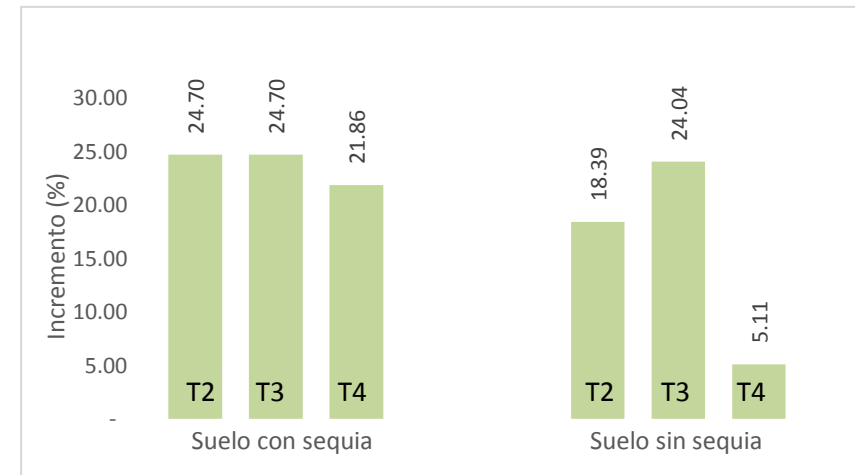
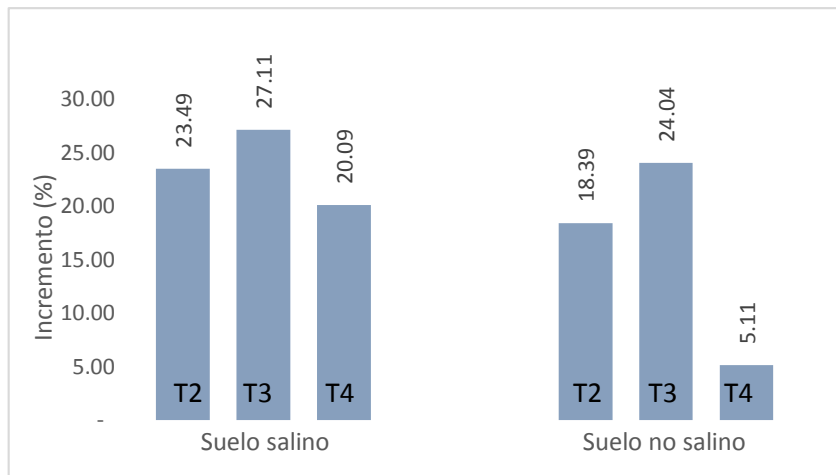
**Figura 60**

*Incremento (%) en la tasa follaje/raíces de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*



**Figura 61**

*Incremento (%) en contenido de clorofila de Zea mays L. en suelos salino y no salino y suelos con sequía y sin sequía 60 días después de la aplicación de fertilizante químico (T2), Pseudomonas sp. 306 (T3), Klebsiella sp.162 (T4).*



El análisis de varianza de los valores de los parámetros de crecimiento de las plantas de maíz en el factorial 3 x 4 (Anexos 1 a 11), demostró alta significancia para la condición de estrés (factor A) aplicación de fertilizante (factor B) y la interacción A x B, a excepción de la altura a los 15 días, que resultó no significativa. Respecto al factor A los mayores valores se alcanzaron en las plantas sin estrés, seguidas de las plantas con estrés por sequía en la altura, longitud y biomasa radicular y estrés por salinidad (biomasa aérea, tasa follaje/raíces, contenido de clorofila). En cuanto al factor B los mayores valores correspondieron a las plantas inoculadas con *Pseudomonas* sp. 306 a excepción de la altura a los 30 días con *Klebsiella* sp. 162.

Respecto a la interacción A x B los mayores valores se alcanzaron en las plantas sin estrés inoculadas con *Pseudomonas* sp. 306 (altura 45 y 60 días, biomasa radicular seca, biomasa aérea fresca y tasa follaje/raíces), en las plantas sin estrés inoculadas con *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 (longitud de raíces, biomasa radicular fresca y biomasa aérea seca), en las plantas sin estrés inoculadas con *Pseudomonas* sp. 306 y con fertilizante químico (clorofila) y plantas sin estrés inoculadas con *Klebsiella* sp. 306 (altura 30 días).

## V. DISCUSIÓN

Los suelos donde se colectaron las muestras de raíces y ramas de plantas de *Prosopis limensis*, presentaron una  $CE_e = 5,51 - 120,67 \text{ dSm}^{-1}$ , rango que evidencia la adaptación del algarrobo a diversos niveles de salinidad (Rivera, 2018; Aguilera, 2014). La intensidad de salinidad en el suelo es extrema ( $CE_e > 15 \text{ dSm}^{-1}$ ), muy fuerte ( $CE_e = 8 - 15 \text{ dSm}^{-1}$ ), fuerte ( $CE_e = 4 - 8 \text{ dSm}^{-1}$ ) y moderada con un rango de  $CE_e = 2 - 4 \text{ dSm}^{-1}$  (Haitao et al., 2022). Los árboles de *P. limensis* prosperan en suelos moderadamente salinos ( $CE_e = 5,66 \text{ dSm}^{-1}$ ); no obstante, es posible encontrarlos en suelos bajo condiciones extremas. Las raíces secundarias se extienden 5 cm bajo la superficie; sin embargo, la raíz principal puede alcanzar más de 10 m de profundidad, donde las sales solubles disminuyen en forma drástica (Lazo, 2018; Vásquez et al., 2010).

El estrés por salinidad causa cambios morfológicos, fisiológicos y moleculares en las plantas que impactan el crecimiento, desarrollo y sobrevivencia. La salinidad induce el cierre de estomas por lo que disminuye la fijación de dióxido de carbono, reduce la fotosíntesis, causa el estrés osmótico y la toxicidad iónica y compacta el suelo con la consecuente disminución de la diversidad y actividad microbiana. Al inicio la salinidad, así como la sequía inducen el estrés hídrico, se cierran los estomas, disminuye el crecimiento y se presenta deficiencia nutricional ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ). La sequía además de la deficiencia produce acumulación de iones, deterioro de las membranas celulares y desbalance entre las ROS y las enzimas antioxidantes y reduce el rendimiento (Gupta et al., 2022).

El aislamiento de bacterias endófitas en plantas desarrolladas en suelos con salinidad coincide con Villegas et al. (2014), Piccoli et al. (2011), Mahmud et al. (2022), Farahat et al. (2020), Egamberdieva et al. (2017) y Li et al. (2016), quienes obtuvieron estos microorganismos en *Prosopis glandulosa*, *P. strombulifera*, *Oryza sativa*, *Triticum* sp., *Cicer arietinum* y *Pennisetum purpureum*, respectivamente. La predominancia de las bacterias endófitas en las

raíces, en comparación de las ramas coincide con la aseveración de Santos et al. (2018), respecto a que las raíces presentan la mayor población de bacterias endófitas. El aislamiento de microorganismos en plantas bajo estrés ambiental, para la investigación del potencial como promotores de crecimiento, es determinante para la formulación de bioinoculantes de uso en cultivos agrícolas bajo condiciones desfavorables (Bécquer, 2022).

La predominancia de formas Gram positivas entre las bacterias endófitas de *P. limensis* coincide con el reporte de Sgroy et al. (2009), quienes determinaron 68,9 % de bacterias Gram positivas y 31,1 % de Gram negativas en las bacterias endófitas aisladas de *P. strombulifera*. Haitao et al. (2022) caracterizaron la diversidad de bacterias endófitas en plantas de *Populus euphratica* desarrolladas en suelos con diversa intensidad de salinidad y determinaron predominancia de 13 Phylum como Proteobacteria, Actinobacteria y Bacteroidetes. Asimismo, el Phylum Firmicutes que agrupa a *Bacillus* spp. presentó 9,04 – 15,37 % de abundancia en el suelo con salinidad extrema y muy fuerte y 2,79 – 3,26 % en el suelo con fuerte y moderada salinidad. La mayor abundancia del Phylum que agrupa bacterias Gram positivas en el suelo con mayor salinidad evidenció la adaptación de estos microorganismos a la salinidad.

