



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
MICROBIOLOGÍA Y PARASITOLOGÍA



***Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.
y efecto de su aplicación con diferentes dosis de
fertilizante químico en el desarrollo de *Zea mays* L.**

TESIS

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

PRESENTADA POR:

Br. Danny Omar Suclupe Campos

Br. Luis Castillo Rivadeneira

ASESORA

Dra. Carmen Carreño Farfán

LAMBAYEQUE, PERÚ

2021

***Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.
y efecto de su aplicación con diferentes dosis de
fertilizante químico en el desarrollo de *Zea mays* L.**

TESIS

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

APROBADA POR:

Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes

PRESIDENTE

Dra. Gianina Llontop Barandiarán

SECRETARIA

Dr. Jorge Llontop Llaque

VOCAL

Dra. Carmen Carreño Farfán

ASESORA

LAMBAYEQUE, PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios y mis padres por la vida y fortaleza para sobrellevarla. A los hombres de ciencia en Perú y el mundo, que Dios guíe sus pasos hacia la verdad y el progreso de sus naciones. Va por ellos con aprecio y respeto.

Danny Omar Suclupe Campos

La dedicatoria especial va para mi madre Lourdes Anita, por regalarme la vida, otorgarme su amor incondicional y enseñarme constantemente los caminos correctos; a mi padre Luis Felipe por ser la inspiración profesional de mi vida y por ofrecernos lo mejor a su alcance. Les dedico este logro a mis hermanas, María Lourdes y Jenny Rosita, quienes me acompañan en todas las adversidades y en los mejores momentos de la vida. Por último dedico este proyecto a las personas que me brindaron su apoyo desinteresado, abuelos, tíos, primos y amigos, en particular a mis vecinos Lindaura Seviilla y Juan Vidal (Q.E.P.D) quienes me cuidaron desde muy pequeño y me hicieron parte de su familia.

Luis Castillo Rivadeneira

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por la vida prestada y el amor recibido, porque sin él nada es posible. También nuestro mutuo agradecimiento a la Dra. Carmen Carreño Farfán, por sus innumerables muestras de paciencia y entendimiento, por dedicarnos su tiempo acompañándonos de inicio a fin con el proyecto y por sus valiosas enseñanzas no solo en lo académico.

Agradecemos a nuestra casa de estudios la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, a sus docentes y servidores públicos, por hacer posible nuestra formación profesional, con el augurio de retribuirles pronto con éxitos laborales y personales, a fin de honrar el nombre de la universidad.

Gracias a nuestras familias y amistades, que estuvieron acompañándonos y compartiendo cada etapa de la vida universitaria.

*La ciencia se compone de errores, que
a su vez son los pasos hacia la verdad.*

Julio Verne

Índice general

I. INTRODUCCIÓN	14
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes de la investigación	17
2.2 Base teórica.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Materiales.....	22
3.1.1 Material biológico.....	22
3.1.2 Población y muestra	22
3.2 Métodos.....	22
3.2.1 Variable de la fase descriptiva	22
3.2.2 Variable de la fase explicativa	23
3.2.3 Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis.....	23
3.2.4 Reactivación de <i>Pseudomonas</i> spp.	23
3.2.5 Potencial de <i>Pseudomonas</i> spp. como promotoras de crecimiento en plantas.....	27
3.2.6 Tolerancia de <i>Pseudomonas</i> spp. a cuatro concentraciones de NaCl28	
3.2.7 Efecto comparativo de 15 cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp. en el desarrollo vegetativo de maíz	29
3.2.8 Selección de cinco cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp.	32
3.2.9 Efecto de cinco cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp. a diferentes concentraciones de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz	32
3.2.10 Análisis estadístico de los datos.....	34
IV. RESULTADOS	36
4.1 Ácido indo acético producido, nitrógeno fijado y fosfato solubilizado	36
4.2 Tolerancia a cuatro concentraciones de NaCl	36
4.3 Efecto comparativo de 15 cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp. en el desarrollo vegetativo de maíz	36
4.4 Efecto de cinco cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz52	
V. DISCUSIÓN	87

VI. CONCLUSIONES	91
VII. RECOMENDACIONES.....	92
VIII. REFERENCIAS	93
Anexos	100

Índice de tablas

Tabla 1.	Análisis físico-químico de suelo agrícola experimental, 2018 -----	30
Tabla 2.	Indoles producidos, nitrógeno fijado como amonio e índice de solubilización de fosfato por <i>Pseudomonas</i> spp.-----	37
Tabla 3.	Índice de efectividad en la altura de plantas de <i>Zea mays</i> L., 10, 20, 30 y 40 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	40
Tabla 4.	Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura de <i>Zea mays</i> L., 10, 20, 30 y 40 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	43
Tabla 5.	Índices de efectividad (%) y prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la longitud de raíces de <i>Zea mays</i> L., 40 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	51
Tabla 6.	Índices de efectividad (%) en la altura de planta y longitud de raíces de <i>Zea mays</i> L., por <i>Pseudomonas</i> spp. seleccionadas -----	53
Tabla 7.	Índices de efectividad (%) en la altura de <i>Zea mays</i> L. aplicado con <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	61
Tabla 8.	Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 10 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	62
Tabla 9.	Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 10 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.-----	62
Tabla 10.	Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 20 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico-----	63
Tabla 11.	Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 20 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.--	63
Tabla 12.	Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 30 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico-----	65
Tabla 13.	Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 30 después de la aplicación de fertilizante químico -----	65

Tabla 14. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 30 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.-----	66
Tabla 15. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 30 después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	66
Tabla 16. Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L.,40 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	67
Tabla 17. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 40 después de la aplicación de fertilizante químico-----	67
Tabla 18. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 40 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.-----	68
Tabla 19. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 40 después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	68
Tabla 20. Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 50 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	-69
Tabla 21. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 50 días después de la aplicación de fertilizante químico -----	69
Tabla 22. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 50 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	70
Tabla 23. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 50 después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	70
Tabla 24. Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L.,60 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	71
Tabla 25. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 60 días después de la aplicación de fertilizante químico -----	71
Tabla 26. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 60 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	72

Tabla 27. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 60 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	72
Tabla 28. Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 70 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	74
Tabla 29. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 70 días después de la aplicación de fertilizante químico -----	74
Tabla 30. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 70 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	75
Tabla 31. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,005$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 70 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	75
Tabla 32. Análisis de varianza de la altura de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	76
Tabla 33. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	76
Tabla 34. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	77
Tabla 35. Índices de efectividad (%) en la longitud radicular de <i>Zea mays</i> L. 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico-----	78
Tabla 36. Análisis de varianza de la longitud radicular de <i>Zea mays</i> L. 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	78
Tabla 37. Índices de efectividad (%) en el volumen radicular de <i>Zea mays</i> L. 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico-----	79
Tabla 38. Análisis de varianza del volumen radicular de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico -----	79

Tabla 39. Índices de efectividad (%) en la biomasa aérea fresca de <i>Zea mays</i> L. 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico-----	80
Tabla 40. Análisis de varianza de la biomasa aérea fresca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp, con diferentes dosis de fertilizante químico-----	82
Tabla 41. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de fertilizante químico -----	82
Tabla 42. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	83
Tabla 43. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de <i>Zea mays</i> L.,80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	83
Tabla 44. Índices de efectividad (%) en la biomasa aérea seca de <i>Zea mays</i> L. 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico-----	84
Tabla 45. Análisis de varianza de la biomasa aérea seca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico-----	84
Tabla 46. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de fertilizante químico -----	85
Tabla 47. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de <i>Zea mays</i> L., 80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. -----	85
Tabla 48. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de <i>Zea mays</i> L.,80 días después de la aplicación de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico -----	86

Índice de figuras

Figura 1	<i>Diseño completamente aleatorio para comparar el efecto de <i>Pseudomonas</i> spp. en la germinación y desarrollo vegetativo de <i>Zea mays</i> L.</i>	24
Figura 2	<i>Tratamientos para determinar el efecto de <i>Pseudomonas</i> spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo de <i>Zea mays</i> L.</i>	25
Figura 3	<i>Colonias de <i>Pseudomonas</i> spp. desarrolladas en agar tripticasa soya, Lambayeque 2018.</i>	26
Figura 4	<i>Cultivos de <i>Pseudomonas</i> spp. en agar tripticasa soya, Lambayeque 2018.</i>	26
Figura 5	<i>Medición de altura de planta de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2018.</i>	33
Figura 6	<i>Medición de longitud radicular de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2018.</i>	33
Figura 7	<i>Determinación del volumen radicular de <i>Zea mays</i> L., Lambayeque 2018.</i>	35
Figura 8	<i>Turbidez desarrollada por <i>Pseudomonas</i> spp. en caldo nutritivo con cloruro de sodio.</i>	38
Figura 9	<i><i>Zea mays</i> L. 10 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.</i>	38
Figura 10	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 10 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.</i>	39
Figura 11	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 20 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas putida</i> 7.</i>	40
Figura 12	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 20 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas fluorescens</i> 9.</i>	40
Figura 13	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 20 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.</i>	41
Figura 14	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 30 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> sp. 4.</i>	45
Figura 15	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 30 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> sp. 11.</i>	45
Figura 16	<i>Altura de <i>Zea mays</i> L., 30 días después de la inoculación de <i>Pseudomonas</i> spp.</i>	46

Figura 17	<i>Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 16.</i>	47
Figura 18	<i>Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 11.</i>	47
Figura 19	<i>Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.</i>	48
Figura 20	<i>Longitud radicular de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 19 (a) y Pseudomonas putida 8 (b).</i>	49
Figura 21	<i>Longitud radicular de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.</i>	50
Figura 22	<i>Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 10 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	54
Figura 23	<i>Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 20 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico</i>	54
Figura 24	<i>Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 30 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico</i>	55
Figura 25	<i>Altura de Zea mays L. 30 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	55
Figura 26	<i>Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 40 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	56
Figura 27	<i>Altura de Zea mays L. 40 días después de la aplicación de Pseudomonas fluorescens 9 con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	56
Figura 28	<i>Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 50 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	57
Figura 29	<i>Altura de Zea mays L. 50 días después de la aplicación de Pseudomonas sp. 5 con diferentes dosis de fertilizante químico.</i>	57

- Figura 30** *Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 60 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.58*
- Figura 31** *Altura de Zea mays L. 60 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.....58*
- Figura 32** *Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 70 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.59*
- Figura 33** *Diagrama de caja y bigotes de la altura de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.59*
- Figura 34** *Altura de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.....60*
- Figura 35** *Altura de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas sp. 11 con diferentes dosis de fertilizante químico.....60*

Resumen

La investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo de *Zea mays* L. “maíz”. En 15 cultivos bacterianos previamente aislados de la rizósfera de *Asparagus officinalis* L. se verificaron *in vitro* promoción de crecimiento vegetal. En el primer ensayo, bajo un diseño completamente aleatorio (DCA), se investigó el efecto de estas bacterias en la emergencia, altura, biomasa aérea y longitud radicular del maíz. En el segundo ensayo bajo un DCA con arreglo factorial, se determinó el efecto de tres dosis de fertilizante químico (0, 50, 100%) y cinco *Pseudomonas* spp. (1, 2, 3, 4, 5) en el crecimiento y rendimiento de maíz. Los 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. produjeron ácido indol acético, fijaron nitrógeno, solubilizaron fosfato tricálcico e incrementaron la altura y longitud de la raíz de las plantas. Se seleccionaron *Pseudomonas* sp. 5, *P. fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19, debido a que con ellas se alcanzaron los mayores índices de efectividad en la altura (75,78%) y en la longitud de la raíz (97,70%). *Pseudomonas* spp. solas o en combinación de 50 y 100% de fertilizante químico, incrementaron el crecimiento y rendimiento de maíz, alcanzándose los mayores índices de efectividad en la biomasa seca con *P. putida* 8 (124,74%) y *Pseudomonas* sp. 5 (116,72%), ambos con 50% de fertilizante químico. Se demostró la promoción del desarrollo del maíz por *Pseudomonas* spp. con 50 y 100% de fertilizante químico.

Palabras clave: *Pseudomonas* spp., *Zea mays*, fertilizante químico, promoción de crecimiento.

Abstract

The research was carried out with the objective of determining the effect of *Pseudomonas* spp. with different doses of chemical fertilizer on the development of *Zea mays* L. "maize". In 15 bacterial cultures previously isolated from the rhizosphere of *Asparagus officinalis* L., plant growth promotion was verified in vitro. In the first trial, under a completely randomized design (CRD), the effect of these bacteria on emergence, height, aerial biomass and root length of maize was investigated. In the second trial, under a DCA with factorial arrangement, the effect of three doses of chemical fertilizer (0, 50, 100%) and five *Pseudomonas* spp. (1, 2, 3, 4, 5) on corn growth and yield. The 15 *Pseudomonas* spp. cultures produced indole acetic acid, fixed nitrogen, solubilized tricalcium phosphate, and increased plant height and root length. *Pseudomonas* sp. 5, *P. fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 and *Pseudomonas* sp. 19 were selected because they achieved the highest rates of effectiveness in height (75.78%) and root length (97.70%). *Pseudomonas* spp. alone or in combination with 50 and 100% chemical fertilizer, increased corn growth and yield, reaching the highest effectiveness rates in dry biomass with *P. putida* 8 (124.74%) and *Pseudomonas* sp. 5 (116.72%), both with 50% chemical fertilizer. The promotion of corn development by *Pseudomonas* spp. with 50 and 100% of chemical fertilizer was demonstrated.

Keywords: *Pseudomonas* spp., *Zea mays*, chemical fertilizer, growth promotion.

I. INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes químicos incrementan el nivel nutricional de las plantas y el rendimiento de los cultivos agrícolas como *Zea mays* L. “maíz” (Machfud et al., 2019), así como también mejoran la calidad del suelo, enriqueciéndolo con el nutriente deficitario (Prasad y Shivay, 2020; van der Bom et al., 2019); no obstante, la aplicación inadecuada desfavorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Reid et al., 2021; Bai et al., 2020), acumula sales que dificultan la absorción de agua por las raíces, propicia un desbalance nutricional, afecta el desarrollo vegetal (Sharma y Chetani, 2017), la salud humana (Mohanty et al., 2021) y contamina el ambiente (Wang et al., 2018).

Las rizobacterias promotoras de crecimiento en plantas, conocidas por sus siglas en inglés como PGPR (Plant growth promoting rhizobacteria), constituyen una alternativa no contaminante para disminuir la dosis de fertilizante químico aplicado a los cultivos agrícolas (Emami et al., 2019; Jimtha et al., 2017) como el maíz (Sood et al., 2018). Estas bacterias incluyen especies de *Pseudomonas* (Vurukonda et al., 2016), que benefician a las plantas a través de mecanismos directos que facilitan la disponibilidad de nutrientes y mecanismos indirectos o control de fitopatógenos (Nadeem et al., 2016).

El efecto benéfico de *Pseudomonas* spp. se ha demostrado en diversos cultivos agrícolas (Vurukonda et al., 2016); no obstante, también existen reportes en los que no se obtuvo la respuesta esperada, resultados contradictorios atribuidos a diversos factores como la especificidad planta-bacteria y la aplicación de fertilizantes químicos, entre otros (Egamberdieva et al., 2015; Viruel et al., 2014). Al respecto, bacterias aisladas de *Saccharum officinarum* L. “caña de azúcar” (German, 2015) se inocularon en *Lycopersicon esculentum* “tomate” y se demostró el efecto promotor de

crecimiento. Por el contrario, bacterias aisladas de *Asparagus* sp. “espárrago silvestre” (García, 2012), se inocularon sin éxito en el cultivo de tomate.

En cuanto al fertilizante químico, Rodríguez et al. (2015) reportaron que la supervivencia de las PGPR como *Gluconacetobacter diazotrophicus*, disminuyó drásticamente con el fertilizante nitrogenado. Viruel et al. (2014) observaron que el efecto benéfico de *Pseudomonas tolaasii* en la emergencia y altura de plantas de maíz, fue menor cuando se aplicó fertilizante fosfatado y Reid et al. (2021) identificaron a nivel molecular una alta proporción de PGPR en muestras de rizósfera (49%) y rizoplaneo (91%) de plantas no fertilizadas, en comparación con 21 y 19%, respectivamente en plantas aplicadas con fertilizante químico.

En el laboratorio de Investigación de Biotecnología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, se aislaron *Pseudomonas* spp. en el rizoplaneo y rizósfera de plantas de *Asparagus officinalis* L. “espárrago” y se caracterizaron como PGPR en este mismo cultivo (Romero, 2017); no obstante, no se ha investigado el efecto de la aplicación de estas bacterias con y sin fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de otros cultivos agrícolas como el maíz (Kobua et al., 2021), con la perspectiva de obtener biofertilizantes que puedan ser aplicados comercialmente.

Los resultados de la investigación demostrarán la efectividad de *Pseudomonas* spp. en un cultivo diferente al de su procedencia, evidenciando la posibilidad de utilizarlas con dosis disminuidas de fertilizante químico. En este contexto, se planteó la investigación cuyo problema fue: ¿Cuál es el efecto de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo de *Zea mays* L. en condiciones de invernadero?. La hipótesis fue: La aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico, incrementa el desarrollo de *Zea mays* L. “maíz” en condiciones de invernadero.

El objetivo general de la investigación fue: Determinar el efecto de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo de *Zea mays* L. en condiciones de invernadero. Los objetivos específicos fueron: verificar las características que evidencian promoción de crecimiento vegetal *in vitro* en 15 cultivos de *Pseudomonas* spp., establecer la

tolerancia de *Pseudomonas* spp. a cuatro concentraciones de NaCl (3, 4, 5, 6% p/v), comparar el efecto de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. en el desarrollo vegetativo de maíz y comparar el efecto de cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz, en condiciones de invernadero.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Amogou et al. (2021) investigaron en maíz el efecto de rizobacterias junto a fertilizante químico. Las semillas se inocularon con *Bacillus panthothenicus*, *B. thuringiensis*, *P. putida*, *P. syringae* y *Serratia marcescens*, junto a 0; 25; 50 y 100% NPK + urea. Con *P. syringae* se alcanzó el mayor incremento en la biomasa aérea fresca (94,51%) y seca (63,63%); no obstante, la mayor altura, área foliar y rendimiento del grano correspondieron a *P. syringae* + 50% NPK + urea, con incrementos de 26,82; 32,23 y 30,64% respectivamente, en comparación con el control, demostrando que constituyen una estrategia para la fertilización del cultivo de maíz.

Kobua et al. (2021) investigaron el efecto de la aplicación de dosis disminuidas de fertilizante químico (FQ) junto a PGPR en el desarrollo de *Oryza sativa* L. “arroz”. Los tratamientos fueron 100% PGPR (T1), 25% FQ + 75% PGPR (T2), 50% FQ + 50% PGPR (T3) y testigo (T4), equivalentes a 120, 90, 60 y 0 mL de PGPR y 0, 40, 81 y 162g de nitrógeno, respectivamente. Los mayores valores de altura de las plantas, número de espigas, índice del área foliar y contenido de clorofila se alcanzaron con T3, y el mayor rendimiento en grano con T2, seguido de T3 y T1. Los resultados demostraron que la aplicación de PGPR junto a dosis disminuidas de FQ, no afectan el rendimiento agrícola.

Boveiri et al. (2020) estudiaron la actividad microbiana del suelo y aceites esenciales de *Ocimum basilicum*, por efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno, N (NF), solubilizadoras de fosfato, P (PS), NF + PS, fertilizante químico (FQ), NF + PS + 50% FQ y ácido húmico. Los valores máximos en la respiración microbiana y biomasa carbonada del suelo, número de tricomas glandulares y

contenido de aceite esencial correspondieron a NF + PS + 50% FQ. El mayor contenido de N y P foliar se alcanzaron con FQ seguido de NF + PS + 50% FQ. Se concluyó que la aplicación de bacterias NF y PS junto a 50% FQ, pueden ser recomendados para reducir el FQ en *O. basilicum*.