La investigación de la actividad ACC desaminasa, producción de ácido indol acético y solubilización de fosfato como características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal bajo condiciones desfavorables de salinidad y sequía coincide con Sgroy et al. (2009), Piccoli et al. (2011) y Villegas et al. (2014) en bacterias de *Prosopis* spp., así como también Azeem et al. (2022), Latif et al. (2022), Yadav et al. (2022), He et al. (2021) y Hmaeid et al. (2014) en bacterias de diferentes cultivos agrícolas.

Las bacterias endófitas de *P. limensis* presentaron actividad ACCD, al igual que en el reporte de Farahat et al. (2020), quienes investigaron la actividad de esta enzima en 34 bacterias endófitas aisladas de raíces de trigo y determinaron una diferencia significativa en la actividad de la enzima, con un rango de 32 – 24210 nmol alfa cetobutirato por mg de proteína celular por hora. Los investigadores seleccionaron una cepa de *Bacillus aryabhatai* con el mayor valor en la ACCD para continuar con la investigación. La actividad ACCD demostrada en las bacterias endófitas coincide con la aseveración de Moon y Ali (2022) respecto a que diversas bacterias rizosféricas y endófitas presentan esta

enzima y pueden modular la producción del etileno, tal que disminuyen el efecto adverso de la concentración elevada de esta fitohormona.

El etileno bajo condiciones normales se produce en muy baja concentración ( $0,01 \text{ uL L}^{-1}$ ); no obstante, bajo temperaturas extremas, sequía, salinidad, inundación, metales pesados y luz ultravioleta, la producción se incrementa y se genera el "estrés por etileno" que promueve la senescencia prematura, amarillamiento, abscisión foliar, inhibición de la elongación de raíces, transporte de auxinas y nodulación radicular. Las bacterias rizosféricas o endófitas con actividad ACCD metabolizan el ACC (precursor del etileno) y lo convierten en alfa cetobutirato y amonio y de esta manera disminuyen el "estrés por etileno" (Kour y Yadav, 2022). Estas bacterias pueden ser utilizadas como bioinoculantes para mejorar el desarrollo de las plantas bajo salinidad (Wang et al., 2022) y sequía (He et al., 2021).

La producción de ácido indol acético (AIA) por las bacterias endófitas coincide con el reporte de Li et al. (2022) quienes cuantificaron  $31 \text{ ug mL}^{-1}$  de este regulador de crecimiento en cultivos de bacterias endófitas de camote. Los microorganismos producen reguladores de crecimiento y los liberan en la rizósfera (rizobacterias) o en el interior de los tejidos (endófitas). Los reguladores microbianos junto a las hormonas producidas por las plantas, favorecen el desarrollo bajo estrés salino (Bécquer, 2022). Uno de los principales mecanismos de adaptación al estrés es el cambio de la morfología de la raíz. El AIA es la principal fitohormona que regula la división celular, la especialización de células y tejidos, la germinación de las semillas, el desarrollo del sistema radical y favorece la tolerancia de las plantas a condiciones desfavorables. Cerca del 80 % de las bacterias benéficas producen AIA, por lo tanto, incrementan el tamaño, peso, ramificación y superficie de las raíces. Como consecuencia, aumenta la absorción de nutrientes del suelo y se favorece el crecimiento vegetal (Saghafi et al., 2019).

La solubilización de fosfato tricálcico demostrada en las bacterias endófitas de algarrobo coincide con el reporte de Li et al. (2022) quienes observaron halos de solubilización de fosfato producidos por bacterias endófitas de camote. En suelos con salinidad se adhieren cationes y aniones con otros componentes y los cambios de pH modifican la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En suelos con  $\text{pH} > 8$  o  $< 5$  el fósforo forma fosfatos de calcio, fierro

o aluminio que son precipitados insolubles que no pueden ser utilizados como fuentes del nutriente. La solubilización de fosfato es un mecanismo de las PGPB, mediante el cual éstas liberan ácidos orgánicos de bajo peso molecular (glucónico, cítrico, succínico, propiónico, láctico) o liberan iones hidrógeno en la rizósfera que reducen el pH. La acidez generada solubiliza los fosfatos, es decir libera el fósforo del calcio, fierro o aluminio y este nutriente queda disponible para las plantas (Saghafi et al., 2019). El beneficio de la solubilización de fosfatos precipitados por los microorganismos en el suelo es tan significativa como la solubilización realizada por los ácidos orgánicos (en forma mayoritaria el ácido málico) secretados por las raíces de las plantas en sequía (Chen et al., 2022).

La tolerancia de las bacterias endófitas a la salinidad coincide con el reporte de Haitao et al. (2022), quienes aislaron *Bacillus haynesii* en los tejidos de *Populus euphratica* y demostraron crecimiento de la bacteria en 1 – 6 % de NaCl, con un rango de pH de 7 – 10. Asimismo, Li et al. (2022) obtuvieron bacterias endófitas de plantas de camote tolerantes a 6 % NaCl. Por su parte, Rossi et al. (2021) reportaron especies halotolerantes de *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum* y *Pseudomonas* capaces de crecer con 160 mM NaCl e inclusive *Pseudomonas* sp. creció con 640 mM NaCl. La tolerancia a la salinidad es una característica deseable en las bacterias con potencial uso para la promoción de crecimiento vegetal. Las bacterias resistentes a la salinidad pueden crecer en el rango 1 – 33 % de cloruro de sodio y también en ausencia de esta sal. En este contexto, los microorganismos aislados en plantas desarrolladas en suelo salinos son buenos candidatos para disminuir el efecto negativo de estrés por salinidad en las plantas (Saghafi et al., 2019).

La tolerancia de las bacterias endófitas a la sequía se demostró por el crecimiento en caldo nutritivo con PEG - 6000 (5 – 20 %) con una densidad óptica mayor al 50 % del control positivo (sin PEG). Se coincide con Azeem et al. (2022), Yadav et al. (2022) y Li et al. (2022). Los aislamientos bacterianos códigos 306 y 162 de *Prosopis limensis* presentaron mayor tolerancia a la sequía que las bacterias investigadas por Azeem et al. (2022), quienes determinaron crecimiento de cinco bacterias en 5, 10 y 15 % de PEG - 6000. Con 20 y 25 % de PEG - 6000 también observaron crecimiento bacteriano, pero la densidad óptica fue de 0,10 – 0,25 en comparación con 1, 1 – 1,7 en los testigos positivos. Yadav et al. (2022) determinaron que el 94,17 % de las bacterias aisladas de



trigo sobrevivieron con 5 – 8 % PEG - 6000 y el 8,33 % de bacterias mostraron tolerancia a 15 – 30 % de PEG - 6000. Por su parte Latif et al. (2022) aislaron 30 bacterias rizosféricas tolerantes al PEG - 6000 ( $4 \text{ g L}^{-1}$ ), entre las que cuatro presentaron crecimiento hasta con 9 % de PEG - 6000, con valores en la densidad óptica (600 nm) de 1 con 3 % y 0,60 – 0,63 con 9 % PEG - 6000.

Las bacterias tolerantes a la salinidad y la sequía seleccionadas en la presente investigación se identificaron en los géneros *Pseudomonas* y *Klebsiella*, reportados como bacterias endófitas aisladas de *P. strombulifera* (Sgroy et al., 2009) y camote (Li et al., 2022), respectivamente y en las que se demostró el potencial como promotoras de crecimiento en plantas bajo salinidad y sequía (Latif et al., 2022). Los géneros *Pseudomonas* y *Klebsiella* pertenecen al Phylum Proteobacteria que incluye las especies de bacterias más adaptadas a la sequía (Kour y Yadav, 2022). Las bacterias de este Phylum también son predominantes en suelos salinos (Haitao et al., 2022).

El impacto de la salinidad y sequía en el crecimiento de las plantas de maíz se evidenció con disminución en la altura, longitud radicular, biomasa, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila. El incremento de la salinidad causa estrés osmótico en las plantas debido al desbalance en la concentración de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  o ambos. Este desbalance reduce la absorción de agua y nutrientes por las raíces y por tanto disminuye el crecimiento vegetal. Cuando el nivel de salinidad supera el límite de tolerancia, se presenta la toxicidad iónica y se origina desbalance iónico por el excesivo sodio acumulado. La desestabilización de la homeostasis celular asociada a otras disfunciones origina la acumulación de ROS que induce el estrés oxidativo. Para superarlo se activa el sistema complejo de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos (Vantini et al., 2021). El efecto negativo del estrés salino está relacionado con el estrés osmótico, toxicidad iónica ( $\text{Na}^+$ ), desbalance nutricional y estrés oxidativo (Saghafi et al., 2019).

La sequía induce estrés hídrico en las plantas, debido a la disponibilidad limitada de agua para las raíces y el incremento de la tasa de transpiración. La sequía debilita la actividad metabólica, disminuye la biomasa acumulada y reduce la tasa fotosintética por disminución del contenido de clorofila en las hojas, lo cual reduce el crecimiento y rendimiento. En las plantas de maíz estresadas disminuye el potencial de agua y como consecuencia se reduce el tamaño de las células y se inhibe el crecimiento. El estrés oxidativo causado por

ROS es un estrés secundario que agrava el efecto adverso de la sequía. La sequía limita el intercambio gaseoso y transpiración, condición desfavorable para el transporte de nutrientes, metabolismo y absorción, con la consecuente disminución del área foliar y la alteración de la distribución de los nutrientes en los diferentes órganos (Notununo et al., 2022). La sequía reduce el crecimiento debido a la disminución del contenido de humedad del suelo, contenido relativo de agua foliar, biomasa y pigmentos fotosintéticos (Waqar et al., 2022).

Respecto al efecto negativo de la salinidad observado en las plantas de maíz, investigadas se coincide con el reporte de Farahat et al. (2020) quienes registraron reducciones del 5,25 % (altura); 12,64 % (longitud de raíz); 8,43 % (biomasa fresca) y 11, 21 % en la biomasa seca de plantas de maíz bajo 50 mM NaCl, así como 39,36 % (altura); 43,41 % (longitud de raíz); 40, 96 % (biomasa fresca) y 32,97 % en la biomasa seca de plantas de maíz bajo 150 mM NaCl. Por su parte, D'Amato y Del Buono (2021), Wang et al. (2021) y Vantini et al. (2021), determinaron en plantas de maíz (100 mM NaCl) rangos de reducción de 24 – 37 % (altura), 30 – 47 % (biomasa aérea fresca), 11 – 27 % (biomasa radicular fresca), 22 – 29 % (biomasa aérea seca), 40 % (biomasa radicular seca) y 19 – 25 % en el contenido de clorofila.

El impacto del negativo de la salinidad (100 mM NaCl) en la clorofila fue demostrado previamente por D'Amato y Del Buono (2021) y Wang et al. (2021) en maíz y por Hmaeid et al. (2014) en *Hordeum maritimum* L. (200 mM NaCl), *Casuarina obesa* (150 – 300 mM NaCl). En plantas de maíz (100 mM NaCl) el contenido de clorofila se redujo en 20 % (D'Amato y Del Buono, 2021) y 25 % (Wang et al., 2021); no obstante, Rossi et al. (2021) demostraron incremento del contenido de clorofila y carotenoides en plantas de *Brassica napus* desarrolladas en un suelo con una  $CE_e = 8 \text{ dSm}^{-1}$  en comparación con el suelo no salino ( $CE_e = 0,3 \text{ dSm}^{-1}$ ). La salinidad del suelo afecta de forma drástica el desarrollo de las hojas, causa clorosis, necrosis y senescencia foliar, así como también impacta la fotosíntesis directamente (biosíntesis de clorofila, regulación de enzimas fotosintéticas) o indirectamente (regulación del sistema enzimático de defensa antioxidante). El principal factor limitante de la fotosíntesis bajo salinidad es el cierre de los estomas, que reduce la tasa de asimilación de dióxido de carbono (Rossi et al., 2021; Wang et al., 2021). La clorofila convierte la energía solar en energía química, pero es frágil y fácilmente destruida por ROS

(Wang et al., 2021).

En cuanto al efecto negativo de la sequía observado en las plantas de maíz, se coincide con las investigaciones de Azeem et al. (2022) y Bheemanahalli et al. (2022), quienes indujeron sequía en plantas de maíz por disminución del riego a 5 – 8 % (21 días después de la siembra) y 45 % (15 días durante el periodo de llenado de los granos), respectivamente. Por su parte Azeem et al. (2022) determinaron rangos de reducción de 9,75 – 13,89 % (altura); 7,23 – 15,09 % (longitud radicular); 12,5 – 22,2 % (biomasa aérea fresca); 13,3 – 25 % (biomasa aérea seca); 5,88 – 20 % (biomasa radicular fresca); 7,14 – 16,67 % (biomasa radicular seca) y 6,67 – 12,5 % (clorofila). A su vez, Bheemanahalli et al. (2022) registraron reducciones de 8,57 % (altura), 27,06 % (biomasa aérea) y 47 % (clorofila).

El nivel del impacto en las plantas de 60 días, causado por la falta de agua en la presente investigación mantiene relación con los resultados de Bheemanahalli et al. (2022), porque las mayores reducciones se registraron en la biomasa aérea, tasa follaje/raíces y el contenido de clorofila. Según Gupta et al. (2022), el déficit gradual de agua afecta el crecimiento de follaje; no obstante, el de la raíz se mantiene por un tiempo. Las plantas se observan con pocas hojas, se reduce el contenido hídrico, el peso fresco de las plantas y disminuye la tasa follaje/raíz. A diferencia de los resultados expuestos, Waqar et al. (2022) observaron que la sequía no disminuyó en forma significativa la biomasa aérea de las plantas. La biomasa radicular y aérea disminuyeron en 34 % y por tanto la tasa follaje/raíces fue similar con 13,56 % en las plantas con sequía y en los testigos.

Alam et al. (2021) investigaron el efecto de la salinidad ( $CE_e = 0, 10, 20$   $dSm^{-1}$ ) y sequía (100, 80, 60 y 40 % de capacidad de campo) en plantas de *Tetraena mandavillei* L. y determinaron que ambos impactaron en forma negativa los parámetros de crecimiento y rendimiento; no obstante, las plantas mostraron mayor resistencia al estrés por sequía, en términos de crecimiento y biomasa. Los investigadores demostraron que en las plantas con sequía (40 % de capacidad de campo) se alcanzó 47,6 % de reducción en la clorofila, en comparación con 9,4 % en las plantas bajo salinidad. Asimismo, observaron que la altura de plantas, longitud de la raíz y peso de la biomasa radicular disminuyeron en forma significativa bajo salinidad, pero no bajo sequía.

Waqar et al. (2022) concluyeron que la sequía reduce el crecimiento de las plantas debido a que disminuye la humedad en el suelo, el contenido relativo de agua foliar, la biomasa y los pigmentos fotosintéticos. Por su parte Azeem et al. (2022) demostraron en plantas de maíz que el déficit de agua (5 – 8 % de contenido en el suelo), redujo los pigmentos fotosintéticos y por tanto la fotosíntesis, incrementó el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que causa la peroxidación de lípidos, afectó la permeabilidad relativa de la membrana celular y aumentó la actividad de las enzimas antioxidantes CAT, POD, ADX, SOD.

El estrés hídrico y salino limitan el crecimiento y productividad de los cultivos agrícolas; no obstante, las bacterias promotoras de crecimiento (Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB) rizosféricas y endófitas minimizan el efecto negativo de los factores ambientales estresantes (Bécquer, 2022). El efecto positivo de *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 tolerantes a la salinidad y sequía se evidenció con el aumento a la altura, longitud radicular, biomasa radicular fresca y seca, biomasa aérea fresca y seca, tasa follaje/raíces y clorofila. Los mecanismos de acción de estas bacterias son la regulación de hormonas (producción de fitohormonas y disminución del etileno mediante la actividad ACCD), compuestos orgánicos volátiles, incremento del sistema de defensa antioxidante que destruye las especies reactivas del oxígeno con las enzimas antioxidantes, producción de osmolitos que protegen frente al estrés osmótico, así como los exopolisacáridos que se adhieren a los iones Na<sup>+</sup> y restringen el flujo hacia las raíces. Las PGPB también pueden regular la expresión de los transportadores de alta afinidad por el potasio y proteínas integrales de membrana que influyen en la entrada y salida del Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>+2</sup> y agua (Saghafi et al., 2019; Bécquer 2022; Jiménez et al., 2022)

El efecto benéfico de las bacterias observado en plantas bajo salinidad coincide con el reporte de Fukami et al. (2018) quienes inocularon *Azospirillum brasilense* en semillas de maíz cultivadas en suelo salino (CE<sub>e</sub> = 170 mM NaCl) y determinaron incremento significativo de la biomasa fresca (124 %), altura (5,83 %) y contenido de clorofila (16,96 %). Asimismo, las bacterias aumentaron la actividad enzimática antioxidante APX, CAT, SOD y disminuyeron el malondialdehído y prolina. Por su parte Ventini et al. (2021) inocularon *A. brasilense* y registraron incremento significativo de la biomasa seca (29,23 %), así como también de la glicina.