Geries y Elsadany (2020) estudiaron el impacto del extracto de *Spirulina platensis*, *P. stutzeri* y la mezcla junto a 0, 50, 75 y 100% de nitrógeno en el crecimiento y rendimiento de *Allium cepa* “cebolla”. Con las bacterias se cuantificó el cianuro de hidrógeno, ácido indol acético y amonio producido, así como también el nitrógeno fijado. Los tratamientos se aplicaron por aspersión foliar en las plántulas trasplantadas en condiciones de campo. Los mayores valores en altura, longitud de hoja, área foliar, número de hojas, contenido de clorofila, rendimiento comercial, peso de bulbos y tasa costo-beneficio se alcanzaron con el extracto junto a *P. stutzeri* y 100% de nitrógeno.

Soumya et al. (2020) determinaron el efecto de *Pseudomonas* spp. y fertilizante con micronutrientes en el rendimiento de *Amaranthus tricolor* L. Los tratamientos fueron: control (T1), caldo nutritivo (T2), 100% fertilizante químico, FQ (T3), 50% FQ (T4), 50% FQ y micronutrientes (T5), *P. fluorescens* (T6), *P. putida* (T7), *P. rhodesiae* (T8), *Pseudomonas* spp. (T9), *P. fluorescens* + 50% FQ (T10), *P. putida* + 50% FQ (T11), *P. rhodesiae* + 50% FQ (T12), consorcio + 50% FQ (T13) y consorcio + 50% FQ y micronutrientes (T14). Con T14 se incrementó la longitud de tallos y hojas y la biomasa, sin diferencias significativas con T3. Se demostró que el FQ puede ser disminuido con *Pseudomonas* spp. sin afectar el desarrollo de *A. tricolor*.

Nepalí et al. (2020) aplicaron en maíz *P. fluorescens* y *Trichoderma viride*, solas y en combinación con diferentes dosis de fertilizante químico, para determinar su efecto en el desarrollo del cultivo. Los tratamientos fueron: dosis recomendada NPK 120:60:40 (T1), *T. viride* (T2), *P. fluorescens* (T3), *T. viride* + 50% NPK (T4), *P. fluorescens* + 50% NPK (T5), *P. fluorescens* + *T. viride* + 100% NPK (T6) y control (T7). La mayor altura de las plantas correspondió a T4 (250 cm) y T5 (172 cm) y los mayores rendimientos a T5 (5708 kg ha⁻¹) y T4 (5667 kg ha⁻¹), en comparación con T1 (5451 kg ha⁻¹). Se demostró que 50% de NPK junto a *P. fluorescens* o *T. viride*, son efectivos fertilizantes para el maíz.

Gamez et al. (2019) estudiaron la capacidad de *P. fluorescens* y *Bacillus amyloliquefaciens* para promover el crecimiento de *Musa acuminata* “plátano”. Las bacterias se inocularon en la rizósfera en un ensayo con cinco tratamientos: 5% FQ (T1), 50% FQ (T2), 100% FQ (T3), 5% FQ + *P. fluorescens* (T4) y 5% FQ + *B. amyloliquefaciens* (T5). Los mayores valores en la altura, número de hojas, área foliar, grosor del tallo y biomasa, se alcanzaron con T5, seguido de T4 y T3, con diferencias significativas de T2 y T1. *B. amyloliquefaciens* fue más rápida que *P. fluorescens* en la dinámica de colonización y ambos pueden reemplazar en forma parcial al FQ.

Joshi et al. (2019) determinaron el efecto de *P. jessenii* y *Rhodococcus qingshengii* en el crecimiento y rendimiento de *Cicer arietinum* L. “garbanzo”. Los tratamientos fueron *P. jessenii* (T1), *R. qingshengii* (T2), T1 + 20 kg N ha⁻¹ (T3), T2 + 20 kg N ha⁻¹ (T4), 20 kg N ha⁻¹ (T5) y testigo absoluto (T6). Los mayores valores en la longitud radicular, altura, biomasa, peso de los nódulos radiculares, contenido de clorofila, actividad de la nitrato reductasa, nitrógeno absorbido y rendimiento de grano, correspondieron a T3 y T4. Se concluyó que las bacterias junto a 20 kg N ha⁻¹ pueden constituir fertilizantes para el cultivo de garbanzo.

Nosheen et al. (2018) investigaron el efecto de *P. putida* con fertilizante químico (FQ) en la actividad enzimática del suelo y el crecimiento de *Carthamus tinctorius* L. “cártamo”. Los tratamientos fueron control (T1), 100% urea y fosfato de amonio, FQ (T2), 50% FQ (T3), 25% FQ (T4), *P. putida* (T5), *P. putida* + 100% FQ (T6), *P. putida* + 50% FQ (T7), *P. putida* + 25% FQ (T8). Con T8 se alcanzó el mayor incremento (889%) de la ureasa y mayor aumento en la longitud de la raíz (148%) y contenido foliar de fosfato (176%). Con T7 se alcanzó el máximo aumento del contenido de clorofila (145%). Se demostró que con las bacterias se puede reducir con efectividad el fertilizante químico.

Viruel et al. (2014) determinaron el efecto de *Pseudomonas* spp. junto a superfosfato triple en el maíz. En el primer ensayo, las bacterias se inocularon en las semillas y después de 30 días se seleccionaron aquellas con las que se alcanzó la mayor altura. En campo, se investigaron cuatro tratamientos: sin bacterias (T1), superfosfato triple SPT (T2), *Pseudomonas* sp. (T3) y *Pseudomonas* sp. + SPT (T4). Con *P. tolaasii* IEXb se alcanzó el mayor incremento en la altura (45%). En campo T3 incrementó la altura (19%),

biomasa total (32%) y rendimiento del grano (44%) y superó en forma significativa a T4. El fertilizante químico disminuyó la efectividad de *Pseudomonas* spp.

2.2 Base teórica

Las rizobacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPR), con capacidad para colonizar las raíces de las plantas, son aquellas que mediante mecanismos directos e indirectos promueven el crecimiento vegetal y protegen a las plantas de los fitopatógenos e insectos plaga. Las PGPR incluyen especies de *Pseudomonas*, que tienen las características requeridas para constituir biofertilizantes como: son competencia en la rizósfera, capacidad saprofítica, capacidad para promover el crecimiento de las plantas, fácil multiplicación masiva, amplio espectro de acción, tolerancia al estrés abiótico, competencia con otros organismos y no son contaminantes del ambiente (Mohanty et al., 2021).

Los mecanismos directos de las PGPR corresponden a la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato, secuestro del ion férrico (Fe^{3+}) y reducción a ferroso (Fe^{2+}) mediante los sideróforos, producción de reguladores de crecimiento: auxinas, citoquininas y giberelinas (Mehmood et al., 2018), así como también disminución del nivel de fitohormonas como el etileno y como consecuencia, reducción del estrés en condiciones desfavorables. Los mecanismos indirectos de las PGPR o de control biológico, son la producción de antibióticos, enzimas líticas, cianuro de hidrógeno, competencia e inducción de resistencia sistémica (Olanrewaju et al., 2017).

Los biofertilizantes, bioinoculantes o inoculantes microbianos, son productos que contienen microorganismos vivos o latentes y que son aplicados a los cultivos agrícolas para estimular el desarrollo vegetativo y rendimiento. Los microorganismos previamente son aislados, caracterizados en condiciones de laboratorio, invernadero, campo y cultivados de manera controlada y axénica para la formulación de un producto que mejora el nivel nutricional de las plantas (Aguado, 2012). Las PGPR constituyen biofertilizantes para la disminución de los fertilizantes químicos, son naturales, orgánicos, no contaminantes y se requieren en menos dosis (Rai y Shukla, 2020).

El género *Pseudomonas* agrupa bacilos Gram negativos, aerobios estrictos a excepción de la especie que desnitrifica, catalasa negativos, la mayoría móviles, oxidasa positivos y no fermentadores de carbohidratos (López, 2011). Las especies de *Pseudomonas* son muy versátiles y desarrollan muy bien bajo condiciones desfavorables (Azadikhah et al., 2019). En salinidad estas bacterias acumulan osmolitos en su interior y generan una presión interna mayor a la del ambiente externo y en ambientes con elevada temperatura forman biopelículas, producen exopolisacáridos y polihidroxialcanoatos y son tolerantes a concentraciones altas de metales (Nadeem et al., 2016).

Los mecanismos de *Pseudomonas* spp. como promotoras de crecimiento en plantas son: producción de reguladores del crecimiento (Emami et al., 2019), sideróforos, solubilización de minerales (Munir et al., 2019) y actividad de la ACC desaminasa (Azadikhah et al., 2019; Vurukonda et al., 2016). También producen enzimas antioxidantes como catalasas, peroxidasas, glutatión que protegen a las plantas del superóxido, peróxido de hidrógeno e iones hidroxilo. Asimismo, generan protección frente a fitopatógenos mediante la competencia, antibiosis e inducción de resistencia sistémica (Munir et al., 2019; Nadeem et al., 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Material biológico

- Semillas de maíz Marginal 28 T variedad Precoz.
- Quince cultivos de *Pseudomonas* spp. aisladas del rizoplaneo y rizósfera de *Asparagus officinalis* L. “espárrago” cultivar UC-157 F2 en Virú, Trujillo, caracterizadas *in vitro* como rizobacterias promotoras de crecimiento en plantas PGPR (Romero, 2017) y proporcionadas por el laboratorio de Investigación Biotecnología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

3.1.2 Población y muestra

La población universal fueron las bacterias del género *Pseudomonas* y la población muestral, *Pseudomonas* spp. aisladas del rizoplaneo y rizósfera de espárrago. La unidad muestral correspondió a 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. codificadas por el laboratorio de Investigación Biotecnología Microbiana como *Pseudomonas* sp. 2, 3, 4, 5, 11, 12, 15, 16, 17 y 19, *Pseudomonas stutzeri* 6, *Pseudomonas putida* 7, 8 y 10, y *Pseudomonas fluorescens* 9.

3.2 Métodos

3.2.1 Variable de la fase descriptiva

Variable cuantitativa: Potencial de *Pseudomonas* spp. como promotoras de crecimiento en plantas (ácido indol acético producidos, nitrógeno fijado, índice de solubilización de fosfato y tolerancia a cuatro concentraciones de NaCl).

3.2.2 Variable de la fase explicativa

Variables independientes:

Dosis de fertilizante químico NPK (0, 50, 100%) y cultivos de *Pseudomonas* spp. (cinco).

Variable dependiente:

Desarrollo vegetativo de maíz (altura, longitud, peso y volumen radicular) y rendimiento.

3.2.3 Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

El trabajo de investigación se realizó en dos fases: en la primera fase descriptiva, con el diseño de Goode y Hatt (Alvitres, 2000), se cuantificó el ácido indol acético producido y el nitrógeno fijado como amonio, se determinó el índice de solubilización de fosfato y se estableció la tolerancia a cuatro concentraciones de NaCl por 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. En la segunda fase, con un estudio experimental, se realizaron dos ensayos. En el primero, bajo un diseño completamente aleatorio, DCA (Hernández et al., 2014), se determinó el efecto de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. en la emergencia y desarrollo vegetativo de maíz, incluyendo un testigo absoluto al que no se le inocularon bacterias (Figura 1).

En el segundo ensayo, bajo un DCA con arreglo factorial 3x6+3 se determinó el efecto de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz. Se investigaron dos variables independientes: A: dosis de fertilizante químico con tres niveles (0, 50 y 100%) y B: *Pseudomonas* spp. con seis niveles (sin *Pseudomonas*, *Pseudomonas* spp. 1, 2, 3, 4, 5). Los tratamientos fueron 18, cada uno con tres repeticiones, totalizando 54 unidades experimentales (Figura 2).

3.2.4 Reactivación de *Pseudomonas* spp.

Las bacterias de *Pseudomonas* spp. fueron cultivadas en caldo nutritivo a 30°C, en agitador a 150rpm, durante 24 horas. A continuación, se sembraron mediante la técnica de estría en agar tripticasa soya (ATS), se seleccionaron las colonias características (Figura 3) y se cultivaron en ATS, durante 24 horas, constituyendo las bacterias reactivadas o cultivos de trabajo (Figura 4).

Figura 1

Diseño completamente aleatorio para comparar el efecto de Pseudomonas spp. en la germinación y desarrollo vegetativo de Zea mays L.

5	12	9	6	3	11	15	4	10	7	1	8	2	14	16	13
---	----	---	---	---	----	----	---	----	---	---	---	---	----	----	----

10	16	4	12	2	8	15	6	11	1	3	14	7	9	13	5
----	----	---	----	---	---	----	---	----	---	---	----	---	---	----	---

11	4	10	1	9	3	6	14	7	12	8	5	13	5	2	16
----	---	----	---	---	---	---	----	---	----	---	---	----	---	---	----

T1: Testigo absoluto.

T2 a T16: *Pseudomonas* spp.

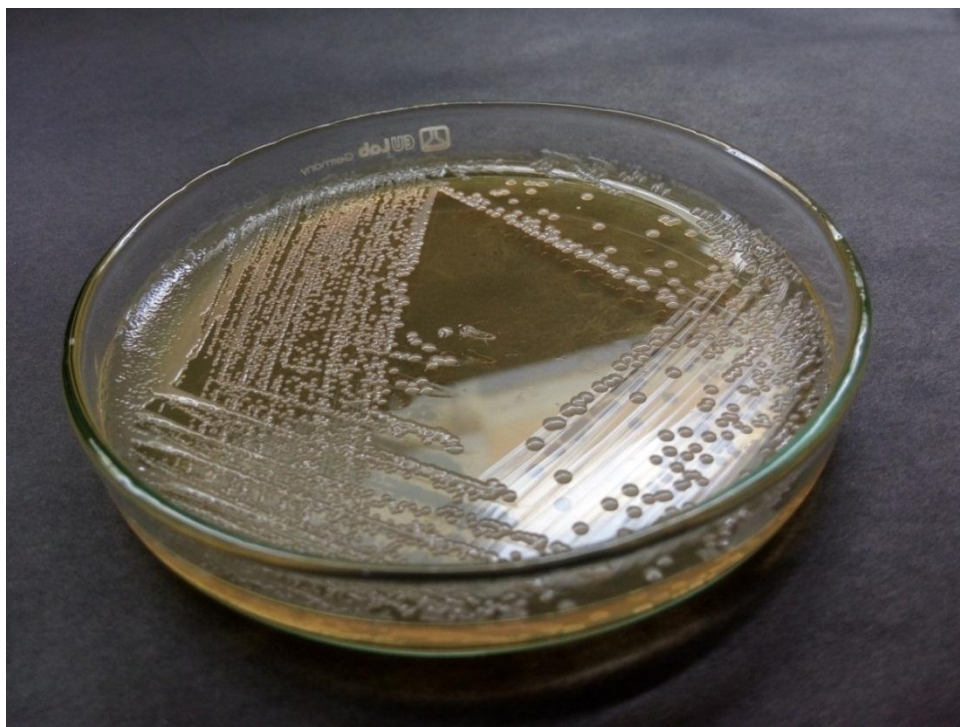
Figura 2

Tratamientos para determinar el efecto de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo de Zea mays L.

Variables independientes		<i>Pseudomonas</i> spp. (B)					
		Sin	1	2	3	4	5
Fertilizante químico (A)	0%	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁
		r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂
		r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃
	50%	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁
		r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂
		r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃
	100%	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁	r ₁
		r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂	r ₂
		r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃	r ₃

Figura 3

Colonias de Pseudomonas spp. desarrolladas en agar tripticasa soya, Lambayeque 2018.

**Figura 4**

Cultivos de Pseudomonas spp. en agar tripticasa soya, Lambayeque 2018.



3.2.5 Potencial de *Pseudomonas* spp. como promotoras de crecimiento en plantas

Con los 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. se cuantificó el ácido indol acético producido y el amonio producto de la fijación de nitrógeno. Asimismo, se determinaron los índices de solubilización de fosfato en medio sólido y la tolerancia de las bacterias a cuatro concentraciones de NaCl. Para la obtención del inóculo, cada bacteria se cultivó en 5mL de caldo nutritivo, a 30°C, durante 24 horas (Córdova, 2016). Posteriormente, el caldo se centrifugó (3500rpm) durante 5 minutos, el sobrenadante se eliminó, el sedimento se lavó con solución esterilizada (NaCl 0,85% p/v) y su concentración se estandarizó por turbidimetría con el tubo 3 del nefelómetro de Mc Farland: 9×10^8 cel mL⁻¹ (Rodríguez, 2013).

a. Cuantificación de ácido indol acético, AIA, producido *in vitro*

La cuantificación de AIA producido *in vitro* se realizó con la técnica de Salkowski (García et al., 2010). El inóculo (5%) de cada cultivo bacteriano fue sembrado por triplicado en 5mL de caldo tripticasa soya suplementado con triptófano y después de la incubación a 30°C, por 96 horas (Emami et al., 2019), en agitación constante (150rpm), los cultivos se centrifugaron a 3000rpm, durante 5 minutos. A continuación, 0,4mL de cada sobrenadante se depositaron en tubos, se agregaron 1,6mL de reactivo de Salkowski modificado, se mezclaron y se dejaron en reposo durante 30 minutos en oscuridad.

La reacción se consideró positiva a la producción de AIA por la aparición de una coloración grosella, se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro de luz visible (Model Tenso Med NV-203) a 530nm y las concentraciones de AIA se calcularon con la ecuación de la curva de calibración, obtenida previamente con diluciones sucesivas de una solución de 100ppm de ácido indol acético ($y = 0,0045x + 0,0089$).

b. Cuantificación de amonio producto de la fijación de nitrógeno *in vitro*

La cuantificación del nitrógeno fijado *in vitro* por las bacterias investigadas se realizó con la técnica de Berthelot o fenol hipoclorito (García et al., 2010). El inóculo (5%:0,15mL) de cada cultivo bacteriano fue sembrado por triplicado en tubos de 15x150mL conteniendo 3mL de caldo extracto de suelo 10% y se incubaron a 30°C, por 72 horas, con agitación constante (150rpm). A continuación, se agregaron 9mL de KCl 2M, se agitaron a 150rpm durante 1 hora y se dejaron en reposo 1 hora

adicional, para después tomar 10mL de sobrenadante y centrifugarlos (3000rpm) durante 5 minutos.

Los sobrenadantes se vertieron en tubos de dilución y se añadieron 0,4mL de solución alcohólica de fenol al 10%; 0,4mL de nitroprusiato de sodio al 0,5% y 1mL de solución oxidante. Los tubos se agitaron manualmente por 2 minutos y se dejaron en reposo durante 1 hora adicional. La reacción se consideró positiva a la fijación de nitrógeno por la aparición de una coloración azul, se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro de luz visible (Model Tenso Med NV-203) a 632,9nm y las concentraciones de amonio se calcularon con la ecuación de la curva de calibración, obtenida previamente con diluciones sucesivas de una solución de 100ppm de cloruro de amonio ($y = 0,0544x + 0,0387$).

c. Determinación del índice de solubilización de fosfato en medio sólido

En la determinación del índice de solubilización de fosfato en medio sólido, (García et al., 2015), las bacterias cultivadas en ATS, durante 24 horas, se sembraron por triplicado, mediante la técnica de puntura superficial en agar National Botanical Research Institute's phosphate (NBRIP) con 1gL^{-1} P, correspondiente a $5,0\text{gL}^{-1}$ de fosfato tricálcico. Las placas de Petri se incubaron a 30°C , durante 96 horas y cada 24 horas, se midió el diámetro de la colonia bacteriana y el diámetro de la colonia más el halo de solubilización. Con los valores obtenidos a las 96 horas, se calculó el índice de solubilización, IS:

$$\text{IS} = \frac{\text{Diámetro de colonia bacteriana} + \text{halo de solubilización}}{\text{Diámetro colonia bacteriana}}$$

3.2.6 Tolerancia de *Pseudomonas* spp. a cuatro concentraciones de NaCl

Las bacterias fueron cultivadas en caldo nutritivo con 3% NaCl (p/v), a 30°C , durante 24 horas. El crecimiento bacteriano fue denotado por turbidez o película superficial, procediéndose inmediatamente al cultivo en caldo nutritivo con 4, 5 y hasta 6% NaCl, p/v (Egamberdieva et al., 2015).

3.2.7 Efecto comparativo de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. en el desarrollo vegetativo de maíz

En el ensayo se comparó el efecto de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. en el desarrollo vegetativo de maíz, en condiciones de invernadero, durante 40 días, seleccionándose para el siguiente ensayo, los cinco cultivos bacterianos con los que se alcanzaron los mayores valores en los parámetros investigados.

El suelo experimental estuvo constituido por 255kg de una mezcla de suelo agrícola y compost en la proporción 4:1, que fue distribuida en 51 macetas de arcilla de 7kg, a razón de 5kg por maceta. El análisis físico-químico del suelo se realizó en el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agrícola, Estación Experimental Vista Florida de Chiclayo (Tabla 1), determinándose, una textura franco-arenosa, pH neutro (7,0), salino con potencial sódico ($8,23\text{dSm}^{-1}$), contenido bajo de materia orgánica (1,76%), nitrógeno (0,024%) y contenido alto de fósforo disponible (20,60 ppm) y potasio (317 ppm).

El cultivo de maíz y la inoculación de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. se realizó entre el 20 de enero al 8 de marzo de 2018, registrándose las temperaturas máximas (30°C), mínima (22°C) y media (25°C), valores obtenidos por la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, ubicado en el fundo “El Cienago” de Lambayeque. En el ensayo se sembraron semillas de maíz Marginal 28 T que se comercializan luego de ser tratadas con el fungicida Carboxim + Thiram (Vitavax) en la dosis de 3gkg^{-1} de semillas. La variedad precoz de maíz Marginal 28 T fue obtenida por la compañía Prosemillas S.A.C, el ámbito de desarrollo del cultivo es la selva alta y costa norte del Perú y su rango de adaptación hasta los 1800msnm, con excelente aptitud para chala en la costa central (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2008).

La variedad Marginal 28 T es resistente a los fitopatógenos *Puccinia graminis* y *Ustilago maydis* y es tolerante a la sequía. El cultivo de maíz requiere 58 - 60 días para el 50% de la madurez fisiológica y 110 - 120 días para el inicio de la cosecha, el tamaño de la semilla es de 11,8mm (11,5 - 12,0mm), de forma plana, mediana y alargada, el peso de 100 granos es de 36g, con un promedio de 30 - 42g y un rendimiento experimental de 8tha^{-1} (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2008).

Tabla 1*Análisis físico-químico de suelo agrícola experimental, 2018*

Clase		CE	MO	N	P	k
textural	pH	(dSm ⁻¹)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
Franco-arenosa	7,0	8,23	1,76	0,204	20,60	317

El porcentaje de germinación de las semillas de maíz se determinó en diez placas de Petri, en cuyo fondo se depositaron tres capas de papel filtro, humedecido con agua destilada esterilizada y con ayuda de pinzas esterilizadas se depositaron 10 semillas de maíz por placa. Las placas de Petri se taparon y se mantuvieron a una temperatura de 30°C, humedeciéndolas diariamente hasta obtener el máximo de germinación.

El inóculo fue obtenido con las bacterias cultivadas en caldo nutritivo, a 30°C durante 24 horas. Después de la centrifugación se obtuvieron 2mL de la biomasa bacteriana resuspendida en solución salina esterilizada, NaCl 0,85% p/v, cuya concentración se estandarizó por turbidimetría (tubo 3 del nefelómetro de Mc Farland) a $9 \times 10^8 \text{ cel mL}^{-1}$ y se aplicaron mediante la técnica de “slurry” a las semillas (Kumar et al., 2007)

Las semillas de maíz (15) se depositaron en 48 bolsas de polietileno transparentes de 2,5 x 8,0cm y sobre ellas se depositaron 0,5mL del inóculo bacteriano correspondiente por bolsa, equivalente a 35 mL kg^{-1} de semilla. Se incluyó un testigo al que se le aplicó agua destilada. Después de 30 minutos a temperatura ambiente (Viruel et al., 2014), las semillas se sembraron en el suelo experimental, a razón de cuatro semillas por maceta, a una profundidad de 2cm. Transcurridos 7 días de la siembra se eliminaron las dos plántulas menos vigorosas y se realizaron los riegos correspondientes, con agua decolorada (24 horas), según los requerimientos de las plantas.

A los 10, 20, 30 y 40 días después de la siembra se midió la altura de las plantas (Figura 5), considerando desde la base del tallo hasta el extremo final de la hoja bandera (García et al., 2021). A los 40 días se extrajeron las plantas y se determinó la longitud de las raíces (Figura 6).

Con los valores de la altura y longitud de raíces, se calcularon los índices de efectividad de la inoculación (IEI) en porcentaje (Escobar et al., 2011):

$$\text{IEI (\%)} = \frac{\text{Tratamiento con inoculación} - \text{Control sin inoculación}}{\text{Control sin inoculación}} \times 100$$

3.2.8 Selección de cinco cultivos de *Pseudomonas* spp.

Cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. fueron seleccionados por los mayores valores obtenidos en los parámetros investigados: emergencia y longitud radicular del maíz.

3.2.9 Efecto de cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. a diferentes concentraciones de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz

Los cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. seleccionados se inocularon en semillas de la variedad Marginal 28 T y en las plantas desarrolladas en condiciones de invernadero se determinó la altura, biomasa aérea, longitud y volumen radicular. El suelo experimental estuvo constituido por 270kg de una mezcla de suelo agrícola y compost en la proporción 4:1, que fue distribuido en 54 macetas de arcilla de 7kg de capacidad, a razón de 5kg por maceta.

La obtención del inóculo bacteriano, la inoculación y la siembra de las semillas se realizó de manera similar a lo explicado en el ítem 3.2.7. El cultivo de maíz y la inoculación de los cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. se realizó entre el 13 de mayo al 31 de julio de 2018, registrándose la temperatura máxima (25°C), mínima (18°C) y media (22°C), valores obtenidos por la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, ubicado en el fundo “El Cienago” de Lambayeque.

La fertilización química se realizó con nitrógeno, fósforo y potasio 200:100:100 (Anexo A). La aplicación de nitrógeno en forma de urea (46% N), en la cantidad de 349,79kg ha⁻¹, se realizó fraccionada, 50% a los 11 días después de la siembra y 50% a los 25 días. La aplicación de fósforo en forma de fosfato diamónico (18% N - 46%P) y de potasio en forma de sulfato de potasio (50% K) se realizó en las cantidades de 217,3kg ha⁻¹ y 200kg ha⁻¹ respectivamente, junto con la primera dosis de nitrógeno.

Figura 5

Medición de altura de planta de Zea mays L., Lambayeque 2018.

**Figura 6**

Medición de longitud radicular de Zea mays L., Lambayeque 2018



Durante 80 días, con intervalos de 10 días, se midió la altura de las plantas, considerando desde la base del tallo hasta el extremo final de la hoja bandera. A los 80 días (10% de la floración) se extrajeron las plantas y se determinó el volumen de las raíces, para lo cual éstas previamente secadas se depositaron en una probeta con 200 cm³ de agua (Becerra y Gil, 2009) y el volumen desplazado constituyó el volumen de la raíz expresado en cm³ (Figura 7). Asimismo se determinó la longitud radicular y el peso de la biomasa aérea. El peso de la biomasa se determinó en la raíz, tallo y hojas previamente deshidratadas en el horno a 65°C, hasta alcanzar peso constante (Kumar et al., 2007). Con los valores obtenidos se calcularon los índices de efectividad de la inoculación correspondientes (García et al., 2021).

3.2.10 Análisis estadístico de los datos

Los valores de altura, biomasa aérea, longitud y volumen radicular de las plantas de maíz fueron ordenados en tablas y se les realizó las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas (Hernández et al., 2014). El análisis de varianza determinó las diferencias entre tratamientos y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la superioridad entre ellos, utilizándose el software SPSS versión 15.0, así como los programas Microsoft Office Word, Excel versión 2013 y Minitab 15.

Figura 7

Determinación del volumen radicular de Zea mays L., Lambayeque 2018.



IV. RESULTADOS

4.1 Ácido indo acético producido, nitrógeno fijado y fosfato solubilizado

Las bacterias investigadas produjeron AIA, fijaron nitrógeno y solubilizaron fosfato tricálcico *in vitro*, cuantificándose 0,24 a 20,69ppm de AIA; 14,64 a 36,63ppm de amonio y determinándose 0,10 a 0,55 de índice de solubilización de fosfato (Tabla 2).

4.2 Tolerancia a cuatro concentraciones de NaCl

El 100% (15) de cultivos de *Pseudomonas* spp. toleraron concentraciones de 3, 4, 5 y 6% NaCl (p/v), evidenciándose el crecimiento bacteriano por turbidez en el medio de cultivo a las 24 horas (Figura 8).

4.3 Efecto comparativo de 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. en el desarrollo vegetativo de maíz

El 93,3% (14) de cultivos de *Pseudomonas* spp. incrementaron la altura de las plantas de maíz, a los 10 días después de la inoculación y siembra (Figuras 9 y 10), alcanzándose índices de efectividad (Tabla 3) de 7,76% (*Pseudomonas* sp. 2) a 62,86% (*Pseudomonas putida* 8). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia (Anexo B) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey el mayor valor se alcanzó con *P. putida* 8, no diferenciándose significativamente de *P. fluorescens* 9 y *Pseudomonas* sp. 11, pero sí de los demás tratamientos (Tabla 4).

El 100% (15) de cultivos de *Pseudomonas* spp. incrementaron la altura de las plantas de maíz, a los 20 días después de la siembra (Figuras 11 a 13), alcanzándose índices de efectividad (Tabla 3) de 5,70% (*P. putida* 7) a 75,78% (*P. fluorescens* 9). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia (Anexo C) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey el mayor valor se alcanzó con *P. fluorescens* 9, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos (Tabla 4).

Tabla 2

Ácido indol acético producido, nitrógeno fijado como amonio e índice de solubilización de fosfato por Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp. código UNPRG	AIA* (ppm)	Amonio (ppm)	Índice de solubilización de fosfato / horas			
			24	48	72	96
<i>Pseudomonas</i> sp. 2	0,24	20,78	0,11	0,12	0,13	0,14
<i>Pseudomonas</i> sp. 3	0,00	23,42	0,20	0,32	0,45	0,55
<i>Pseudomonas</i> sp. 4	2,24	29,78	0,20	0,27	0,35	0,45
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	4,47	25,92	0,10	0,10	0,11	0,11
<i>Pseudomonas stutzeri</i> 6	0,00	14,64	0,15	0,16	0,17	0,20
<i>Pseudomonas putida</i> 7	13,36	33,30	0,10	0,10	0,10	0,10
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0,00	32,56	0,18	0,16	0,20	0,27
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	20,69	32,03	0,20	0,25	0,30	0,40
<i>Pseudomonas putida</i> 10	0,00	27,80	0,12	0,12	0,12	0,17
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0,00	25,08	0,16	0,17	0,18	0,22
<i>Pseudomonas</i> sp. 12	0,00	24,42	0,15	0,12	0,12	0,12
<i>Pseudomonas</i> sp. 15	0,00	27,91	0,13	0,13	0,13	0,14
<i>Pseudomonas</i> sp. 16	0,00	23,68	0,13	0,12	0,13	0,12
<i>Pseudomonas</i> sp. 17	0,00	33,63	0,17	0,12	0,13	0,12
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0,00	30,23	0,14	0,15	0,16	0,20

*Ácido indol acético

Figura 8

Turbidez desarrollada por Pseudomonas spp. en caldo nutritivo con cloruro de sodio.

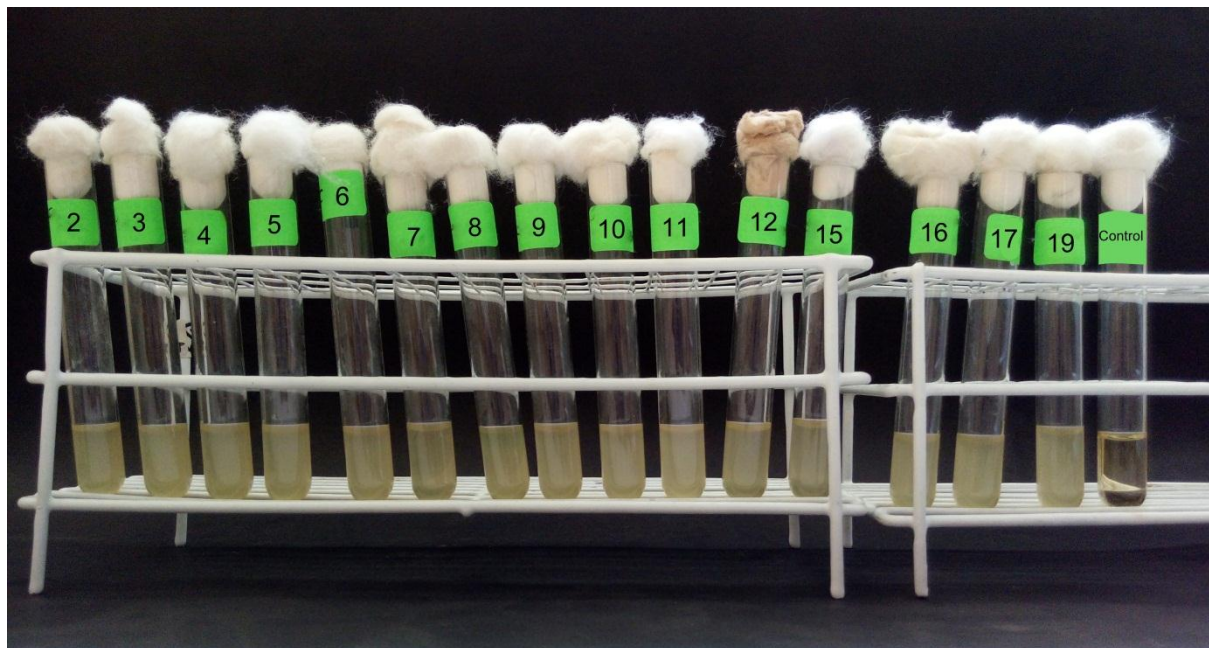


Figura 9

Zea mays L. 10 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.



Figura 10

Altura de Zea mays L., 10 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.



Figura 11

Altura de Zea mays L., 20 días después de la inoculación de Pseudomonas putida 7.

**Figura 12**

Altura de Zea mays L., 20 días después de la inoculación de Pseudomonas fluorescens 9.



Figura 13

Altura de Zea mays L., 20 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

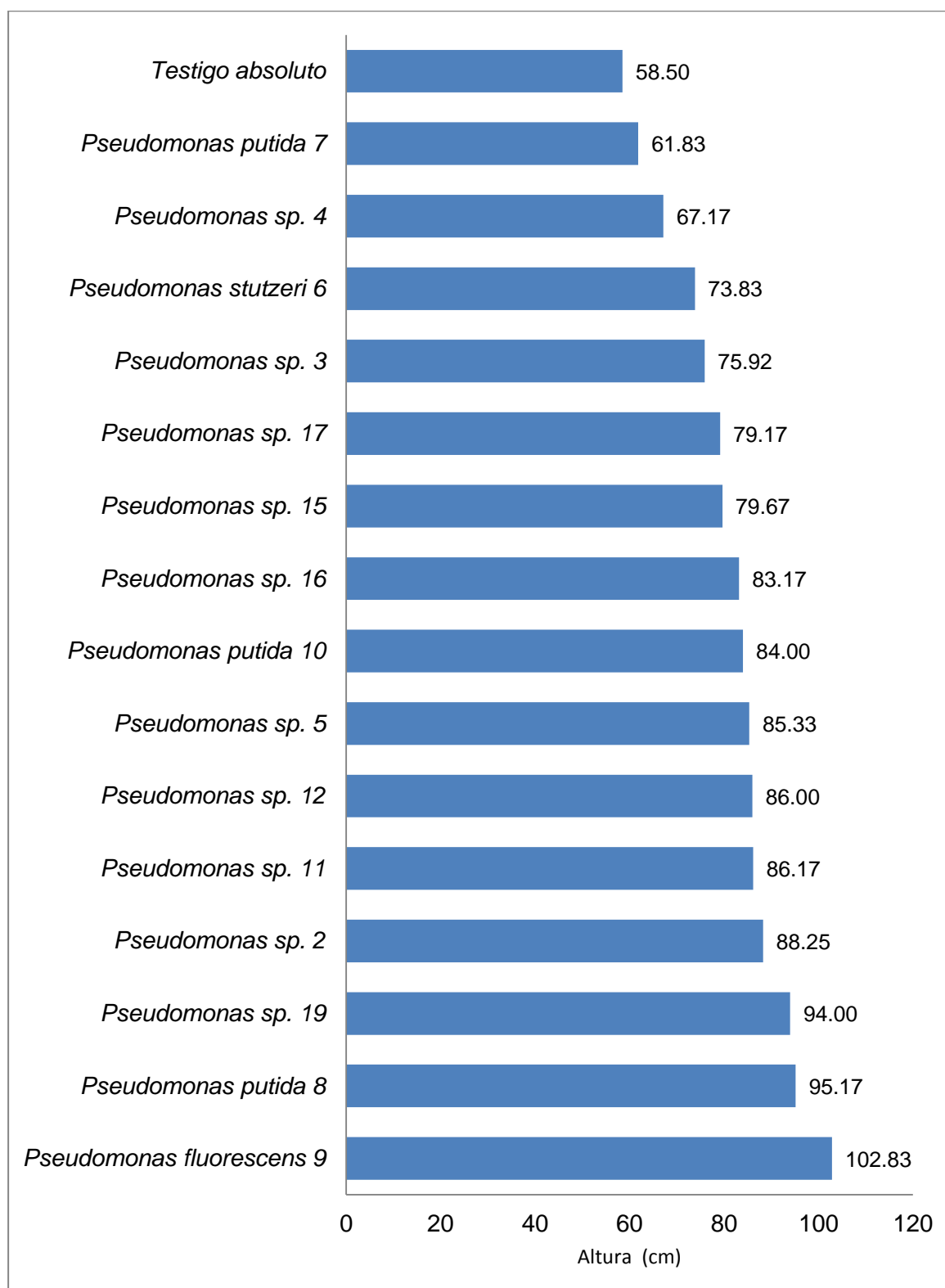


Tabla 3

Índices de efectividad en la altura de plantas de Zea mays L., 10, 20, 30 y 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

Tratamientos	IE (%)*			
	10 días	20 días	30 días	40 días
<i>Pseudomonas</i> sp. 2	7,76	50,85	22,16	15,74
<i>Pseudomonas</i> sp. 3	25,47	29,77	15,59	16,75
<i>Pseudomonas</i> sp. 4	19,18	14,81	3,53	8,12
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	42,69	45,87	21,18	38,41
<i>Pseudomonas stutzeri</i> 6	22,98	26,21	11,57	11,34
<i>Pseudomonas putida</i> 7	0,00	5,70	11,76	18,10
<i>Pseudomonas putida</i> 8	62,86	62,68	35,49	26,57
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	53,88	75,78	37,06	46,87
<i>Pseudomonas putida</i> 10	10,04	43,59	20,20	26,06
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	51,43	47,29	45,20	59,73
<i>Pseudomonas</i> sp. 12	30,61	47,01	23,92	15,91
<i>Pseudomonas</i> sp. 15	27,76	36,18	15,10	16,07
<i>Pseudomonas</i> sp. 16	35,51	42,17	10,39	6,09
<i>Pseudomonas</i> sp. 17	39,39	35,33	9,61	11,17
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	25,10	60,68	35,88	30,46

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 4

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la altura de Zea mays L., 10, 20, 30 y 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

Tratamientos	Altura (cm)*							
	10 días	Sign.	20 días	Sign.	30 días	Sign.	40 días	Sign.
Testigo absoluto	40,83	i	58,50	i	85,00	f	98,50	g
<i>Pseudomonas</i> sp. 2	44,00	h i	88,25	b c	103,83	b	114,00	e
<i>Pseudomonas</i> sp. 3	51,23	e f g	75,92	e f	98,25	b c d	115,00	e
<i>Pseudomonas</i> sp. 4	48,67	f g h	67,17	g h	88,00	e f	106,50	f
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	58,27	b c d	85,33	c d	103,00	b c	136,33	c
<i>Pseudomonas stutzeri</i> 6	50,22	e f g h	73,83	f g	94,83	c d e	109,67	e f
<i>Pseudomonas putida</i> 7	38,35	i	61,83	h i	95,00	c d e	116,33	e
<i>Pseudomonas putida</i> 8	66,50	a	95,17	b	115,17	a	124,67	d
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	62,83	a b	102,83	a	116,50	a	144,67	b
<i>Pseudomonas putida</i> 10	44,93	g h i	84,00	c d	102,17	b c	124,17	d
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	61,83	a b c	86,17	c d	123,42	a	157,33	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 12	53,33	d e f	86,00	c d	105,33	b	114,17	e
<i>Pseudomonas</i> sp. 15	52,17	d e f	79,67	d e f	97,83	b c d	114,33	e
<i>Pseudomonas</i> sp. 16	55,33	c d e f	83,17	c d e	93,83	d e	104,50	f g
<i>Pseudomonas</i> sp. 17	56,92	b c d e	79,17	d e f	93,17	d e f	109,50	e f
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	51,08	e f g	94,00	b	115,50	a	128,50	d

*Promedio de tres repeticiones.