La promoción de crecimiento de las plantas bajo salinidad por las bacterias ha sido reportado en diferentes cultivos agrícolas como *Brassica napus* donde la inoculación en forma individual de *A. brasilense*, *Arthrobacter globiformis*, *Burkholderia ambifaria*, *Herbaspirillum* sp. y *Pseudomonas* sp. aumentó la altura de planta, longitud de las raíces, peso fresco de la biomasa y el contenido relativo de agua. Por el contrario, disminuyeron la prolina y el índice de daño a la membrana celular (Rossi et al., 2021). En *Brassica napus* la inoculación de *Enterobacter* sp. y *Pseudomonas* sp. aumentó el área foliar, longitud y peso de raíces, contenido de clorofila, contenido relativo de agua, prolina, potasio y por el contrario disminuyó la pérdida de electrolitos, el peróxido de hidrogeno y el sodio en las hojas (Neshat et al., 2022)

Las bacterias endófitas afectaron de forma positiva los parámetros de crecimiento de las plantas bajo estrés por sequía, resultado similar al reportado por Mehrasa et al. (2022) con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas putida* en *Phaseolus vulgaris*. Las bacterias incrementaron el rendimiento de grano, así como el nitrógeno, la proteína cruda y la actividad CAT y SOD. El beneficio de las bacterias en el crecimiento de las plantas bajo sequía ha sido reportado en diversos cultivos agrícolas como el tomate, donde *Pseudomonas putida* aumentó la clorofila, carotenoides, número y peso de frutos, actividad APX, CAT y POD y disminuyó la conductancia estomática y peroxidación de lípidos (Saglam et al., 2022). En plantas de trigo, bacterias del genero *Bacillus* aumentaron la longitud de las raíces, altura de planta, área foliar, clorofila, prolina, SOD, POD y CAT (Yadav et al., 2022).

Respecto al aspecto benéfico de las bacterias en las plantas bajo sequía, se coincide con Azeem et al. (2022), quienes demostraron el beneficio de *Bacillus* spp. en plantas de maíz desarrolladas en un suelo con 5 – 8 % de contenido de agua. Las bacterias incrementaron la biomasa aérea (56,12 %) y radicular (36,73 %), los pigmentos fotosintéticos (32,76 %) así como también disminuyeron la peroxidación de lípidos (59,14 %) y mitigaron la actividad enzimática antioxidante: CAD, POD, APX y SOD. Por su parte, Becquer, (2022) concluyeron que en las plantas de maíz bajo sequía las PGPB mejoran la arquitectura de la raíz, la elongación de hojas y tallos, el nitrógeno, carbono, clorofila y el contenido relativo de agua foliar. Por el contrario, disminuyen el ABA, etileno, prolina y peroxidación de lípidos. En este contexto, las bacterias

endófitas *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 demostraron potencial para constituir biofertilizantes de aplicación en maíz, bajo condiciones de salinidad y sequía.

## VI. CONCLUSIONES

1. En los tejidos de algarrobos desarrollados en suelos de la comunidad campesina de San José ( $CE_e = 5.51 - 120.67 \text{ dSm}^{-1}$ ), Lambayeque 2019 se obtuvieron 496 cultivos puros de bacterias entre las que el 66,53 % se aisló de raíces y el 33,47 % de ramas. Las bacterias fueron Gram positivas (62,7 %) y Gram negativas (37,3 %)
2. El 7,9 % de las bacterias endófitas de algarrobos presentaron actividad ACCD. Entre éstas el 76,92 % produjo ácido indol acético (4,47 – 15,80 ppm) y el 61,53 % solubilizó fosfato tricálcico, con un rango de 2,02 – 10,21 ppm de fósforo soluble.
3. *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 se seleccionaron por ser tolerantes a la salinidad (8 % NaCl) y sequía (20 % PEG – 6000).
4. La salinidad y la sequía afectaron en forma negativa la altura, biomasa aérea, longitud radicular, biomasa radicular, tasa follaje/raíces y contenido de clorofila de las plantas de maíz en comparación con los testigos en suelos no salino y sin sequía, respectivamente; no obstante, las bacterias endófitas *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 disminuyeron el impacto negativo del estrés por las condiciones desfavorables.



## VII. RECOMENDACIONES

Identificar a nivel molecular la especie de *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162.

Comparar la actividad de las enzimas antioxidantes, contenido de osmolitos, producción de exopolisacáridos y compuestos orgánicos volátiles en las plantas de maíz inoculadas *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162.

Comparar el efecto de *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 en el rendimiento de maíz bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía, a nivel de campos comerciales.

Investigar el antagonismo de *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162 en el control de fitopatógenos bajo condiciones de salinidad.

## VIII. REFERENCIAS

- Alam, H., Khattak, J., Ksiksi, T., Saleem, M., Fahad, S., Sohail, H., Ali, Q., Zamin, M., El-Esawi, M., Saud, S., Alwahibi, M. y Alkahtani, J. (2021). Negative impact of long-term exposure of salinity and drought stress on native *Tetraena mandavillei* L. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 1336-1351. <https://doi.org/10.1111/ppl.13273>
- Aguilera, R. (2014). Algarrobo tropical (*Prosopis pallida*) recurso biológico estratégico para la sostenibilidad del bosque tropical seco caso: Comunas provincia de Santa Elena-Ecuador. *DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible*, 7 (20), 1-10 Recuperado de: <http://www.eumed.net/rev/delos/20/algarrobo.pdf>
- Azeem, M., Haider, M. Z., Javed, S., Saleem, M. H., y Alatawi, A. (2022). Drought stress amelioration in maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of *Bacillus* spp. strains under sterile soil conditions. *Agriculture*, 12(1), 50. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12010050>
- Basurto, M., Núñez, A., Pérez, R., y Hernández, O. (2008). Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Synthesis*, 48, 1-5. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaestresambientalplantas>
- Bécquer, C. J. (2022). Rhizobacteria and their contribution to plant tolerance to drought and salinity. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(2). <https://orcid.org/0000-0002-5738-7838>
- Bheemanahalli, R., Vennam, R., Ramamoorthy, P., y Reddy, K. (2022). Effects of post-flowering heat and drought stresses on physiology, yield, and quality in maize (*Zea mays* L.). *Plant Stress*, 6, 100106. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100106>
- Chen, Y., Yao, Z., Sun, Y., Wang, E., Tian, C., Sun, Y., Liu, J., Sun, Ch. y Tian, L. (2022). Current Studies of the effects of drought stress on root exudates and rhizosphere microbiomes of crop plant species. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2374. <https://doi.org/10.3390/ijms23042374>
- Cuentas, M y Salazar, A. (2017). De la especie al ecosistema, del ecosistema a la sociedad: revalorizando el algarrobo (*Prosopis pallida*) y el reto de su conservación en Lambayeque y en la costa norte del Perú. *Espacio y Desarrollo*, 30, 129-159. <https://doi:10.18800/espacioydesarrollo.201702.006>

- D'amato, R. y Del Buono, D. (2021). Use of a Biostimulant to Mitigate Salt Stress in Maize Plants. *Agronomy*, 11(9), 1755. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091755>
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Shurigin, V., Hashem, A y Abd\_Allah, E. (2017). Endophytic bacteria improve plant growth, symbiotic performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and induce suppression of root rot caused by *Fusarium solani* under salt stress. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01887>.
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., y Mendoza, G. (2011). Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicum esculentum* Mill. "tomate" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 2(1), 39 - 49. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.01.05>
- Esquivel, R., Gavilanes, M., Cruz, R. y Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 251-258. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n3/v36n3a10.pdf>
- Farahat, M., Mahmoud, M., Youseif, S., Saleh, S., y Kamel, Z. (2020). Alleviation of salinity stress in wheat by ACC deaminase-producing *Bacillus aryabhatai* EWR29 with multifarious plant growth-promoting attributes. *Plant Archives*, 20(1), 417-429. <https://www.researchgate.net/publication/341042367>
- Fukami, J., Ollero, F., de la Osa, C., Valderrama, R., Nogueira, M., Megías, M., y Hungria, M. (2018). Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Archives of Microbiology*, 200, 1191–1203. <https://doi.org/10.1007/s00203-018-1535-x>
- García, F., Muñoz, H., Carreño, C., y Mendoza, G. (2010). Caracterización de cepas nativas de *Azospirillum* spp. y su efecto en el desarrollo de *Oryza sativa* L "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1, 107-116. <http://www.revistas.un.itru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/19>
- Gil, J. (2018). Sequía en Cusco. <http://cebem.org/wp-content/uploads/2018/12/SEQU%C3%8DA-EN-CUSCO.pdf>
- Glick, B. (2013). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jmicsres.2013.09.009>.