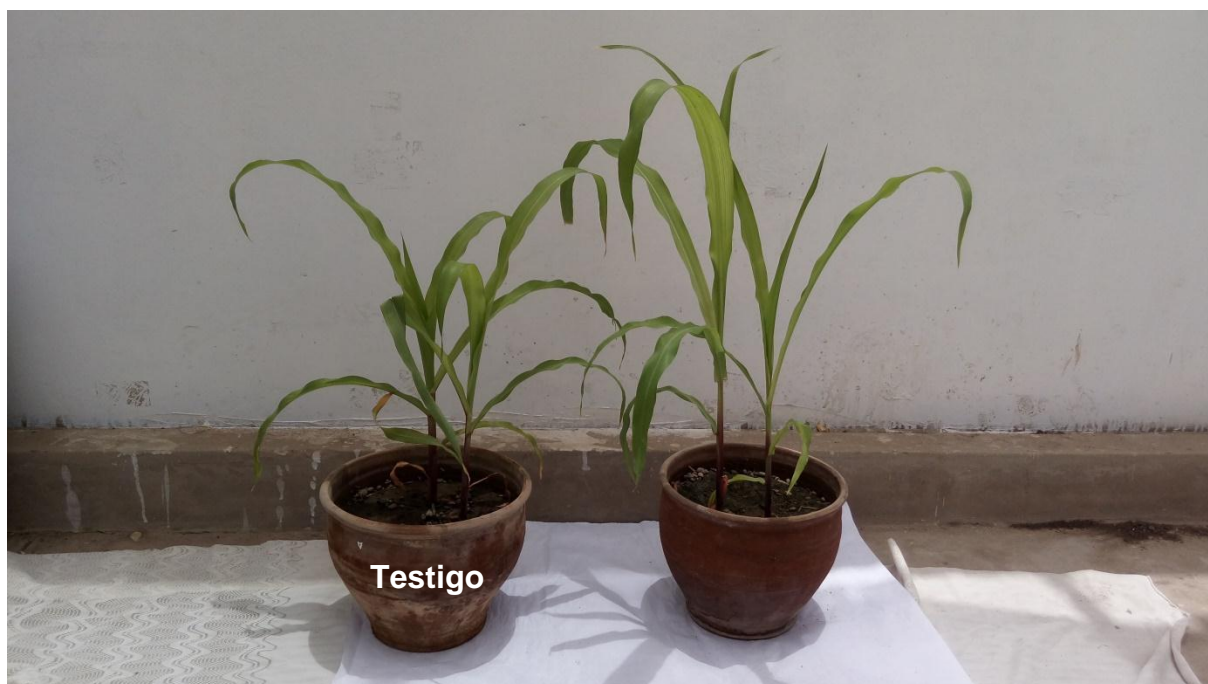
El 100% (15) de cultivos de *Pseudomonas* spp. incrementaron la altura de las plantas de maíz, a los 30 días después de la siembra (Figuras 14 a 16), alcanzándose índices de efectividad (Tabla 3) de 3,53% (*Pseudomonas* sp, 4) a 45,20% (*Pseudomonas* sp, 11). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia (Anexo D) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey los mayores valores se alcanzaron con *P. putida* 8, *P. fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11 y *Pseudomonas* sp. 19, no diferenciándose significativamente entre ellas, pero sí de los demás tratamientos (Tabla 4).

El 100% (15) de cultivos de *Pseudomonas* spp. incrementaron la altura de las plantas de maíz, a los 40 días después de la siembra (Figuras 17 a 19), alcanzándose índices de efectividad (Tabla 3) de 6,09% (*Pseudomonas* sp. 16) a 59,73% (*Pseudomonas* sp. 11). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia (Anexo E) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey el mayor valor se alcanzó con *Pseudomonas* sp. 11, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos (Tabla 4).

El 100% (15) de cultivos de *Pseudomonas* spp. incrementaron la longitud de la raíz de las plantas de maíz, a los 40 días después de la siembra (Figuras 20 y 21), alcanzándose índices de efectividad (Tabla 5) de 26,56% (*Pseudomonas* sp. 15) a 97,70% (*P. putida* 8). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia (Anexo F) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey el mayor valor se alcanzó con *P. putida* 8, no diferenciándose significativamente de *Pseudomonas* sp. 19, pero sí de los demás tratamientos (Tabla 5).

Figura 14

Altura de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 4.

**Figura 15**

Altura de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 11.



Figura 16

Altura de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

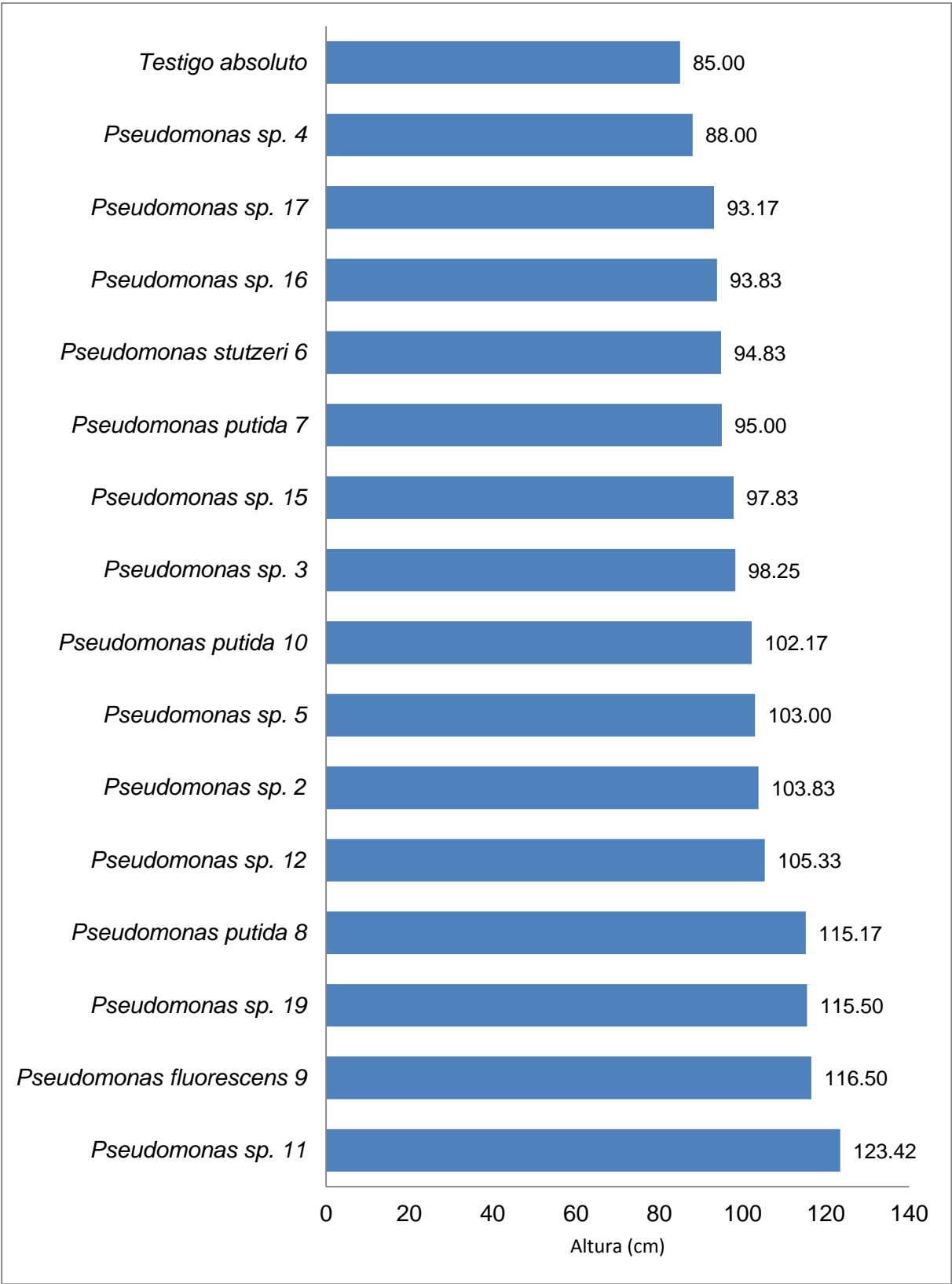


Figura 17

Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 16.



Figura 18

Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 11.



Figura 19

Altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

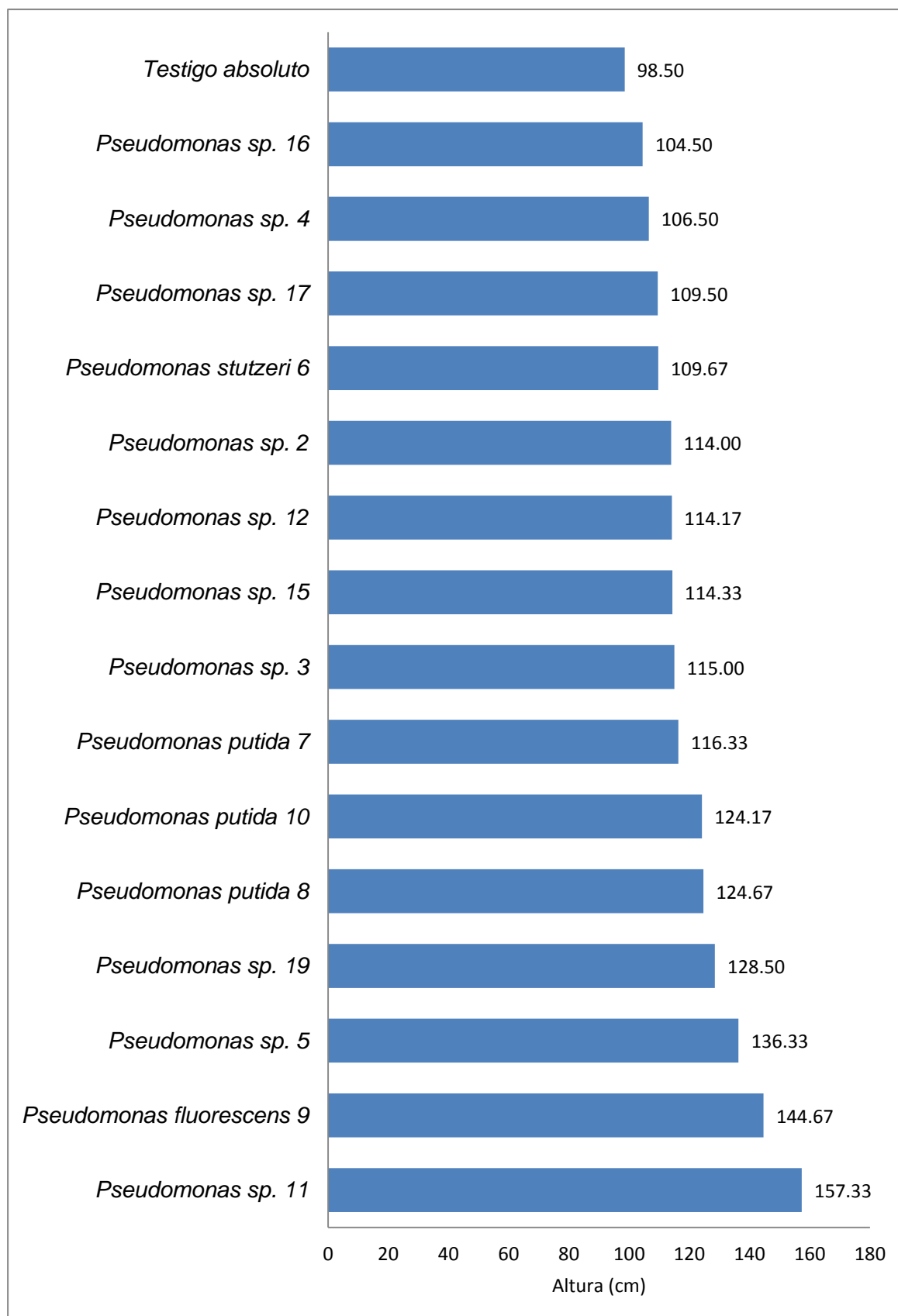


Figura 20

Longitud radicular de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas sp. 19 (a) y Pseudomonas putida 8 (b).



Figura 21

Longitud radicular de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

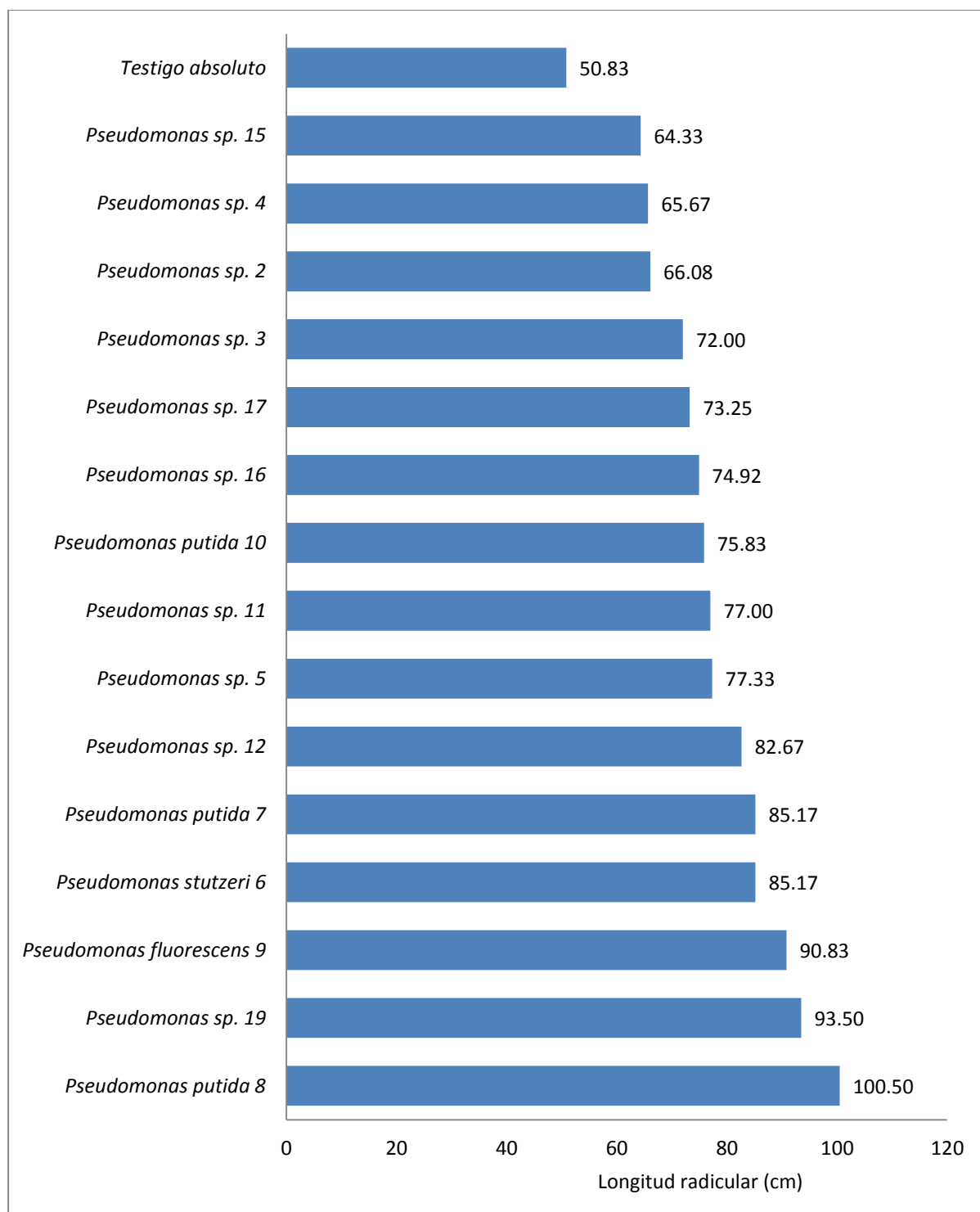


Tabla 5

Índices de efectividad (%) y prueba de comparaciones múltiples de Tukey de la longitud de raíces de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

Tratamientos	Longitud de raíces* (cm)	IE* (%)	Sign. ($\alpha=0,05$)
Testigo absoluto	50,83	-	j
<i>Pseudomonas</i> sp. 2	66,08	30,00	g h i
<i>Pseudomonas</i> sp. 3	72,00	41,64	f g h
<i>Pseudomonas</i> sp. 4	65,67	29,18	h i
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	77,33	52,13	e f
<i>Pseudomonas stutzeri</i> 6	85,17	67,54	c d
<i>Pseudomonas putida</i> 7	85,17	67,54	c d
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100,50	97,70	a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	90,83	78,69	b c
<i>Pseudomonas putida</i> 10	75,83	49,18	e f
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	77,00	51,48	e f
<i>Pseudomonas</i> sp. 12	82,67	62,62	d e
<i>Pseudomonas</i> sp. 15	64,33	26,56	i
<i>Pseudomonas</i> sp. 16	74,92	47,38	f
<i>Pseudomonas</i> sp. 17	73,25	44,10	f g
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	93,50	83,93	a b

*Promedio de tres repeticiones.

Los cultivos de *Pseudomonas* spp. seleccionados (Tabla 6), fueron los que alcanzaron los mayores índices de efectividad en la altura (*Pseudomonas* sp. 5, *P. fluorescens* 9 y *Pseudomonas* sp. 11) y en la longitud de las raíces de maíz (*P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19).

4.4 Efecto de cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz

La aplicación de *Pseudomonas* spp. y diferentes dosis de fertilizante químico, incrementó la altura de las plantas de maíz (Figuras 22 a 35), obteniéndose índices de efectividad (IE) de 15,00 a 52,63% a los 10 días; 1,55 a 28,91% a los 20 días; 2,60 a 28,14% a los 30 días; 4,26 a 26,04% a los 40 días; 4,26 a 17,89% a los 50 días; 2,48 a 25,48% a los 60 días; 0,56 a 27,03% a los 70 días y 4,18 a 30,08% a los 80 días (Tabla 7).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 10 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para el factor *Pseudomonas* spp. (B), pero no para el factor fertilizante químico (A) ni para la interacción AxB (Tabla 8, anexo G). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) demostró que los mayores valores en la altura se alcanzaron con *Pseudomonas* spp., diferenciándose significativamente del testigo (Tabla 9).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 20 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para el factor *Pseudomonas* spp. (B), pero no para el factor fertilizante químico (A) ni para la interacción AxB (Tabla 10, anexo H). La prueba de comparaciones de Tukey ($\alpha=0,05$) demostró que los mayores valores en la altura se alcanzaron con *Pseudomonas* spp., diferenciándose significativamente del testigo (Tabla 11).