- Gupta, A., Bano, A., Rai, S., Mishra, R., Singh, M., Sharma, S., y Pathak, N. (2022). Mechanistic insights of plant-microbe interaction towards drought and salinity stress in plants for enhancing the agriculture productivity. *Plant Stress*, 4, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100073>
- Haitao, Y., Luyu, Z., Duo Y., Minwei Z., Jieyi W., Zhongkai Z., Xiangxiang X., Liwen Z., Yanan Q., Fei G., Jie Y., Tuerxunnayi A., (2022). Comparative analysis of the endophytic bacterial diversity of *Populus euphratica* oliv. in environments of different salinity intensities. *Microbiology Spectrum*, 10 (3). <https://doi.org/10.1128/spectrum.00500-22>
- He, A., Niu, S., Yang, D., Ren, W., Zhao, L., Sun, Y., Meng, L., Zhao, Q., Paré, P. W. y Zhang, J. (2021). Two PGPR strains from the rhizosphere of *Haloxylon ammodendron* promoted growth and enhanced drought tolerance of ryegrass. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.003>
- Henciya, S., Seturaman, P., James, A., Tsai, Y., Nikam, R., Wu, Y., Dahms H. y Chang, F. (2017). Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae, Leguminosa). *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.001>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.) Mc Graw, Hill Interamericana Editores S.A. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández, F., Velásquez, K., Carreño, C., Lloclla, H., Estela, C., y Altamirano, C. (2015). Efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativa de *Zea mays* en invernadero. *UCV-HACER*, 4(1), 10-19.
- Hmaeid, N., Metoui, O., Wali, M., Zorrig, W., y Abdelly, C. (2014). Comparative effects of rhizobacteria in promoting growth of *Hordeum maritimum* L. plants under salt stress. *Journal of Plant Biology Research*, 3(1), 37-50. <http://www.inast.org/jpbr.html>
- Huang, M., Zhang, Z., Sheng, Z., Zhu, C., Zhai, Y., Lu, P. y Brinkman, D. (2019). Soil Salinity and Maize Growth under Cycle Irrigation in Coastal Soils. *Agronomy Journal*, 111(5), 2276-2286. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.068>
- Instituto Nacional de Defensa Civil, INDECI. (2003). Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051 Ciudades sostenibles: Mapa de Peligros de la Ciudad de San José.

- [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_lambayeque/izosféric/sanjose\\_ mp.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lambayeque/izosféric/sanjose_ mp.pdf).
- Jiang, C., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., y Maruo, T. (2017). A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. *Horticulture Research*, 71, 37-42. <http://doi.org/10.20776/S18808824-71-P37>
- Jiménez, R., Medina, R., Carballar, S., Orozco, M., Santoyo, G. y Loeza, P. (2022). Teamwork to survive in hostile soils: Use of Plant Growth-Promoting Bacteria to ameliorate soil salinity stress in crops. *Microorganisms*, 10(1), 150. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010150>
- Kour, D. y Yadav AN. (2022). Bacterial mitigation of drought stress in plants: Current perspectives and future challenges. *Current Microbiology*. 79(9):248. <https://doi:10.1007/s00284-022-02939-w>. PMID: 35834053.
- Latif, M., Bukhari, S., Alrajhi, A., Alotaibi, F., Ahmad, M., Shahzad, A., Dewidar. A., y Mattar, M. (2022). Inducing Drought Tolerance in Wheat through Exopolysaccharide-Producing Rhizobacteria. *Agronomy*, 12(5), 1140. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051140>
- Lazo, J. (2018). *La edad de los árboles de Prosopis limensis en el Santuario Histórico Bosque de Pomac-Lambayeque* [tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Li, Q., Huang, Z., Deng, C., Lin, K. H., Hua, S., y Chen, S. P. (2022). Endophytic Klebsiella sp. San01 promotes growth performance and induces salinity and drought tolerance in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Plant Interactions*, 17(1), 608-619. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2077464>
- Li, X., Geng, X., Xie, R., Fu, L., Jiang, J., Gao, L., y Sun, J. (2016). The endophytic bacteria isolated from elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) promote plant growth and enhance salt tolerance of hybrid *Pennisetum*. *Biotechnology for Biofuels*, 9,190-202. <https://doi:10.1186/s13068-016-0592-0>.
- Martinez, N., López, C., Basurio, M. y Pérez, R. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia*, 3, 156-161. [https://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n3/data/Efectos\\_por\\_salinidad\\_en\\_el\\_desarrollo\\_vegetativo.pdf](https://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n3/data/Efectos_por_salinidad_en_el_desarrollo_vegetativo.pdf)
- Mehrasa, H., Farnia, A., Kenarsari, M., y Nakhjavan, S. (2022). Endophytic bacteria and SA application improve growth, biochemical opoperties, and nutrient uptake

- in white beans under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00884-y>
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, MINAGRI (2015). *Análisis de tendencias que impactan en el sector agricultura y riego*. Perú, Editora MINAM
- Misra, S., y Singh, P. (2020). ACC deaminase-producing rhizosphere competent *Bacillus* spp. mitigate salt stress and promote *Zea mays* growth by modulating ethylene metabolism. *3 Biotech*, 10(3), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2104-y>
- Mohamed, A., Kaoua, M., ait-el-Mokhtar, M., Boutasknit, A., ben-Laouane, R., Toubali, S., Baslam, M., Lyamlouli, K., Hafidi, M. y Meddich, A. (2020). Seaweed extract application and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation: a tool for promoting growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv «Boufgous». *South African Journal of Botany*, 132, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.04.004>
- Moon, Y., y Ali, S. (2022). Possible mechanisms for the equilibrium of ACC and role of ACC deaminase-producing bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11772-x>
- Mosaad, L., Serag, A., Moustafa, M. y Seada, A. (2019). Effect of exogenous proline application on maize yield and the optimum rate of mineral nitrogen under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 2019, 1-17 <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676901>
- Mahmud-Ur-Rahman, Naser, I., Mahmud, N., Sarker, A., Hoque, M. N., y Islam, T. (2022). A highly salt-tolerant bacterium *Brevibacterium sediminis* Promotes the growth of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Stresses*, 2(3), 275–289. <http://dx.doi.org/10.3390/stresses2030020>
- Neshat, M., Abbasi, A., Hosseinzadeh, A., Sarikhani, M., Dadashi, y Rasoulnia, A. (2022). Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(2), 347-361. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01128-0>
- Notununu, I., Moleleki, L., Roopnarain, A. y Adeleke, R. (2022). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the molecular responses of maize under drought and heat stresses: A review. *Pedosphere*, 32(1), 90-106. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(21\)60051-6](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(21)60051-6)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2015). Perfil de País - Perú. Roma, Italia: FAO, AQUASTAT. <http://www.fao.org/3/ca0447es/CA0447ES.pdf>
- Otovo, J. (2015). Aportes para un manejo sostenible del ecosistema bosque tropical seco de Piura. Piura: PE, Asociación para la investigación y desarrollo integral (AIDER).
- Pérez, A, Rojas., J., y Fuentes, J. (2010). Diversidad de bacterias endófitas asociadas a las raíces del pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa*) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 219-228. <https://doi:10.21162/pakjas/22.1263>
- Piccoli, P., Travaglia, C., Cohen, A., Sosa, L., Cornejo, P., Masuelli, R., y Bottini, R. (2010). An endophytic bacterium isolated from roots of the halophyte *Prosopis strombulifera* produces ABA, IAA, gibberellins A<sub>1</sub> and A<sub>3</sub> and jasmonic acid in chemically-defined culture medium. *Plant Growth Regul*, 64, 207-210. <https://doi:10.1007/s10725-010-9536-z>
- Rangseekaew, P., Barros, A., Pathom, W., y Manzanera, M. (2021). Deep-sea Actinobacteria mitigate salinity stress in tomato seedlings and their biosafety testing. *Plants*, 10(8), 1687. <https://doi.org/10.3390/plants10081687>
- Rivera, J. (2018). Micropropagación de *Prosopis pallida* (Humb. y Bompl. Ex Willd.)
- Rossi, M., Borromeo, I., Capo, C., Glick, B., Del Gallo, M., Pietrini, F., y Forni, C. (2021). PGPB Improve photosynthetic activity and tolerance to oxidative stress in *Brassica napus* grown on salinized soils. *Applied Sciences*, 11(23), 11442. <https://doi.org/10.3390/app112311442>
- Saghafi, D., Delangiz, N., Lajayer, B. A., y Ghorbanpour, M. (2019). An overview on improvement of crop productivity in saline soils by halotolerant and halophilic PGPRs. *3 Biotech*, 9(7), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1799-0>
- Saglam, A., Demiralay, M., Nigar Colak, D., Pehlivan Gedik, N., Pehlivan Gedik, N., Basok, O. y Kadioglu, A. (2022). *Pseudomonas putida* KT2440 induces drought tolerance during fruit ripening in tomato. *Bioagro*, 34(2), 139-150. <https://doi.org/10.51372/bioagro342.4>
- Sánchez, A., De León C., Aranda, S., Zavaleta, E., Nava, C., Goodwin, P y Leyva, S. (2018). Bacterias endófitas de la raíz en líneas de maíces tolerantes y susceptibles a sequía. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 35-55. <https://doi:10.18781/r.mex.fit.1710-3>.