Tabla 6

Índices de efectividad (%) en la altura de planta y longitud de raíces de Zea mays L., por Pseudomonas spp. seleccionadas

Tratamientos	IE* (%)				
	Altura de plantas / días				Longitud de raíces / días
	10	20	30	40	40
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	42,69	45,87	21,18	38,41	52,13
<i>Pseudomonas putida</i> 8	62,86	62,68	35,49	26,57	97,70
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	53,88	75,78	37,06	46,87	78,69
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	51,43	47,29	45,20	59,73	51,48
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	25,10	60,68	35,88	30,46	83,93

* Promedio de tres repeticiones

Figura 22

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 10 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

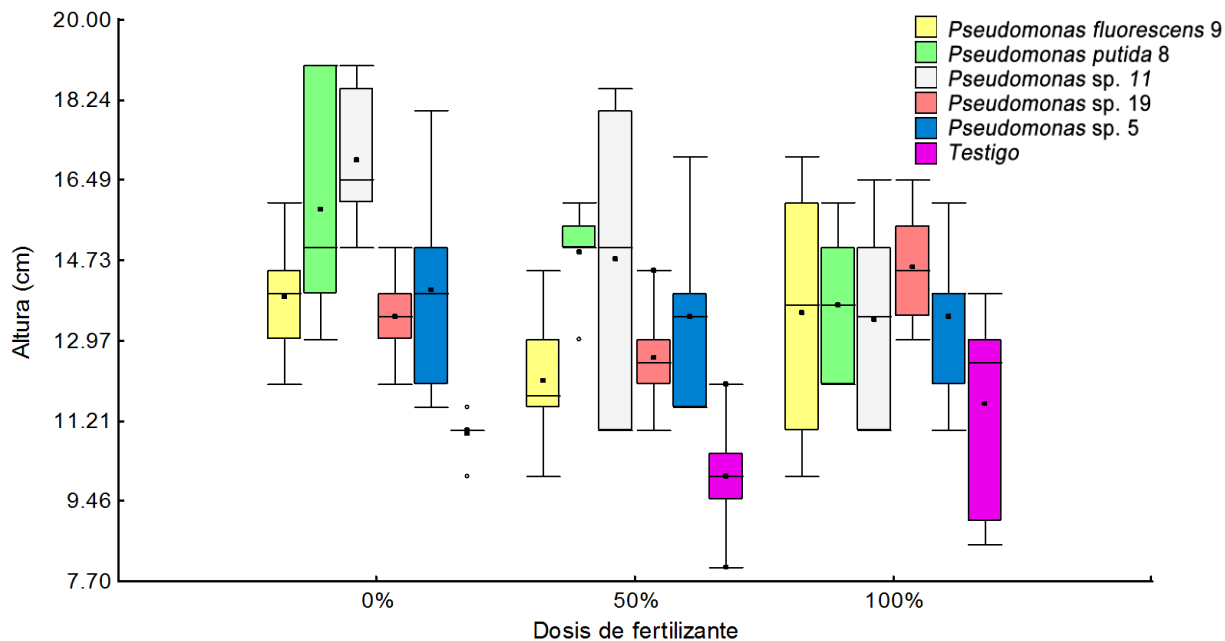
**Figura 23**

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 20 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

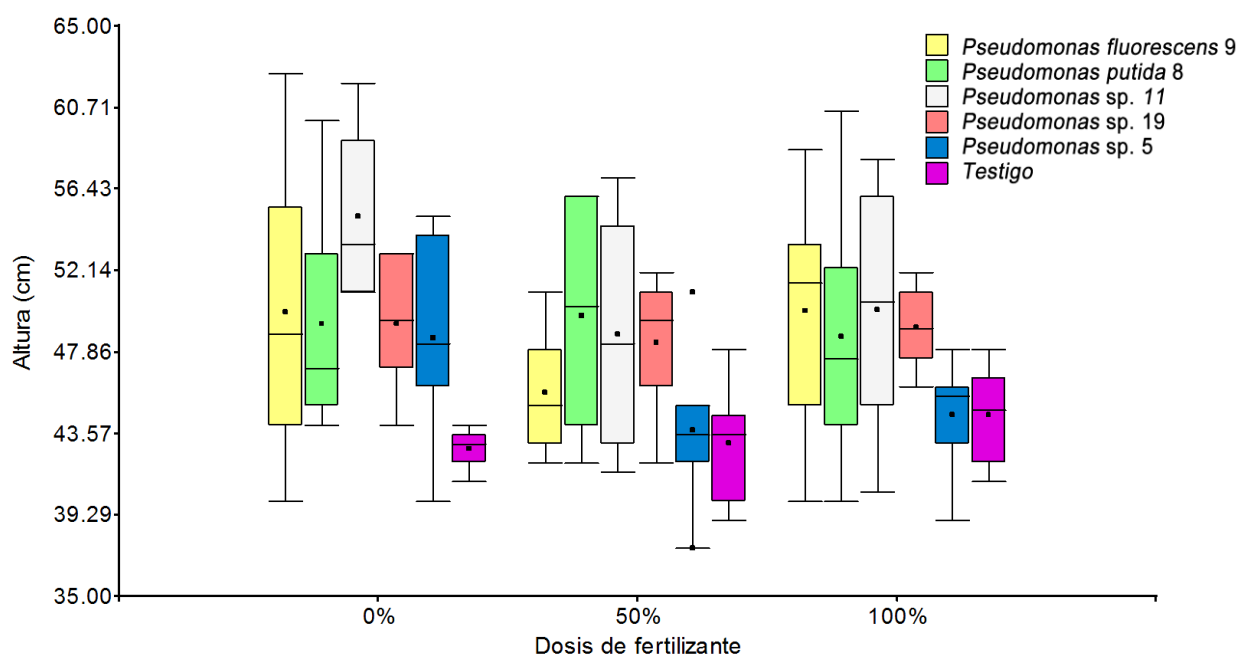
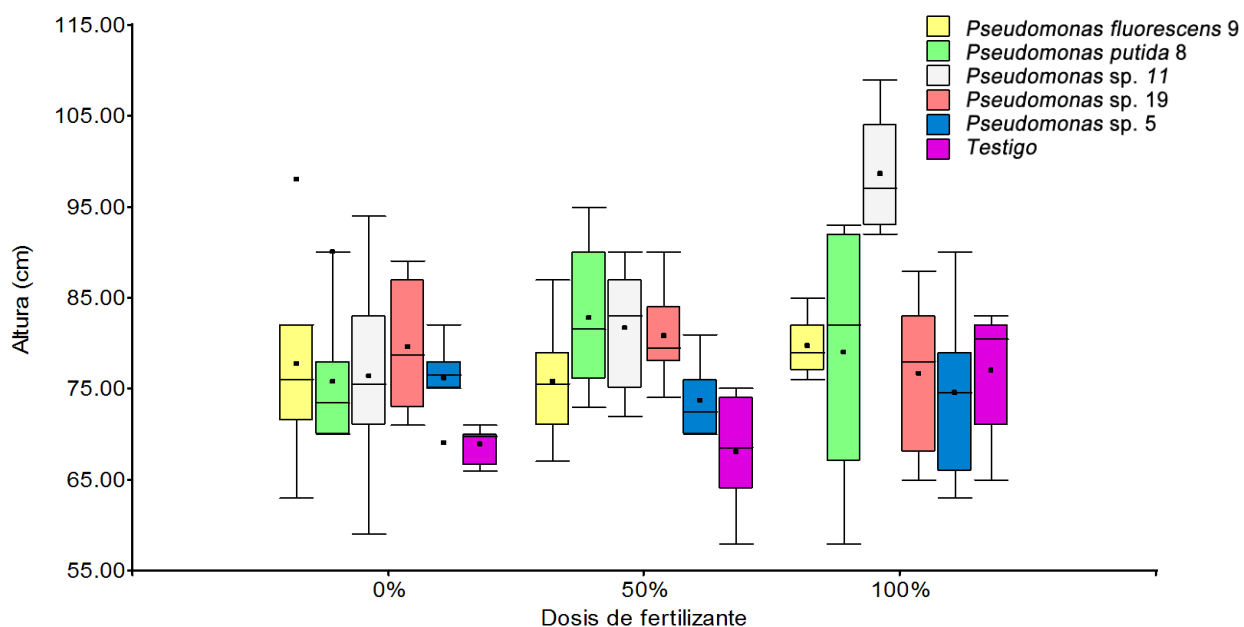


Figura 24

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 30 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

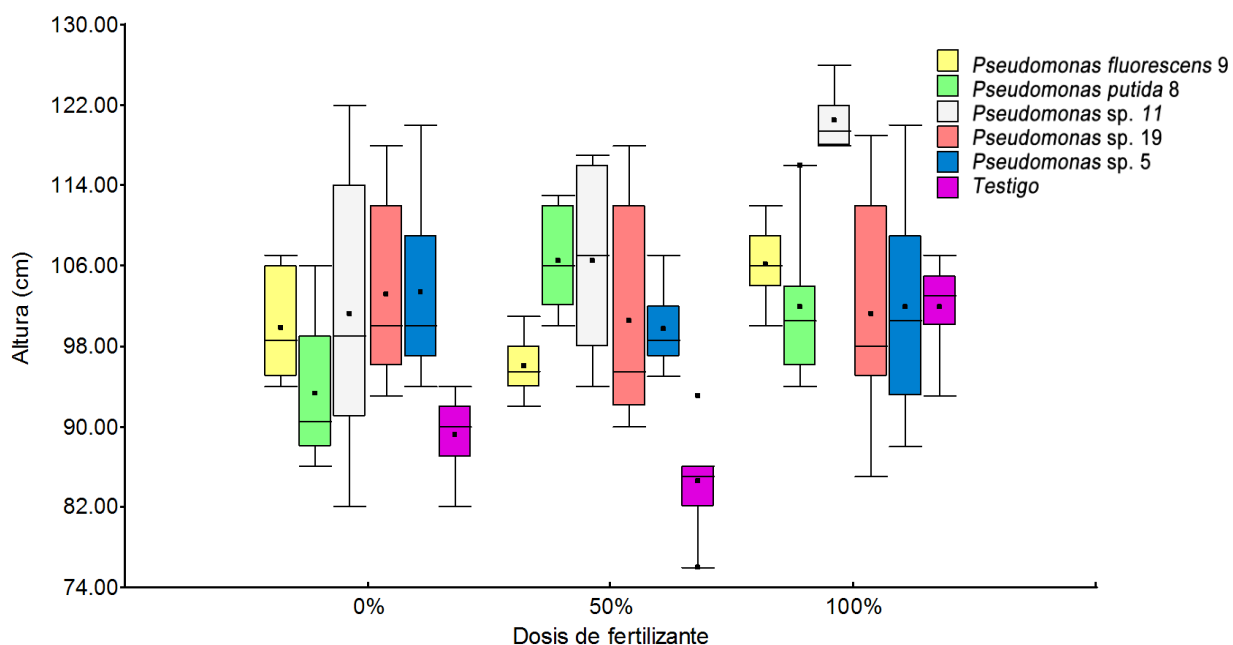
**Figura 25**

Altura de *Zea mays* L. 30 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.



Figura 26

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 40 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

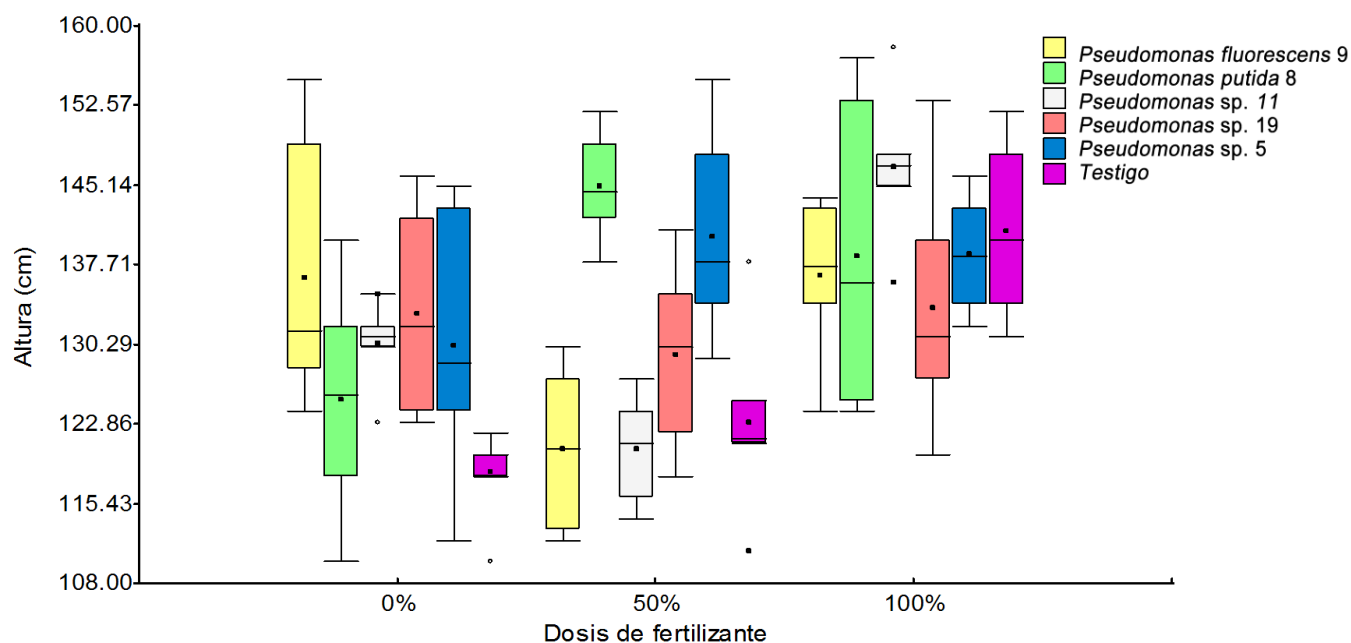
**Figura 27**

Altura de *Zea mays* L. 40 días después de la aplicación de *Pseudomonas fluorescens* 9 con diferentes dosis de fertilizante químico.



Figura 28

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 50 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

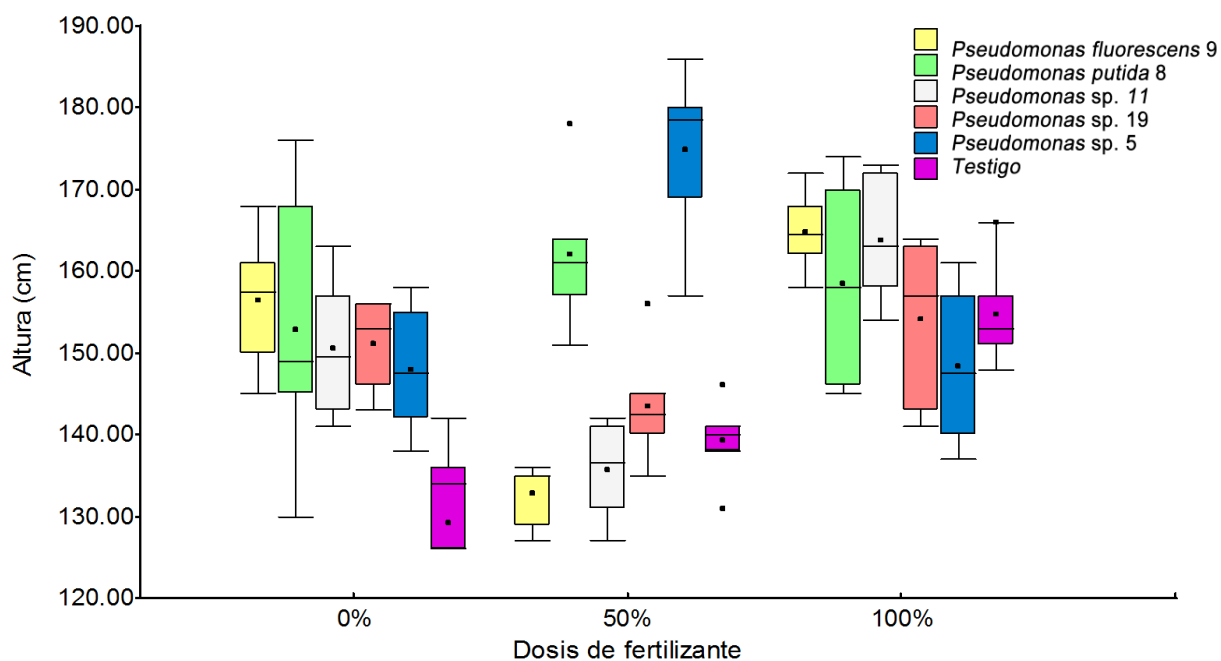
**Figura 29**

Altura de *Zea mays* L. 50 días después de la aplicación de *Pseudomonas* sp. 5 con diferentes dosis de fertilizante químico.



Figura 30

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 60 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

**Figura 31**

Altura de *Zea mays* L. 60 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.



Figura 32

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 70 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

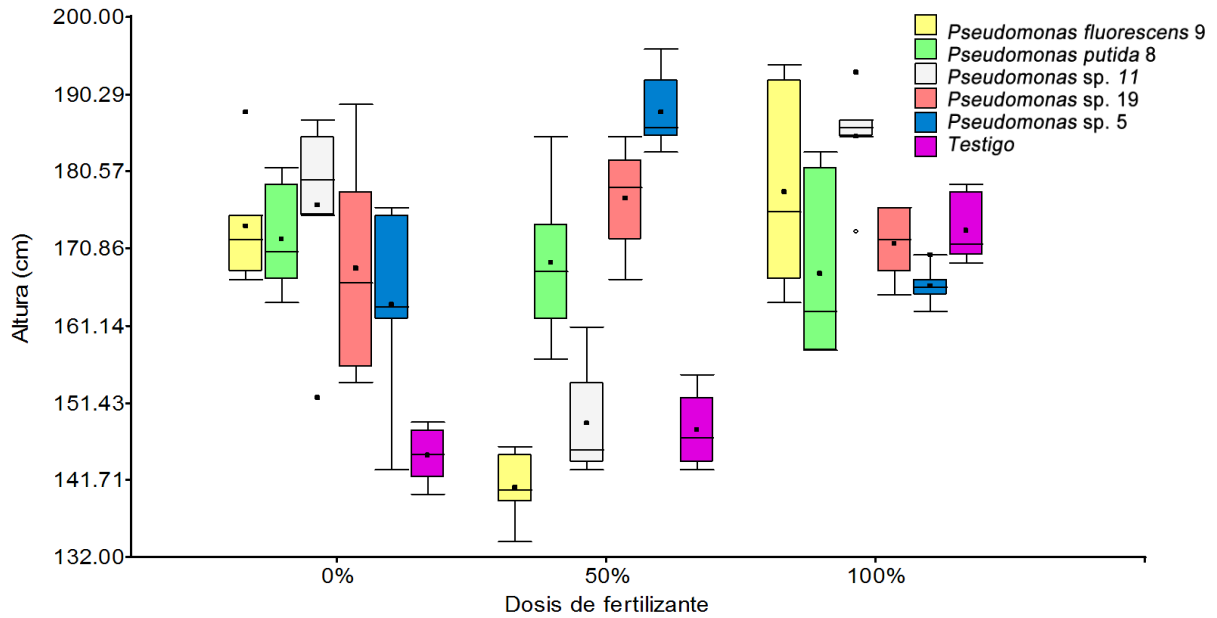


Figura 33

Diagrama de caja y bigotes de la altura de *Zea mays* L. 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

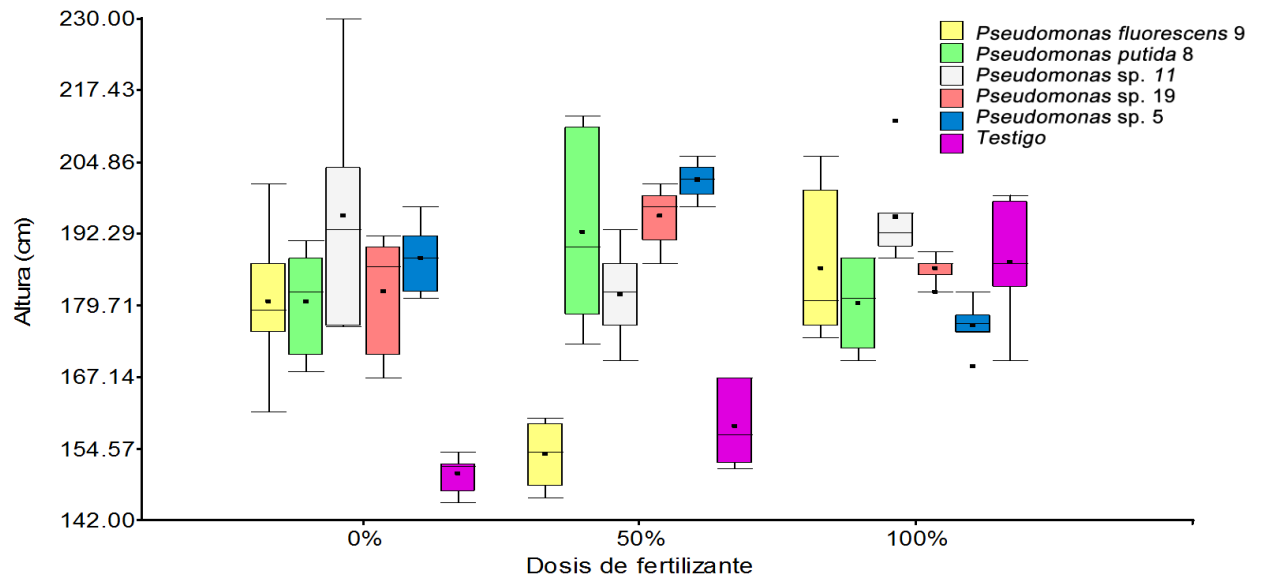


Figura 34

Altura de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico.

**Figura 35**

Altura de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas sp. 11 con diferentes dosis de fertilizante químico.



Tabla 7

Índices de efectividad (%) en la altura de Zea mays L. aplicado con Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

<i>Pseudomonas</i> spp.	Dosis Fertilizante (%)	IE* (%) / días							
		10	20	30	40	50	60	70	80
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	0	27,07	13,87	10,65	15,89	10,00	14,58	13,12	25,19
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0	42,86	15,63	10,17	4,67	5,77	18,32	18,76	20,09
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	0	26,32	16,99	12,95	11,96	15,35	21,16	19,91	20,09
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0	52,63	28,91	10,90	13,46	10,14	16,52	21,75	30,08
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0	21,80	15,63	15,62	15,70	12,54	17,03	16,23	21,31
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	50	35,00	1,55	8,33	17,95	14,09	25,48	27,03	27,23
<i>Pseudomonas putida</i> 8	50	49,17	15,47	21,81	26,04	17,89	16,27	14,19	21,45
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	50	20,83	6,00	11,52	13,61	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	50	47,50	13,15	20,10	26,04	0,00	0,00	0,56	14,62
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	50	25,83	12,19	18,87	18,93	5,15	2,99	19,71	23,24
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	100	15,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100	17,86	9,29	2,60	0,00	0,00	2,48	0,00	0,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100	16,43	12,36	3,46	4,26	0,00	8,73	2,79	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	100	15,00	12,55	28,14	18,33	4,26	5,93	6,83	4,18
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100	25,00	10,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 8

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 10 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = uA_1 = uA_2 = uA_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = uB_1 = uB_2 = uB_3 = uB_4 = uB_5 = uB_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	14,8	7,399	2,3	0,1148	NS	Acepta H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	98,04	19,608	6,09	<0,0001	**	Rechaza H_0
AxB	10	27,55	2,755	0,86	0,5803	NS	Acepta H_0
Error	36	115,83	3,218				
Total	53	256,22					

CV: 13,25

Tabla 9

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 10 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	15,03	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	14,83	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	13,69	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	13,56	a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	13,22	ab
Testigo	10,92	b

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

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 10

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 20 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = uA_1 = uA_2 = uA_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = uB_1 = uB_2 = uB_3 = uB_4 = uB_5 = uB_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	60,08	30,042	2,06	0,1427	NS	Acepta H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	359,69	71,937	4,92	0,0016	*	Rechaza H_0
AxB	10	91,49	9,149	0,63	0,7815	NS	Acepta H_0
Error	36	526,01	14,611				
Total	53	1037,27					

CV: 7,99

Tabla 11

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 20 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	51,28	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	49,24	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	48,93	a b
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	48,53	a b c
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	45,61	b c
Testigo	43,42	c

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

* Promedio de tres repeticiones

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 30 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 12, anexo I). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) el mayor valor correspondió a 100% de fertilizante químico, no diferenciándose de 50% pero si de 0% (Tabla 13). En cuanto a *Pseudomonas* spp. los mayores valores en la altura se alcanzaron con *Pseudomonas* sp. 11, no diferenciándose de *P. putida* 8, *Pseudomonas* sp. 19 y *P. fluorescens* 9 pero si de *Pseudomonas* sp. 5 y el testigo (Tabla 14). En la interacción A x B, el mayor valor en la altura correspondió a *Pseudomonas* sp. 11 con 100% de fertilizante químico, no diferenciándose significativamente de *Pseudomonas* spp. 8, 11 y 19 con 50% de fertilizante químico (Tabla 15).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 40 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 16, anexo J). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores en la altura correspondieron a 100% de fertilizante químico (Tabla 17), *Pseudomonas* spp. (Tabla 18) y *Pseudomonas* sp. 11 con 100% de fertilizante químico (Tabla 19).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 50 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 20, anexo K). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores en la altura se alcanzaron con 100% de fertilizante químico (Tabla 21), *Pseudomonas* spp. (Tabla 22) y *Pseudomonas* sp. 11 con 100% de fertilizante químico (Tabla 23).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 60 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 24, anexo L). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores en la altura se alcanzaron con 100% de fertilizante químico (Tabla 25), *Pseudomonas* spp. (Tabla 26) y *Pseudomonas* sp. 5 con 50% de fertilizante químico (Tabla 27).

Tabla 12

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 30 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

H_0 = No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	257,4	128,69	3,47	0,0418	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	1037,2	207,44	5,6	0,0006	**	Rechaza H_0
AxB	10	840,2	84,02	2,27	0,0353	**	Rechaza H_0
Error	36	1333,9	37,05				
Total	53	3468,6					

CV: 7,81

Tabla 13

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 30 después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Altura* (cm)	Sign.
100	80,92	a
50	77,14	a b
0	75,75	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 14

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 30 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	85,56	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	79,22	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	79,03	a b
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	77,75	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	74,78	b
Testigo	71,28	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 15

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 30 después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	98,67	a
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	82,83	a b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	81,67	a b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	80,83	a b
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	79,67	b
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	79,58	b
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	79,00	b
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	77,75	b
100	Testigo	77,00	b
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	76,67	b
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	76,33	b
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	76,17	b
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	75,83	b
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	75,83	b
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	74,50	b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	73,67	b
0	Testigo	68,83	b
50	Testigo	68,00	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 16

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 40 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	577,4	288,72	6,71	0,0033	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	1398,9	279,79	6,5	0,0002	**	Rechaza H_0
AxB	10	960,9	96,09	2,23	0,0382	*	Rechaza H_0
Error	36	1550	43,06				
Total	53	4487,3					

CV: 6,5

Tabla 17

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 40 después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Altura* (cm)	Sign.
100	105,56	a
50	98,94	b
0	98,33	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 18

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 40 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	109,39	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	101,61	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	101,61	a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100,67	a b
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100,56	a b
Testigo	91,83	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 19

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 40 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	120,50	a
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	106,50	a b
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	106,50	a b
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	106,17	a b
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	103,33	a b c
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	103,17	a b c
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	101,83	a b c
100	Testigo	101,83	a b c
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	101,83	a b c
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	101,17	a b c
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	101,17	a b c
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100,50	a b c
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	99,83	b c
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	99,67	b c
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	96,00	b c
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	93,33	b c
0	Testigo	89,17	b c
50	Testigo	84,50	c

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 20

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 50 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

H_0 = No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	1166,6	583,29	16,67	<0,0001	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	511,4	102,27	2,92	0,0258	**	Rechaza H_0
AxB	10	2084,8	208,48	5,96	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	1259,5	34,99				
Total	53	5022,2					

CV: 4,46

Tabla 21

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 50 días después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Altura* (cm)	Sign.
100	139,19	a
50	129,78	b
0	128,94	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 22

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 50 días después de la inoculación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.	
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	136,39	a	
<i>Pseudomonas putida</i> 8	136,22	a	
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	132,56	a	b
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	132,06	a	b
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	131,22	a	b
Testigo	127,39		b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 23

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 50 después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.			
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	146,83	a			
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	145,00	a			
100	Testigo	140,83	a	b		
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	140,33	a	b		
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	138,67	a	b		
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	138,50	a	b	c	
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	136,67	a	b	c	
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	136,50	a	b	c	
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	133,67	a	b	c	d
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	133,17	a	b	c	d
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	130,33	a	b	c	d
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	130,17	a	b	c	d
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	129,33	a	b	c	d
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	125,17		b	c	d
50	Testigo	123,00		b	c	d
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	120,50			c	d
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	120,50			c	d
0	Testigo	118,33				d

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 24

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 60 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

H_0 = No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	1180,08	590,04	11,07	0,0002	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	1674,11	334,82	6,28	0,0003	**	Rechaza H_0
AxB	10	4676,81	467,68	8,77	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	1919	53,31				
Total	53	9450					

CV: 4,82

Tabla 25

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 60 días después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Altura* (cm)	Sign.
100	157,94	a
50	148,03	b
0	148,03	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 26

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 60 días después de la aplicación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas putida</i> 8	157,78	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	157,06	a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	152,50	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	150,00	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	149,61	a b
Testigo	141,06	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 27

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 60 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis%)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	174,83	a
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	168,17	a b
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	163,83	a b c
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	162,00	a b c
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	158,50	a b c d
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	156,50	a b c d e
100	Testigo	154,67	a b c d e f
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	154,17	a b c d e f
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	152,83	a b c d e f
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	151,17	b c d e f g
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	150,50	b c d e f g
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	148,33	b c d e f g
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	148,00	b c d e f g
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	143,50	c d e f g
50	Testigo	139,33	d e f g
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	135,67	e f g
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	132,83	f g
0	Testigo	129,17	g

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

* Promedio de tres repeticiones

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 70 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 28, anexo M). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores en la altura se alcanzaron con 100% de fertilizante químico (Tabla 29), *Pseudomonas* spp. (Tabla 30) y *Pseudomonas* sp. 5 con 50% de fertilizante químico (Tabla 31).

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la altura a los 80 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para *Pseudomonas* spp. (B) y la interacción AxB, pero no para el fertilizante químico (A) (Tabla 32, anexo N). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) demostró que los mayores valores se alcanzaron con *Pseudomonas* sp. 11, 5, 19 y 8 no diferenciándose significativamente entre ellas, pero sí de *P. fluorescens* 9 y el testigo (Tabla 33). En cuanto a la interacción AxB, el mayor valor en la altura correspondió a *Pseudomonas* sp. 5 con 50% de fertilizante químico (Tabla 34).

La aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico incrementó la longitud radicular del maíz, observándose a los 80 días índices de efectividad (IE) de 1,21 a 40,75% (Tabla 35). La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la longitud radicular a los 80 días en el factorial 3x6+3 resultó no significativa (Tabla 36, anexo Ñ).

La aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico incrementó el volumen radicular del maíz, observándose a los 80 días índices de efectividad (IE) de 2,41 a 243,58% (Tabla 37). La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio del volumen radicular a los 80 días en el factorial 3x6+3 resultó no significativa (Tabla 38, anexo O).

La aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico incrementó la biomasa aérea fresca del maíz a los 80 días, alcanzándose índices de efectividad (IE) de 0,97 a 73,41% (Tabla 39).

Tabla 28

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 70 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	1232,95	616,48	12,21	<0,0001	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	1978,37	395,67	7,84	<0,0001	**	Rechaza H_0
AxB	10	6046,66	604,67	11,97	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	1817,83	50,5				
Total	53	11075,81					

CV: 4,25

Tabla 29

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 70 días después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Altura* (cm)	Sign.
100	173,58	a
0	166,50	b
50	161,97	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 30

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 70 días después de la aplicación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	172,67	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	172,33	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	170,06	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	169,56	a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	164,17	a b
Testigo	155,33	b

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 31

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,005$) de altura de Zea mays L., 70 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	188,00	a
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	185,00	a b
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	178,00	a b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	177,17	a b
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	176,33	a b
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	173,67	a b
100	Testigo	173,17	a b
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	172,00	a b
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	171,50	a b
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	169,00	a b c
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	168,33	a b c
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	167,67	a b c
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	166,17	b c d
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	163,83	b c d
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	148,83	c d e
50	Testigo	148,00	c d e
0	Testigo	144,83	d e
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	140,83	e

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 32

Análisis de varianza de la altura de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp., con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	337,2	168,6	2,13	0,1338	NS	Acepta H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	4607,8	921,56	11,63	<0,0001	**	Rechaza H_0
AxB	10	5690	569	7,18	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	2851,7	79,21				
Total	53	13486,7					

CV: 4,9

Tabla 33

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	190,72	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	188,61	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	187,89	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	184,28	a b
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	173,33	b c
Testigo	165,33	c

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 34

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de altura de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Altura* (cm)	Sign.
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	201,67	a
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	195,33	a
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	195,33	a
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	195,17	a
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	192,50	a
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	188,00	a
100	Testigo	187,33	a
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	186,17	a
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	186,17	a
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	182,17	a b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	181,67	a b
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	180,33	a b c
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	180,33	a b c
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	180,00	a b c
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	176,17	a b c d
50	Testigo	158,50	b c d
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	153,50	c d
0	Testigo	150,17	d

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 35

Índices de efectividad (%) en la longitud radicular de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

<i>Pseudomonas</i> spp.	Fertilizante químico (dosis %)	IE* (%)
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	0	8,88
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0	13,31
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	0	40,75
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0	1,21
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	50	31,68
<i>Pseudomonas putida</i> 8	50	0,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	50	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	50	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	50	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	100	1,42
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100	0,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	100	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100	0,00

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 36

Análisis de varianza de la longitud radicular de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = uA_1 = uA_2 = uA_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = uB_1 = uB_2 = uB_3 = uB_4 = uB_5 = uB_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	133,18	66,59	0,73	0,4873	NS	Acepta H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	584,13	116,83	1,29	0,2911	NS	Acepta H_0
AxB	10	990,05	99,00	1,09	0,395	NS	Acepta H_0
Error	36	3268,5	90,79				
Total	53	4975,86					

CV: 22,04

Tabla 37

Índices de efectividad (%) en el volumen radicular de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

<i>Pseudomonas</i> spp.	Fertilizante químico (dosis %)	IE* (%)
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	0	58,54
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0	9,89
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	0	57,62
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0	60,32
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0	52,22
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	50	163,92
<i>Pseudomonas putida</i> 8	50	223,34
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	50	79,57
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	50	42,08
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	50	243,58
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	100	0,00
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100	0,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	100	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100	2,41

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 38

Análisis de varianza del volumen radicular de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp., con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = uA_1 = uA_2 = uA_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = uB_1 = uB_2 = uB_3 = uB_4 = uB_5 = uB_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	233,53	116,76	0,75	0,4777	NS	Acepta H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	749	149,8	0,97	0,4505	NS	Acepta H_0
AxB	10	1872,64	187,26	1,21	0,3177	NS	Acepta H_0
Error	36	5573,33	154,81				
Total	53	8428,5					

CV: 47,25

Tabla 39

Índices de efectividad (%) en la biomasa aérea fresca de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

<i>Pseudomonas</i> spp.	Fertilizante químico (dosis %)	IE* (%)
<i>Pseudomonas putida</i> 8	50	73,41
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	50	60,17
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	50	44,98
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	0	23,79
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0	23,09
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0	16,02
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	0	14,25
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	100	11,02
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	50	10,29
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0	9,31
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100	8,29
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100	4,83
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	50	2,33
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100	2,25
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	100	0,97

*Promedio de tres repeticiones

La prueba F del análisis de varianza de los valores promedio de la biomasa aérea fresca a los 80 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 40, anexo P). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores en la biomasa aérea fresca se alcanzaron con 100% de fertilizante químico (Tabla 41), *Pseudomonas* spp. 8 y 5 no diferenciándose significativamente entre ellas, pero sí de *Pseudomonas* spp. 19, 11, 9 y el testigo (Tabla 42). En cuanto a la interacción AxB, el mayor valor en la biomasa aérea fresca correspondió a *P. putida* 8 con 50% de fertilizante químico (Tabla 43).

La aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico incrementó la biomasa aérea seca del maíz a los 80 días, alcanzándose índices de efectividad (IE) de 1,80 a 124,74% (Tabla 44). La prueba F del análisis de varianza de la biomasa aérea seca a los 80 días en el factorial 3x6+3 mostró alta significancia para los factores en estudio (Tabla 45, anexo Q). Según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) los mayores valores se alcanzaron con 100% de fertilizante químico (Tabla 46), *Pseudomonas* spp. 19 y 8 no diferenciándose significativamente entre ellos, pero sí de *Pseudomonas* spp. 5, 11, 9 y el testigo (Tabla 47). En cuanto a la interacción AxB, el mayor valor en la biomasa aérea seca correspondió a *Pseudomonas* sp. 11 con 100% de fertilizante químico (Tabla 48).

Tabla 40

Análisis de varianza de la biomasa aérea fresca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = \mu A_1 = \mu A_2 = \mu A_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = \mu B_1 = \mu B_2 = \mu B_3 = \mu B_4 = \mu B_5 = \mu B_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	28130,78	14065,39	635,46	<0,0001	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	9403,33	1880,67	84,97	<0,0001	**	Rechaza H_0
AxB	10	22249,39	2224,94	100,52	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	796,83	22,13				
Total	53	60580,33					

CV: 2,53

Tabla 41

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Biomasa aérea* (g)	Sign.
100	216,61	a
50	179,33	b
0	161,89	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 42

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Biomasa aérea* (g)	Sign.
<i>Pseudomonas putida</i> 8	202,56	a
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	196,22	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	191,06	b c
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	184,72	c d
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	179,56	d
Testigo	161,56	e

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 43

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea fresca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Biomasa aérea* (g)	Sign.
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	235,830	a
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	230,000	a b
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	224,330	a b c
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	217,830	b c d
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	217,170	b c d
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	211,830	c d
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	209,170	d e
100	Testigo	207,170	d e
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	197,170	e
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	175,170	f
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	174,170	f
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	164,170	f g
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	161,670	f g
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	154,670	g h
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	150,000	g h i
0	Testigo	141,500	h i
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	139,170	i
50	Testigo	136,000	i

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 44

Índices de efectividad (%) en la biomasa aérea seca de Zea mays L. 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

<i>Pseudomonas</i> spp.	Fertilizante químico (dosis %)	IE* (%)
<i>Pseudomonas putida</i> 8	50	124,74
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	50	116,72
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	0	102,81
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	50	87,80
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	0	67,02
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	0	61,40
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	0	46,32
<i>Pseudomonas putida</i> 8	0	44,91
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	50	38,68
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	50	34,84
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	100	1,80
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	100	0,00
<i>Pseudomonas putida</i> 8	100	0,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	100	0,00
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	100	0,00

*Promedio de tres repeticiones

Tabla 45

Análisis de varianza de la biomasa aérea seca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

$H_0 = uA_1 = uA_2 = uA_3$ (Fertilizante químico)

$H_0 = uB_1 = uB_2 = uB_3 = uB_4 = uB_5 = uB_6$ (*Pseudomonas* spp.)