- Santamaría, J. (2013). Evaluación de la salinidad de los suelos de la comunidad campesina San José – Lambayeque, tratados con vinaza, usando la técnica del prendimiento de esquejes de la especie *Brachiaria mutica* (Forssk) Staff."GRAMALOTE" a nivel de bandejas, [tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- Santos, M., Berlitz, D., Felice, Sh., Schunemann, R., Knaak, N., y Fiuza, L. (2018). Benefits associated with the interaction of endophytic bacteria and plants. *Agriculture. Agribusiness and Biotechnology*. 61, 1-10. <https://doi.org/10.1590/668-4324-2018160431>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI (2015). Regionalización y caracterización de sequías en el Perú. Lima, Perú: MINAM. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-69.pdf>
- Sgroy, V., Cassán, F.M, Masciarelli, O., Florencia del Papa, M., Lagares, A., y Luna, V. (2009). Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting (PGPB) or stress homeostasis-regulating (PSHB) bacteria associated to the halophyte *Prosopis strombulifera*. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 371-381. <https://doi:10.1007/s00253-009-2116-3>
- Soca, R., Rojas, J., Willems, L., Ocola, C., Fernández, R., & Pérez, J. (2016). Identificación de las tierras degradadas por la salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar mediante imágenes de satélite. *Revista de Investigación de Física*, 19, 1-9. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Renato\\_Soca\\_Flores/publication/306060607](https://www.researchgate.net/profile/Renato_Soca_Flores/publication/306060607)
- Soto, D y Castillo, P. (2013). Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. [http://www.droughtmanagement.info/literature/UNWDPC\\_NDMP\\_Country\\_Report\\_Peru\\_2013.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/UNWDPC_NDMP_Country_Report_Peru_2013.pdf)
- Vantini, M., De Cássia Alves, R., De Oliveira, K., Moro, G., Santos, D., y Gratão, P. (2021). Enhancement of salt tolerance in corn using *Azospirillum brasilense*: an approach on antioxidant systems. *Journal of Plant Research*, 134(6), 1279-1289. <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01332-1>
- Vásquez, L., Ecurra, J., y Huamán, N. (2010). Los algarrobos del Perú. Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología, CONCYTEC.

- Vicentini, G. y Pérez, V. (2010). Caracterización edafológica de los sitios forestados con algarrobo. XXIV Jornadas Forestales De Entre Ríos, Concordia, Argentina.
- Villegas, J., Rueda, E., Murillo, B., Puente, M., Ruíz, F., Zamora, S. y Beltran, F. (2014). Bacterias promotoras de crecimiento de plantas autóctonas y su efecto en *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1641-1653.
- Walitang, D., Kim, K., Madhaiyan, M., Kim, Y., Kang, Y y Sa, T. (2017). Characterizing endophytic competence and plant growth promotion of bacterial endophytes inhabiting the seed endosphere of rice. *BMC Microbiology*, 117, 209-222. <https://doi:10.1186/s12866-017-1117-0>.
- Wang, D., Wang, J., Shi, S., Huang, L., Zhu, M., y Li, F. (2021). Exogenous melatonin ameliorates salinity-induced oxidative stress and improves photosynthetic capacity in sweet corn seedlings. *Photosynthetica*, 59, 327-336. <https://doi 10.32615/ps.2021.031>
- Wang, G., Weng, L., Huang, Y., Ling, Y., Zhen, Z., Lin, Z., Hu, H., Li, C., Guo, J., Zhou, J. L., Chen, S., Jia, Y. y Ren, L. (2022). Microbiome-metabolome analysis directed isolation of rhizobacteria capable of enhancing salt tolerance of Sea Rice 86. *Science of The Total Environment*, 843, 156817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156817>
- Waqar, A., Bano, A., y Ajmal, M. (2022). Effects of PGPR Bioinoculants, Hydrogel and Biochar on growth and physiology of soybean under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(7), 826-847. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2028818>
- Yadav, V., Yadav, R., Choudhary, P., Sharma, S. y Bhagat, N. (2022). Mitigation of drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by inoculation of drought tolerant *Bacillus paramycoides* DT-85 and *Bacillus paranthracis* DT-97. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 59-69. <https://doi.org/10.7324/jabb.2022.10s109>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1

Análisis de varianza de la altura a los 15 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	109,17	2	54,58	169,91	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	74,89	3	24,96	77,71	< 0,0001	**
Interacción A x B	5,76	6	0,96	2,99	0,0251	
Error	7,71	24	0,32			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 15 días de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	15,39	a
Estrés por sequía	14,76	b
Estrés por salinidad	11,43	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 15 días de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	15,51	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	14,62	b
Fertilizante químico	13,68	c
Sin fertilizante	11,63	d

## Anexo 2

Análisis de varianza de la altura a los 30 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	1280,59	2	640,30	1230,79	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	313,35	3	104,45	200,78	< 0,0001	**
Interacción A x B	163,27	6	27,21	52,31	< 0,0001	**
Error	12,49	24	0,52			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 30 días de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	36,01	a
Estrés por sequía	28,30	b
Estrés por salinidad	21,41	C

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 30 días de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
<i>Klebsiella</i> sp. 162	31,62	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	31,30	a
Fertilizante químico	26,51	b
Sin fertilizante	24,86	C

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 30 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	43,87	a
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	38,91	b
Sin estrés	Fertilizante químico	31,27	c
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	31,20	c
Sin estrés	Sin fertilizante	30,00	c
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	29,40	c
Estrés por sequía	Fertilizante químico	27,23	d
Estrés por sequía	Sin fertilizante	25,37	d e
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	23,80	e
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	21,60	f
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	21,03	f g
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	19,20	g

### Anexo 3

Análisis de varianza de la altura a los 45 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	3508,54	2	1754,27	5361,10	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	3225,29	3	1075,10	3285,53	< 0,0001	**
Interacción A x B	108,87	6	18,15	55,45	< 0,0001	**
Error	7,85	24	0,33			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 45 días de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	71,56	a
Estrés por sequía	52,88	b
Estrés por salinidad	48,92	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 45 días de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	68,12	A
<i>Klebsiella</i> sp. 162	61,99	b
Fertilizante químico	58,52	c
Sin fertilizante	42,51	d

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 45 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	85,37	a
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	75,13	b
Sin estrés	Fertilizante químico	72,67	c
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	62,10	d
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	57,73	e
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	56,90	e
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	53,10	f
Sin estrés	Sin fertilizante	53,07	f
Estrés por sequía	Fertilizante químico	52,93	f
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	49,97	g
Sin estrés	Sin fertilizante	38,77	h
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	35,70	i