$H_0 =$ No hay efecto de la interacción AxB

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p	Sign.	Decisión
Fertilizante químico (A)	2	5071,30	4684,29	284,38	<0,0001	**	Rechaza H_0
<i>Pseudomonas</i> spp. (B)	5	9368,60	1014,25	61,57	<0,0001	**	Rechaza H_0
AxB	10	8416,00	841,60	51,09	<0,0001	**	Rechaza H_0
Error	36	593,00	16,47				
Total	53	23448,90					

CV: 4,74

Tabla 46

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	Biomasa aérea* (g)	Sign.
100	103,78	a
50	79,94	b
0	73,03	c

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 47

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp.

<i>Pseudomonas</i> spp.	Biomasa aérea* (g)	Sign.
<i>Pseudomonas</i> sp. 19	97,56	a
<i>Pseudomonas putida</i> 8	93,67	a b
<i>Pseudomonas</i> sp. 5	89,72	b c
<i>Pseudomonas</i> sp. 11	85,56	c
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	78,28	d
Testigo	68,72	e

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

* Promedio de tres repeticiones

Tabla 48

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) de la biomasa aérea seca de Zea mays L., 80 días después de la aplicación de Pseudomonas spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Fertilizante químico (dosis %)	<i>Pseudomonas</i> spp.	Biomasa aérea* (g)	Sign.
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	112,83	a
100	Testigo	110,83	a
50	<i>Pseudomonas putida</i> 8	107,50	a b
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	106,50	a b
100	<i>Pseudomonas putida</i> 8	104,67	a b
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	103,67	a b c
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	96,33	b c d
100	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	96,00	b c d
100	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	91,83	c d
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 19	89,83	d e
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	79,33	e f
0	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	76,67	f g
0	<i>Pseudomonas</i> sp. 5	69,50	f g
0	<i>Pseudomonas putida</i> 8	68,83	f g
50	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9	66,33	g
50	<i>Pseudomonas</i> sp. 11	64,50	g
50	Testigo	47,83	h
0	Testigo	47,50	h

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

* Promedio de tres repeticiones

V. DISCUSIÓN

En las bacterias rizosféricas, se identificaron *in vitro* características asociadas a la promoción de crecimiento en plantas, como son la producción de AIA (Azadikhah et al., 2019), solubilización de fosfato (Vacheron et al., 2018) y fijación de nitrógeno (Leoncio y Botelho, 2017). La producción de AIA por *Pseudomonas* spp. ha sido reportada previamente por Emami et al. (2019) en *P. mosselii*; Sharma et al. (2017), en *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida* y *P. plecoglossicida* (Castellano et al., 2018). El AIA es producido por *Pseudomonas* spp. en un medio con triptófano como precursor durante la fase estacionaria. Cuando la bacteria coloniza la rizósfera o el interior de las raíces, el nivel de este regulador de crecimiento incrementa y modifica la arquitectura radicular (Emami et al., 2019).

La fijación de nitrógeno por *Pseudomonas* spp. fue previamente demostrada por Majeed et al. (2018), en *Pseudomonas* sp. y Fox et al. (2016) en *P. protegens* y Joshi et al. (2019) en *P. jessenii*. La limitada disponibilidad del nitrógeno en las formas de amonio y nitrato y la dependencia del crecimiento de las plantas por este elemento, hacen de la diazotrofia o fijación biológica de nitrógeno una característica deseable en los bioinoculantes (Ke et al., 2019; Fox et al., 2016). Al respecto, Fox et al. (2016) adicionaron nitrógeno radioactivo en un suelo cultivado con maíz inoculado con *P. protegens* Pf-5 X940 y 2 meses después determinaron que el nitrógeno incorporado alcanzó 74% en las raíces, 63% en las hojas y 70% en los tallos.

La solubilización de fosfatos es una característica de *Pseudomonas* spp., entre las que destaca *P. fluorescens* (Buono y Ulla, 2016), además de *P. mosselii* (Emami et al., 2019), *P. putida*, *P. fulva* (Munir et al., 2019), *P. koreensis* y *P. syringae* (Li et al., 2017). La solubilización de fosfatos debe investigarse en las bacterias rizosféricas, debido a la baja disponibilidad de fósforo en el suelo, frente a la demanda de nutrientes para el desarrollo de las plantas (Li et al., 2017). Las especies de *Pseudomonas* incrementan la disponibilidad de fósforo, solubilizan los

fosfatos mediante acidificación y quelación (Li et al., 2017). *Pseudomonas* spp. producen ácidos acéticos, málico y glucónico (Majeed et al., 2018). La solubilización de fosfato puede ir asociada a la disminución del pH del medio o la producción de ácidos glucónico, cítrico y propiónico entre otros (Munir et al., 2019).

Existe una interacción entre la solubilización de fosfatos y la biosíntesis de 2,4-diacetilfloroglucinol (DAPG). La actividad de la glucosa deshidrogenasa es reprimida por el DAPG. En las bacterias que tienen el gen que codifica para la glucosa deshidrogenasa (Gcd funcional), la glucosa 6-P es transformada en ácido glucónico, el cual genera acidificación con solubilización de fosfatos. En los mutantes sin el gen Gcd, la glucosa 6-P se metaboliza en la glucólisis, el ATP se incrementa y un alto porcentaje de piruvato se incorpora al ciclo de Krebs. Por tanto, aumenta el Acetil CoA, precursor del DAPG, importante para el inicio de la colonización antimicrobiana que favorece la competencia entre las rizobacterias (Vacheron et al., 2018).

La tolerancia de *Pseudomonas* spp. al NaCl, coincide con el reporte de Egamberdieva et al. (2015). La salinidad disminuye el desarrollo y rendimiento de los cultivos agrícolas; no obstante, las bacterias tolerantes al NaCl y con actividad ACC desaminasa, disminuyen el estrés salino al hidrolizar el precursor del etileno (ACC) hasta α cetobutirato y amonio (Azadikhah et al., 2019).

La promoción del desarrollo en maíz por *Pseudomonas* spp. se corresponde con las investigaciones de Di Salvo et al. (2018) con *P. fluorescens*, Huang et al. (2017) con *P. mandelii*, Li et al. (2017) con *P. syringae* y Ke et al. (2019) con *P. stutzeri*. El nitrógeno fijado por las bacterias, beneficia a la biomasa de las plantas. Al respecto *P. stutzeri* fijadora de nitrógeno, incrementó la biomasa aérea (20,2%) y radicular (31,2%) del maíz en el suelo inoculado, en comparación con 25,2 y 23,9% en plantas del suelo no inoculado. A diferencia, en las plantas inoculadas con el mutante *nifH* se determinó incremento en la biomasa total, siendo de 6,2% en suelo inoculado y 6,7% en suelo no inoculado, evidenciándose la promoción de la biomasa de maíz por la diazotrofia microbiana (Ke et al., 2019).

Las plantas de maíz secretan azúcares y aminoácidos que favorecen el crecimiento de las bacterias inoculadas (Kumar et al., 2007). El metabolismo versátil de *Pseudomonas* spp. se asocia con su capacidad de colonizar con éxito la rizósfera y competir con otros microorganismos del suelo (Majeed et al., 2018). El efecto benéfico de *Pseudomonas* spp. en los parámetros de crecimiento y rendimiento de

maíz está relacionado con la supervivencia de las bacterias en la rizósfera (Nosheen et al., 2018) y con metabolitos producidos por éstas (Emami et al., 2019). Cuando las bacterias se establecen y alcanzan una población significativa colonizan con éxito la rizósfera (Fox et al., 2016) y persisten todo el ciclo del cultivo (Joshi et al., 2019).

El incremento en los parámetros de crecimiento más notorio en las raíces coincide con el reporte de Rosas et al. (2009). *Pseudomonas* spp. producen AIA y solubilizan fosfatos, por lo que incrementan la longitud y volumen radicular y su inoculación en las plantas favorece la disponibilidad y acceso a los nutrientes del suelo. La modificación en la arquitectura de la raíz se ha observado en plantas de maíz inoculadas con *P. kilonensis* con actividad ACC desaminasa y nitrito reductasa (Vacheron et al., 2018) y en *P. mosselii* productora de AIA (Emami et al., 2019).

La promoción del desarrollo de maíz por *Pseudomonas* spp. no fue afectada por la aplicación conjunta del fertilizante químico, coincidiendo con la investigación de Sood et al. (2018); no obstante, Viruel et al. (2014) determinaron que *P. tolaasii* en maíz fue más eficiente cuando se aplicó sin fertilizante fosfatado. De igual manera Krey et al. (2013) demostraron que el efecto de *P. fluorescens* en la altura y rendimiento de maíz, fue mayor al observado en el testigo superfosfato triple en un campo agrícola con aplicación continua de fertilizante orgánico e inorgánico y un balance negativo de 264kgPha^{-1} .

Respecto al fertilizante nitrogenado, la urea en el suelo es rápidamente hidrolizada y oxidada hasta nitrato. El efecto negativo de altas concentraciones de nitrato alrededor de las raíces es producto de la estimulación de la actividad de la enzima ACC-oxidasa de la planta, que transforma el ACC en etileno, el cual a su vez inhibe el crecimiento de la raíz. Por el contrario, *Pseudomonas* spp. con actividad ACC desaminasa disminuyen el nivel de etileno y favorecen el crecimiento radicular (Fazal y Bano, 2016).

Di Salvo et al. (2018) no determinaron interacción entre las dosis de fertilizante nitrogenado y la inoculación de PGPR en maíz. La respuesta de las plantas fue diferente dependiendo del tipo de inoculante y parámetros agronómicos evaluados. *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp. modificaron en el suelo la población de microorganismos fijadores de nitrógeno en el estadio reproductivo del cultivo. El fertilizante nitrogenado modificó el NMP de microorganismos celulolíticos, nitrificantes y fijadores de nitrógeno en el estadio vegetativo (V5). Los PGPR y el

fertilizante químico modificaron la fisiología de la comunidad microbiana significativa del maíz, principalmente en el estadio reproductivo.

La biomasa aérea fresca de las plantas inoculadas con las bacterias no obtuvo la misma significancia que la biomasa aérea seca, coincidiendo con Huang et al. (2017), quienes observaron incremento en la biomasa radicular y total seca, pero no en el peso de la biomasa fresca de plantas de maíz, tomate, pimiento y pepino inoculadas con *Bacillus* spp. y *P. mandelii*. La diferencia se atribuye a las variaciones en los factores ambientales y técnicos como la temperatura, humedad relativa, tamaño del experimento, pérdida de humedad en los tejidos durante la cosecha y preparación de los tejidos para el pesaje (Bashan y De-Bashan, 2005). Por tanto, en las pruebas de promoción de crecimiento por rizobacterias se prefiere evaluar el peso seco de la biomasa (Huang et al., 2017).

Las plantas de maíz con *Pseudomonas* spp. 8 y 5 más 50% de fertilizante químico (FQ) superaron significativamente al testigo 100% FQ, en la biomasa fresca y no se diferenciaron de éste en la biomasa seca, evidenciándose que con las bacterias se puede reducir la dosis del FQ sin afectar el rendimiento del cultivo. El desarrollo del maíz no se ve afectado cuando se aplica *Pseudomonas* spp. con fertilizante químico en dosis de 50 (Amogou et al., 2021; Nepalí et al., 2020) y 80% (Emami et al., 2019; Sood et al., 2018).

VI. CONCLUSIONES

- 6.1** En los 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. se verificó la producción de ácido indol acético, fijación de nitrógeno y solubilización de fosfato tricálcico, como características que evidencian *in vitro* promoción de crecimiento vegetal.
- 6.2** Los 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. toleraron concentraciones de 3, 4, 5 y 6 % de NaCl.
- 6.3** Los 15 cultivos de *Pseudomonas* spp. investigados incrementaron la altura y longitud de las raíces de las plantas de maíz a los 40 días después de la siembra, alcanzándose los mayores valores con *Pseudomonas* sp. 5, *Pseudomonas fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19.
- 6.4** Los cinco cultivos de *Pseudomonas* spp. solos o en combinación con 50 y 100% de fertilizante químico, incrementaron el crecimiento y rendimiento de maíz, alcanzándose los mayores índices de efectividad en la biomasa seca de 124,74% con *P. putida* 8 y 116, 72% con *Pseudomonas* sp. 5, ambos con 50% de fertilizante químico.

VII. RECOMENDACIONES

- Identificar a nivel molecular *Pseudomonas* sp. 5, *Pseudomonas fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19.
- Investigar sustratos de bajo costo y fácil disponibilidad para el incremento masivo de *Pseudomonas* sp. 5, *Pseudomonas fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19.
- Determinar el efecto de *Pseudomonas* sp. 5, *Pseudomonas fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19 con 50% de fertilizante químico en condiciones de campo.
- Investigar el comportamiento de *Pseudomonas* sp. 5, *Pseudomonas fluorescens* 9, *Pseudomonas* sp. 11, *P. putida* 8 y *Pseudomonas* sp. 19 frente a los hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

VIII. REFERENCIAS

- Aguado, G. (2012). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. <https://bit.ly/2kJu07J>
- Alvitres, V. (2000). *Método científico. Planificación de la investigación* (2da ed.). Editorial Ciencia.
- Amogou, O., Noumavo, A., Agbodjato, N., Sinia, H., Dagénonbakin, G., Adoko, M., Salako, V., Kakaï, R., Adjanohoun, A., y Babab-Moussa, L. (2021). Rhizobacterial inoculation in combination with mineral fertilizer improves maize growth and yield in poor ferruginous soil in center of Benin. *Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology*, 102(95(1)), 141–155. <https://doi.org/doi:10.5114/bta.2021.106520>.
- Azadikhah, M., Jamali, F., Nooryazdan, H., y Bayat, F. (2019). Growth promotion and yield enhancement of barley cultivars using ACC deaminase producing *Pseudomonas fluorescens* strains under salt stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13828>
- Bai, Y., Chang, Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J., Song, X., Lei, X., y Pei, D. (2020). Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning. *Microorganisms*, 8(5), 694. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050694>
- Bashan, Y., y De-Bashan, L. (2005). Fresh-weight measurements of roots provide inaccurate estimates of the effects of plant growth-promoting bacteria on root growth: A critical examination. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10), 1795–1804. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.013>
- Becerra, M., y Gil, L. (2009). *Efecto de Pseudomonas spp. solubilizadoras de fósforo en el desarrollo vegetativo de “maíz” (Zea mays L.) en Ferreñafe, Lambayeque* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo] Repositorio institucional: <https://bit.ly/2YT1XGJ>
- Boveiri Dehsheikh, A., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., y Enayatizamir, N. (2020). Changes in soil microbial activity, essential oil quantity, and quality of

- Thai basil as response to biofertilizers and humic acid. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120439>
- Buono, N., y Ulla, E. (2016). Efectos de la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) en condiciones controladas. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 36(2), 45–54. <https://ranar.faz.unt.edu.ar/index.php/ranar/article/view/60/54>
- Castellano-Hinojosa, A., Pérez-Tapia, V., Bedmar, E., y Santillana, N. (2018). Purple corn-associated rhizobacteria with potential for plant growth promotion. *Journal of Applied Microbiology*, 124(5), 1254–1264. <https://doi.org/10.1111/jam.13708>
- Córdova, L. (2016). *Efecto de Azospirillum spp. nativas en el desarrollo vegetativo de Zea mays L. “maiz”, en invernadero* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio institucional: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3692>
- Di Salvo, L., Cellucci, G., Carlino, M., y García, I. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 126, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>
- Egamberdieva, D., Jabborova, D., y Hashem, A. (2015). *Pseudomonas* induces salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum*) and resistance to *Fusarium* root rot through the modulation of indole-3-acetic acid. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(6), 773–779. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.04.019>
- Emami, S., Alikhani, H., Pourbabaei, A., Etesami, H., Sarmadian, F., y Motessharezadeh, B. (2019). Assessment of the Potential of Indole-3-Acetic Acid Producing Bacteria to manage Chemical Fertilizers Application. *International Journal of Environmental Research*, 13(4), 603–611. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00197-6>
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., y Mendoza, G. (2011). Characterization of native strains of *Azotobacter* spp. and its effect on growth of *Lycopersicon esculentum* Mill. “tomato” in Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 39–49. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.01.05>
- Fazal, A., y Bano, A. (2016). Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), Biochar, and Chemical Fertilizer under Salinity Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(17), 1985–1993. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1216562>
- Fox, A., Soto, G., Valverde, C., Russo, D., Lagares, A., Zorreguieta, Á., Alleva, K., Pascuan, C., Frare, R., Mercado-Blanco, J., Dixon, R., y Ayub, N. (2016). Major cereal crops benefit from biological nitrogen fixation when inoculated with the

- nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas protegens* Pf-5 X940. *Environmental Microbiology*, 18(10), 3522–3534. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13376>
- Gamez, R., Cardinale, M., Montes, M., Ramirez, S., Schnell, S., y Rodriguez, F. (2018). Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana c.v Williams (*Musa acuminata*). *Microbiological Research*. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.006>
- García, F., Muñoz, H., Carreño, C., y Mendoza, G. (2010). Characterization of native strains of *Azospirillum* spp. and its effect on growth of *Oryza sativa* L. “rice” in Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 107–116. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.02.01>
- García, M. (2012). *Efecto de la inoculación con bacterias diazotróficas de vida libre endófitas sobre el crecimiento de Lycopersicon esculentum “tomate”* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio institucional: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/2151>
- García, M., Uypan, C., Carreño, C., Arellano, C., y Zúñiga, G. (2021). Hongos rizosféricos de *Echinopsis pachanoi* “San Pedro hembra” y su potencial como promotores de crecimiento en *Zea mays* L. bajo estrés salino. *UCV HACER – Revista de Investigación y Cultura*, 10(2), 23–33. <https://bit.ly/390njUt>
- García, R., Lovaisa, N., y Ulla, E. (2015). Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fosfatos del Noroeste Argentino y su efecto en la promoción de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 35(1), 13–28. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1763.8246>
- Geries, L., y Elsadany, A. (2021). Maximizing growth and productivity of onion (*Allium cepa* L.) by *Spirulina platensis* extract and nitrogen-fixing endophyte *Pseudomonas stutzeri*. *Archives of Microbiology*, 203(1), 169–181. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01991-z>
- German, J. (2015). *Efecto de las concentraciones de Azotobacter sp. aislado de rizósfera de suelo de Saccharum officinarum sobre el crecimiento de Lycopersicum esculentum “tomate”* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio institucional: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4547>
- Goode, W., y Hatt, P. (1993). *Métodos de investigación social*. <https://bit.ly/2miENX1>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición). Interamericana Editores. <https://bit.ly/2JLPtUM>
- Huang, P., De-Bashan, L., Crocker, T., Kloepper, J., y Bashan, Y. (2017). Evidence

- that fresh weight measurement is imprecise for reporting the effect of plant growth-promoting (rhizo)bacteria on growth promotion of crop plants. *Biology and Fertility of Soils*, 53(2), 199–208. <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1160-2>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2008). Maíz Amarillo Duro Marginal 28 Tropical. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/626>
- Jimtha John, C., Jishma, P., Karthika, N., Nidheesh, K., Ray, J., Mathew, J., y Radhakrishnan, E. (2017). *Pseudomonas fluorescens* R68 assisted enhancement in growth and fertilizer utilization of *Amaranthus tricolor* (L.). *3 Biotech*, 7(4), 2–7. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0887-2>
- Joshi, D., Chandra, R., Suyal, D., Kumar, S., y Goel, R. (2019). Impacts of Bioinoculants *Pseudomonas jessenii* MP1 and *Rhodococcus qingshengii* S10107 on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Yield and Soil Nitrogen Status. *Pedosphere: An International Journal*, 29(3), 388–399. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60807-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60807-6)
- Ke, X., Feng, S., Wang, J., Lu, W., Zhang, W., Chen, M., y Lin, M. (2019). Effect of inoculation with nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas stutzeri* A1501 on maize plant growth and the microbiome indigenous to the rhizosphere. *Systematic and Applied Microbiology*, 42(2), 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2018.10.010>
- Kobua, C., Jou, Y., y Wang, Y. (2021). Advantages of Amending Chemical Fertilizer with Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria under Alternate Wetting Drying Rice Cultivation. *Agriculture*, 11(7), 605. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070605>
- Krey, T., Vassilev, N., Baum, C., y Eichler-Löbermann, B. (2013). Effects of long-term phosphorus application and plant-growth promoting rhizobacteria on maize phosphorus nutrition under field conditions. *European Journal of Soil Biology*, 55, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.12.007>
- Kumar, B., Trivedi, P., y Pandey, A. (2007). *Pseudomonas corrugata*: A suitable bacterial inoculant for maize grown under rainfed conditions of Himalayan region. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(12), 3093–3100. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.003>
- Leoncio, M., y Botelho, G. (2017). Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria isolated from garlic (*Allium sativum*). *Scientia Agraria*, 18(3), 95–106. <https://bit.ly/3AcSLL1>
- Li, Y., Liu, X., Hao, T., y Chen, S. (2017). Colonization and maize growth promotion induced by phosphate solubilizing bacterial isolates. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/ijms18071253>