### Anexo 4

Análisis de varianza de la altura a los 60 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	7502,33	2	3751,17	1870,91	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	2702,34	3	900,78	449,27	< 0,0001	**
Interacción A x B	133,72	6	22,29	11,12	< 0,0001	**
Error	48,12	24	2,00			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 60 días de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	85,56	a
Estrés por sequía	57,72	b
Estrés por salinidad	52,76	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 60 días de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	75,39	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	69,58	b
Fertilizante químico	64,51	c
Sin fertilizante	51,90	d

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura a los 60 días de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Altura (cm)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	96,83	a
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	88,23	b
Sin estrés	Fertilizante químico	81,73	c
Sin estrés	Sin fertilizante	75,43	d
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	68,50	e
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	62,83	f
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	60,83	f g
Estrés por sequía	Fertilizante químico	58,50	g
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	57,67	g
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	53,30	h
Estrés por sequía	Sin fertilizante	41,03	i
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	39,23	i

### Anexo 5

Análisis de varianza de la longitud de raíces de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	1418,69	2	709,35	1744,89	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	1467,99	3	489,33	1203,68	< 0,0001	**
Interacción A x B	645,85	6	107,64	264,78	< 0,0001	**
Error	9,76	24	0,41			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la longitud de raíces de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Longitud de raíces (cm)	Significancia
Sin estrés	38,37	a
Estrés por sequía	26,14	b
Estrés por salinidad	24,18	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la longitud de raíces de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Longitud de raíces (cm)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	35,67	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	33,36	b
Fertilizante químico	30,21	c
Sin fertilizante	19,03	d

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la longitud de raíces de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Longitud de raíces (cm)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	49,78	a
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	48,70	a
Sin estrés	Fertilizante químico	32,12	b
Estrés por sequía	Fertilizante químico	30,57	b c
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	29,30	c d
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	27,93	d e
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	27,93	d e
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	26,30	e f
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	25,07	f
Sin estrés	Sin fertilizante	22,88	g
Estrés por sequía	Sin fertilizante	18,40	h
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	15,80	i

## Anexo 6

Análisis de varianza de la biomasa radicular fresca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	117672,92	2	58836,46	11293,59	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	36710,52	3	12236,84	2348,85	< 0,0001	**
Interacción A x B	4192,65	6	698,78	134,13	< 0,0001	**
Error	125,03	24	5,21			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular fresca de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Biomasa radicular fresca (g)	Significancia
Sin estrés	521,13	a
Estrés por sequía	413,50	b
Estrés por salinidad	389,71	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular fresca de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Biomasa radicular fresca (g)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	467,71	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	457,19	b
Fertilizante químico	454,06	c
Sin fertilizante	386,83	d

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular fresca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Biomasa radicular fresca (g)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	539,17	a
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	536,00	a
Sin estrés	Fertilizante químico	527,50	b
Sin estrés	Sin fertilizante	481,83	c
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	440,00	d
Estrés por sequía	Fertilizante químico	425,00	e
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	423,95	e
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	420,00	e f
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	415,57	f g
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	409,67	g
Estrés por sequía	Sin fertilizante	369,00	h
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	309,67	i

### Anexo 7

Análisis de varianza de la biomasa radicular seca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	20755,67	2	10377,84	4315,96	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	72950,46	3	24316,82	10112,93	< 0,0001	**
Interacción A x B	667,60	6	111,27	46,27	< 0,0001	**
Error	57,71	24	2,40			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular seca de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Biomasa radicular seca (g)	Significancia
Sin estrés	242,13	a
Estrés por sequía	197,17	b
Estrés por salinidad	186,81	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular seca de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Biomasa radicular seca (g)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	278,82	a
Fertilizante químico	210,75	b
<i>Klebsiella</i> sp. 162	189,65	c
Sin fertilizante	155,58	d



Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa radicular seca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Biomasa radicular seca (g)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	319,00	a
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	266,63	b
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	250,83	c
Sin estrés	Fertilizante químico	244,83	d
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	222,50	e
Estrés por sequía	Fertilizante químico	197,26	f
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	190,14	g
Sin estrés	Sin fertilizante	182,17	h
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	173,93	i
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	172,51	i
Estrés por sequía	Sin fertilizante	150,85	j
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	133,74	k

### Anexo 8

Análisis de varianza de la biomasa aérea fresca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	649579,88	2	324789,94	22650,30	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	153191,62	3	51063,87	3561,11	< 0,0001	**
Interacción A x B	5214,42	6	869,07	60,61	< 0,0001	**
Error	344,14	24	14,34			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea fresca de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Biomasa aérea fresca (g)	Significancia
Sin estrés	776,23	a
Estrés por salinidad	521,42	b
Estrés por sequía	468,54	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea fresca de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Biomasa aérea fresca (g)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	657,47	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	609,89	b
Fertilizante químico	606,89	b
Sin fertilizante	481,29	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea fresca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Biomasa aérea fresca (g)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	852,42	a
Sin estrés	Fertilizante químico	800,00	b
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	797,82	b
Sin estrés	Sin fertilizante	654,68	c
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	600,00	d
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	545,00	e
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	540,67	e
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	520,00	f
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	485,00	g
Estrés por sequía	Fertilizante químico	480,00	g
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	400,00	h
Estrés por sequía	Sin fertilizante	389,18	h

### Anexo 9

Análisis de varianza de la biomasa aérea seca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	48818,17	2	24409,09	4288,15	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	11853,60	3	3951,20	694,14	< 0,0001	**
Interacción A x B	5849,93	6	974,99	171,28	< 0,0001	**
Error	136,61	24	9,69			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea seca de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Biomasa aérea seca (g)	Significancia
Sin estrés	163,60	a
Estrés por salinidad	108,71	b
Estrés por sequía	74,17	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea seca de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Biomasa aérea seca (g)	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	133,47	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	133,39	a
Fertilizante químico	101,44	b
Sin fertilizante	93,67	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la biomasa aérea seca de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de Fertilizante	Biomasa aérea seca (g)	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	200,40	a
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	198,50	a
Sin estrés	Fertilizante químico	133,67	b
Sin estrés	Sin fertilizante	121,83	c
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	117,83	c
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	117,33	c
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	101,17	d
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	98,50	d
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	83,83	e
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	82,67	e
Estrés por sequía	Fertilizante químico	69,50	f
Estrés por sequía	Sin fertilizante	60,67	g

### Anexo 10

Análisis de varianza de la tasa de follaje/raíces de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	0,77	2	0,38	3077,27	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	0,11	3	0,04	291,40	< 0,0001	**
Interacción A x B	0,02	6	3,4E-03	27,04	< 0,0001	**
Error	3,0E-03	24	1,2E-04			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la tasa de follaje/raíces de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Tasa de Follaje/raíces	Significancia
Sin estrés	1,49	a
Estrés por salinidad	1,34	b
Estrés por sequía	1,13	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la tasa de follaje/raíces de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Tasa de Follaje/raíces	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,39	a
Fertilizante químico	1,32	b
<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,32	b
Sin fertilizante	1,24	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la tasa de follaje/raíces de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Tasa de follaje/raíces	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,58	a
Sin estrés	Fertilizante químico	1,52	b
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,49	b
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,42	c
Sin estrés	Sin fertilizante	1,36	d
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	1,32	e
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,31	e
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	1,29	e
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,18	f
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,15	f g
Estrés por sequía	Fertilizante químico	1,13	g
Estrés por sequía	Sin fertilizante	1,06	h



### Anexo 11

Análisis de varianza de la tasa de clorofila de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	FC	P	Significancia
Condición de estrés (A)	0,41	2	0,21	135,67	< 0,0001	**
Aplicación de fertilizante (B)	0,53	3	0,18	117,13	< 0,0001	**
Interacción A x B	0,05	6	0,01	5,96	0,0006	**
Error	0,04	24	1,5E-03			

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la clorofila de plantas de *Zea mays* sin estrés, estrés por salinidad y sequía.

Condición de estrés	Clorofila	Significancia
Sin estrés	1,27	a
Estrés por salinidad	1,13	b
Estrés por sequía	1,01	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la clorofila de plantas de *Zea mays* sin fertilizante, con fertilizante químico, *Pseudomonas* sp. 306 y *Klebsiella* sp. 162

Aplicación de fertilizante	Clorofila	Significancia
<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,27	a
Fertilizante químico	1,22	a
<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,12	b
Sin fertilizante	0,95	c

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la clorofila de plantas de *Zea mays* por efecto de diferentes condiciones de estrés y aplicación de fertilizante

Condición de estrés	Aplicación de fertilizante	Clorofila	Significancia
Sin estrés	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,46	a
Sin estrés	Fertilizante químico	1,36	a b
Estrés por salinidad	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,25	b c
Estrés por salinidad	Fertilizante químico	1,19	c d
Sin estrés	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,17	c d
Estrés por salinidad	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,15	c d e
Sin estrés	Sin fertilizante	1,10	d e
Estrés por sequía	Fertilizante químico	1,09	d e
Estrés por sequía	<i>Pseudomonas</i> sp. 306	1,09	d e
Estrés por sequía	<i>Klebsiella</i> sp. 162	1,05	e
Estrés por salinidad	Sin fertilizante	0,91	f
Estrés por sequía	Sin fertilizante	0,82	f



**ACTA DE SUSTENTACIÓN**  
**ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N° 029-2022-FCCBB-UI**

Siendo las 11:00 horas del día 06 de octubre de 2022, se reunieron vía plataforma *meet.google.com/dis-gthg-wev*. los Miembros de Jurado evaluador de la tesis titulada “**Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía**”, designados por Resolución N° 026-2019-UI-FCCBB de fecha 18 de junio de 2019, con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

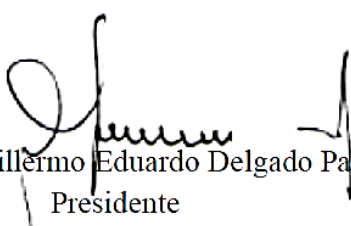
Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes	Presidente
Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez	Secretario
Lic. Mario Cecilio Moreno Mantilla	Vocal
Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán	Asesora

El acto de sustentación fue autorizado por Resolución N°263-2022-VIRTUAL-FCCBB/D, de fecha 05 de octubre de 2022, de la sustentación virtual.

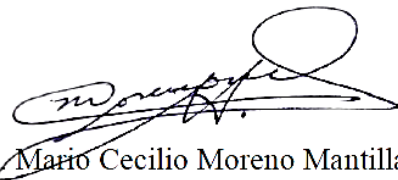
La Tesis fue presentada y sustentada por los **Bachilleres JESUS CRISTIAN BARRERA FUENTES y LUIS MIGUEL GONZALES RODRIGUEZ**, tuvo una duración de 60 minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas y observaciones por los miembros del jurado, se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de (19) (EXCELENTE) en la escala vigesimal.

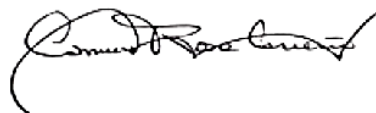
Por lo que el **Bachiller JESUS CRISTIAN BARRERA FUENTES** y el **Bachiller LUIS MIGUEL GONZALES RODRÍGUEZ** quedan **APTOS** para obtener el título profesional de Licenciado en Biología – Microbiología - Parasitología, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:00 horas se dio por concluido el presente acto académico, dando conformidad con la firma de los miembros del jurado.

  
 Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes  
 Presidente

  
 Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez  
 Secretario

  
 MSc. Mario Cecilio Moreno Mantilla,  
 Vocal

  
 Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán  
 Asesora

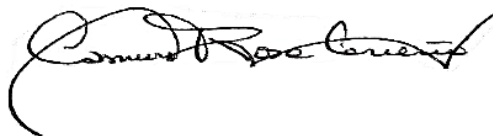
## CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Carmen Rosa Carreño Farfán,  
Asesor de Tesis, de los bachilleres Luis Miguel Gonzales Rodriguez y  
Jesus Cristian Barrera Fuentes

Titulada: Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth.  
como potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo condiciones de  
estrés por salinidad y sequía,  
luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un  
índice de similitud de 18% verificable en el reporte de similitud del  
programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 2 de diciembre de 2022



---

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán  
DNI: 16494424  
ASESOR



## CONSTANCIA DE SIMILITUD

N° 028-2022-VIRTUAL-UNPRG-FCCBB

**EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO, HACE CONSTAR**

Que, los Bachilleres **JESÚS CRISTIAN BARRERA FUENTES** y **LUIS MIGUEL GONZALES RODRÍGUEZ** de la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, han cumplido con presentar la SIMILITUD DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS (TURNITIN), como requisito indispensable para la sustentación de la tesis, según detalle:

TÍTULO DE LA TESIS:

**“Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía”**

**ÍNDICE DE SIMILITUD: 18%**

ASESORA: CARMEN ROSA CARREÑO FARFÁN

Lambayeque, 09 de setiembre de 2022



Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez,  
Director

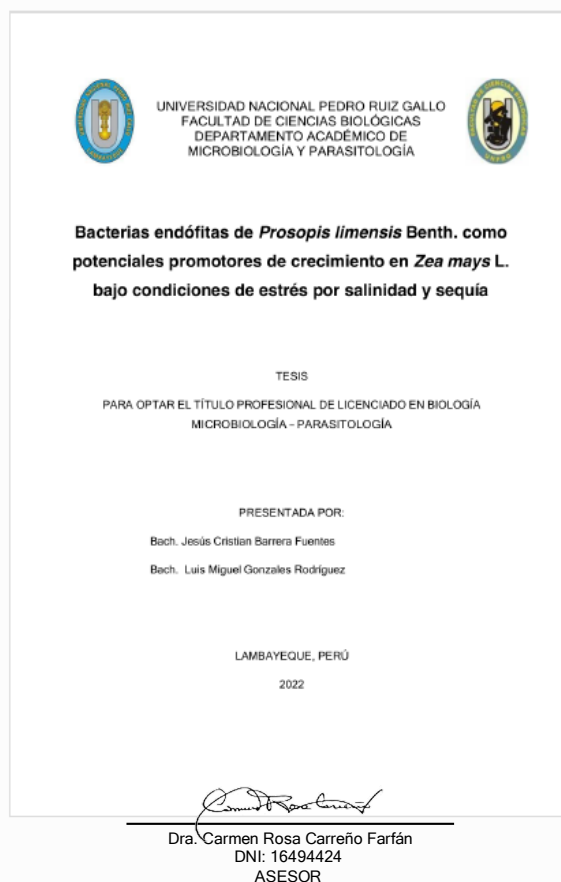


## Recibo digital

Este recibo confirma que su 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: Jesús Cristian Barrera Fuentes Luis Miguel Gonzales Rodrígu...  
Título del ejercicio: TESIS PREGRADO  
Título de la entrega: Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como poten...  
Nombre del archivo: TESIS\_COMPLETA\_LISTA\_PARA\_TURNITIN.docx  
Tamaño del archivo: 38.87M  
Total páginas: 94  
Total de palabras: 17,794  
Total de caracteres: 94,754  
Fecha de entrega: 11-sept.-2022 10:50p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 1897609389



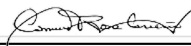
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
MICROBIOLOGÍA Y PARASITOLOGÍA

**Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como  
potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L.  
bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía**

TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
MICROBIOLOGÍA - PARASITOLOGÍA

PRESENTADA POR:  
Bach. Jesús Cristian Barrera Fuentes  
Bach. Luis Miguel Gonzales Rodríguez

LAMBAYEQUE, PERÚ  
2022

  
Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán  
DNI: 16494424  
ASESOR

# Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía

*por* Jesus Cristian Barrera Fuentes Luis Miguel Gonzales Rodríguez

---

**Fecha de entrega:** 11-sep-2022 10:50p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1897609389

**Nombre del archivo:** TESIS\_COMPLETA\_LISTA\_PARA\_TURNITIN.docx (38.87M)

**Total de palabras:** 17794

**Total de caracteres:** 94754

# Bacterias endófitas de *Prosopis limensis* Benth. como potenciales promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo condiciones de estrés por salinidad y sequía

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>18%</b>	<b>18%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

18%

★ [repositorio.unprg.edu.pe:8080](https://repositorio.unprg.edu.pe:8080)

Fuente de Internet

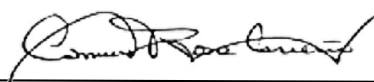
Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias &lt; 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán  
DNI: 16494424  
ASESOR