- López, F. (2011). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento en cuatro especies leñosas de selva baja caducifolia [tesis de pregrado, Universidad Veracruzana] Repositorio institucional: <https://bit.ly/2IMYQg2>
- Machfud, Y., Mulyani, O., y Sofyan, E. (2019). The application of NPK compound fertilizer (15-15-6) on soil chemical properties and corn plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 393, 12036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/393/1/012036>
- Majeed, A., Abbasi, M., Hameed, S., Yasmin, S., Hanif, M., Naqqash, T., y Imran, A. (2018). *Pseudomonas* sp. AF-54 containing multiple plant beneficial traits acts as growth enhancer of *Helianthus annuus* L. under reduced fertilizer input. *Microbiological Research*, 216, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.006>
- Mehmood, U., Inam-ul-Haq, M., Saeed, M., Altaf, A., Azam, F., y Hayat, S. (2018). A brief review on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A key role in plant growth promotion. *Plant Protection*, 2(2), 77–82. <https://esciencepress.net/journals/index.php/PP/article/view/3151>
- Mohanty, P., Singh, P., Chakraborty, D., Mishra, S., y Pattnaik, R. (2021). Insight Into the Role of PGPR in Sustainable Agriculture and Environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150>
- Munir, I., Bano, A., y Faisal, M. (2019). Impact of phosphate solubilizing bacteria on wheat (*Triticum aestivum*) in the presence of pesticides. *Brazilian Journal of Biology*, 79(1), 29–37. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.172213>
- Nadeem, S., Naveed, M., Ayyub, M., Khan, M., Ahmad, M., y Zahir, Z. (2016). Potential, limitations and future prospects of *pseudomonas* spp. For sustainable agriculture and environment: A review. *Soil and Environment*, 35(2), 106–145. <https://bit.ly/3hwiUx1>
- Nepalí, B., Subedi, S., Bhattarai, S., Marahatta, S., Bhandari, D., y Shrestha, J. (2020). Bio-fertilizer activity of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* as growth and yield promoter for maize. *Journal of Agricultural Science*, 31(2), 191–195. <https://doi.org/10.15159/jas.20.17>
- Nosheen, A., Yasmin, H., Naz, R., Bano, A., Keyani, R., y Hussain, I. (2018). *Pseudomonas putida* improved soil enzyme activity and growth of kasumbha under low input of mineral fertilizers. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(4), 520–525. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1461002>
- Olanrewaju, O., Glick, B., y Babalola, O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 197. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>

- Prasad, R., y Shivay, Y. (2020). Agronomic biofortification of plant foods with minerals, vitamins and metabolites with chemical fertilizers and liming. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1534–1554. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1738464>
- Rai, S., y Shukla, N. (2020). Biofertilizer: An alternative of synthetic fertilizers. *Plant Archives*, 20(2), 1374–1379. <https://bit.ly/3nsXk0d>
- Reid, T., Kavamura, V., Abadie, M., Torres-Ballesteros, A., Pawlett, M., Clark, I., Harris, J., y Mauchline, T. (2021). Inorganic Chemical Fertilizer Application to Wheat Reduces the Abundance of Putative Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.642587>
- Rodríguez-Andrade, O., Fuentes-Ramírez, L., Morales-García, Y., Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M., Martínez-Contreras, R., y Muñoz-Rojas, J. (2015). The decrease in the population of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane after nitrogen fertilization is related to plant physiology in split root experiments. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(4), 335–343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.09.004>
- Rodríguez, C. (2013). *Evaluación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en tomate (Solanum lycopersicum) variedad Santa Clara, aislados de residuos lignocelulósicos de higuera (Ricinus communis)* [tesis de pregrado, Universidad Católica de Manizales] Repositorio institucional: <http://hdl.handle.net/10839/578>
- Romero, K. (2017). *Especies de Pseudomonas aisladas de rizoplasma y rizósfera de Asparagus officinalis L. y su potencial como promotoras de crecimiento en plantas* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo] <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2117>
- Rosas, S., Avanzini, G., Carlier, E., Pasluosta, C., Pastor, N., y Rovera, M. (2009). Root colonization and growth promotion of wheat and maize by *Pseudomonas aurantiaca* SR1. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1802–1806. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.009>
- Sharma, A. (2017). A Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, V(II), 677–680. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.2103>
- Sood, G., Kaushal, R., Chauhan, A., y Gupta, S. (2018). Effect of conjoint application of indigenous PGPR and chemical fertilizers on productivity of maize (*Zea mays* L.) under mid hills of Himachal Pradesh. *Journal of Plant Nutrition*, 41(3), 297–303. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381116>
- Soumya, S., Sreejith, S., Shad, K., Anusha, P., Swathy, B., Renikrishna, R., Saranya,

- S., Jishma, P., Radhakrishnan, E., y Remakanthan, A. (2020). Combined Effect of *Pseudomonas* spp. Consortium and Fertilizer with Micronutrients on Enhanced yield of *Amaranthus tricolor* (L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 90(5), 1083–1092. <https://doi.org/10.1007/s40011-020-01179-x>
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Renoud, S., Padilla, R., Walker, V., Muller, D., y PrigentCombaretlt, C. (2018). Differential contribution of plant-beneficial functions from *Pseudomonas kionensis* fl 13 to root system architecture alterations in arabidopsis thaliana and zea mays. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(2), 212–223. <https://doi.org/10.1094/MPMI-07-17-0185-R>
- van der Bom, F., Magid, J., y Jensen, L. S. (2019). Long-term fertilisation strategies and form affect nutrient budgets and soil test values, soil carbon retention and crop yield resilience. *Plant and Soil*, 434(1–2), 47–64. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3754-y>
- Viruel, E., Erazzú, L., Martínez, L., Ferrero, M., Lucca, M., y Siñeriz, F. (2014). Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: Effect on plant growth and yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 819–831. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000065>
- Vurukonda, S., Vardharajula, S., Shrivastava, M., y SkZ, A. (2016). Multifunctional *Pseudomonas putida* strain FBKV2 from arid rhizosphere soil and its growth promotional effects on maize under drought stress. *Rhizosphere*, 1, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2016.07.005>
- Wang, L., Zheng, X., Tian, F., Xin, J., y Nai, H. (2018). Soluble organic nitrogen cycling in soils after application of chemical/organic amendments and groundwater pollution implications. *Journal of Contaminant Hydrology*, 217, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.08.003>

Anexos

ANEXO A

Fertilizante N:P:K = 200:100:100 = urea : fosfato diamónico : sulfato de potasio

1. Fosfato diamónico FDA: 18%N; 46%NP (P_1O_5)

100kg FDA → 46 UP

X → 100 UP

$$X = \frac{100 \times 100}{46} = 217,3 \text{ kg FDA ha}^{-1}$$

100kg FDA → 18 UN

217,3kg FDA → X

$$X = \frac{217,3 \times 18}{100} = 39,111 \text{ UN}$$

2. Urea 200 – 39,111 = 160,889

Urea: 46% N

100kg urea → 46 UN

X → 160,889 UN

$$X = \frac{100 \times 160,889}{46} = 349,79 \text{ kg urea ha}^{-1}$$

3. Sulfato de potasio: 50% K

100kg sulfato de potasio → 50 UK

X → 100 UK

$$X = \frac{100 \times 100}{50} = 200 \text{ kg sulfato de potasio ha}^{-1}$$

Radio de la maceta = 14cm

Área circunferencia = $\pi \cdot r^2$

$$A = (3,14) (14)^2$$

$$A = 615,44 \text{ cm}^2 \rightarrow 0,0615 \text{ m}^2$$

Fosfato diamónico: 217,3kg FDA ha⁻¹

$$217,3\text{kg} \rightarrow 10\,000\text{m}^2$$

$$X \rightarrow 0,0615\text{m}^2$$

$$X = 0,00133455\text{kg}$$

$$X = 1,33455\text{g FDA}$$

Urea: 349,79kg urea ha⁻¹

$$349,79\text{kg} \rightarrow 10\,000\text{m}^2$$

$$X \rightarrow 0,0615\text{m}^2$$

$$X = 0,0021512085\text{kg}$$

$$X = 2,1512085\text{g urea}$$

Sulfato de potasio: 200kg K₂(SO₄)⁻ ha⁻¹

$$200\text{kg} \rightarrow 10\,000\text{m}^2$$

$$X \rightarrow 0,0615\text{m}^2$$

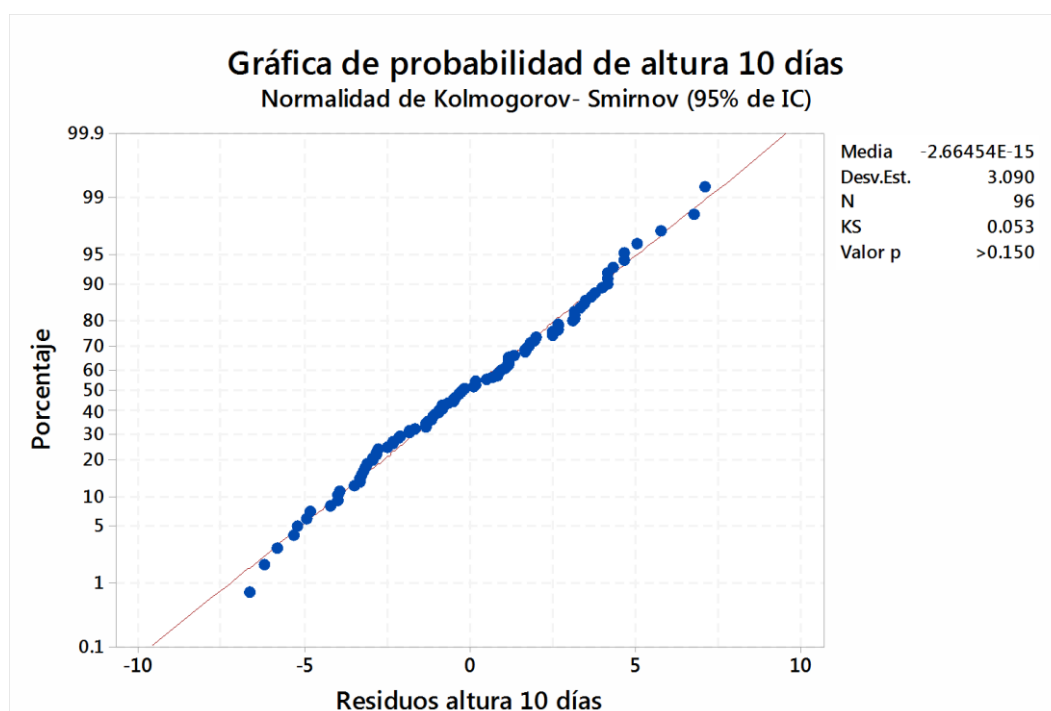
$$X = 0,00123\text{kg}$$

$$X = 1,23\text{g sulfato de potasio}$$

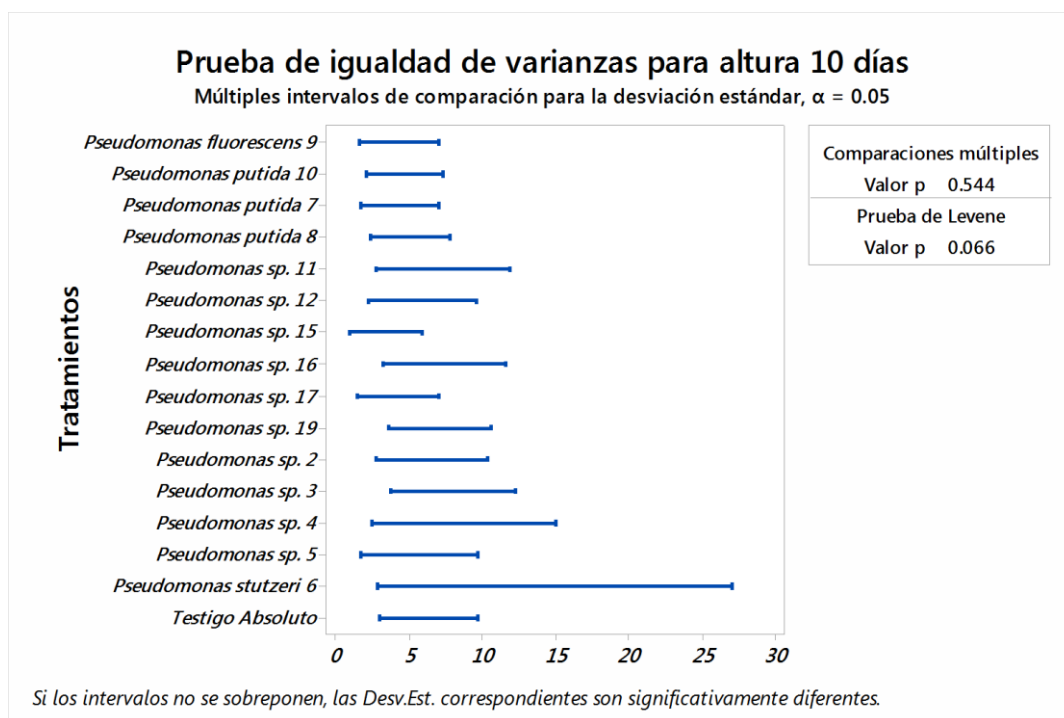
ANEXO B

Prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de la altura de *Zea mays* L. 10 días después de la inoculación con *Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas



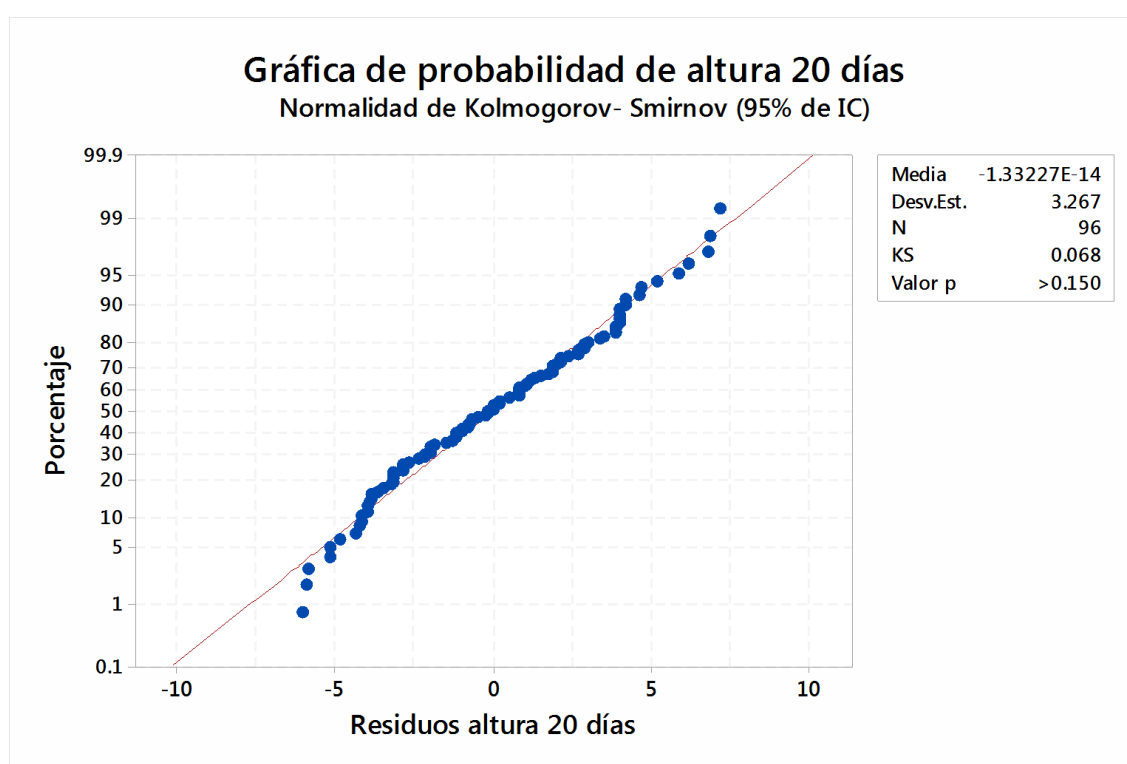
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _C	P	Sign.	Decisión
Tratamientos	15	5640,5	376,03	33,17	<0,0001	**	Rechaza H ₀
Error	80	906,9	11,34				
Total	95	6547,4					

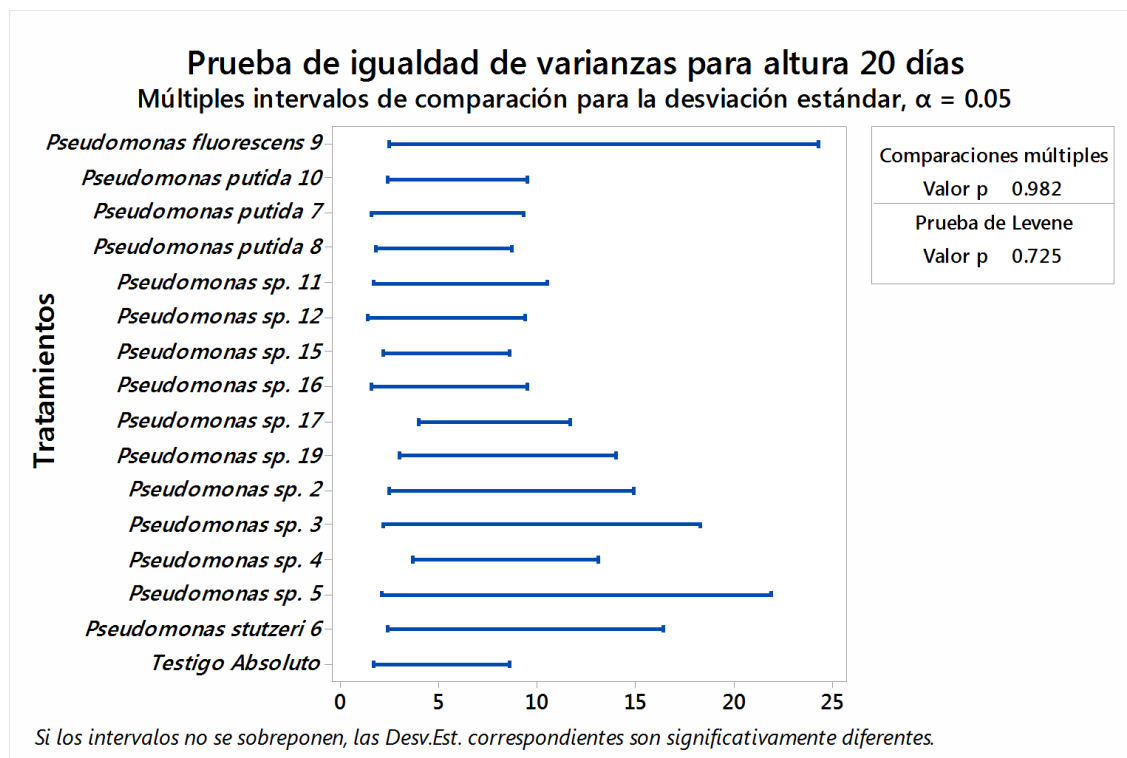
ANEXO C

Prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de la altura de *Zea mays* L. 20 días después de la inoculación con *Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas



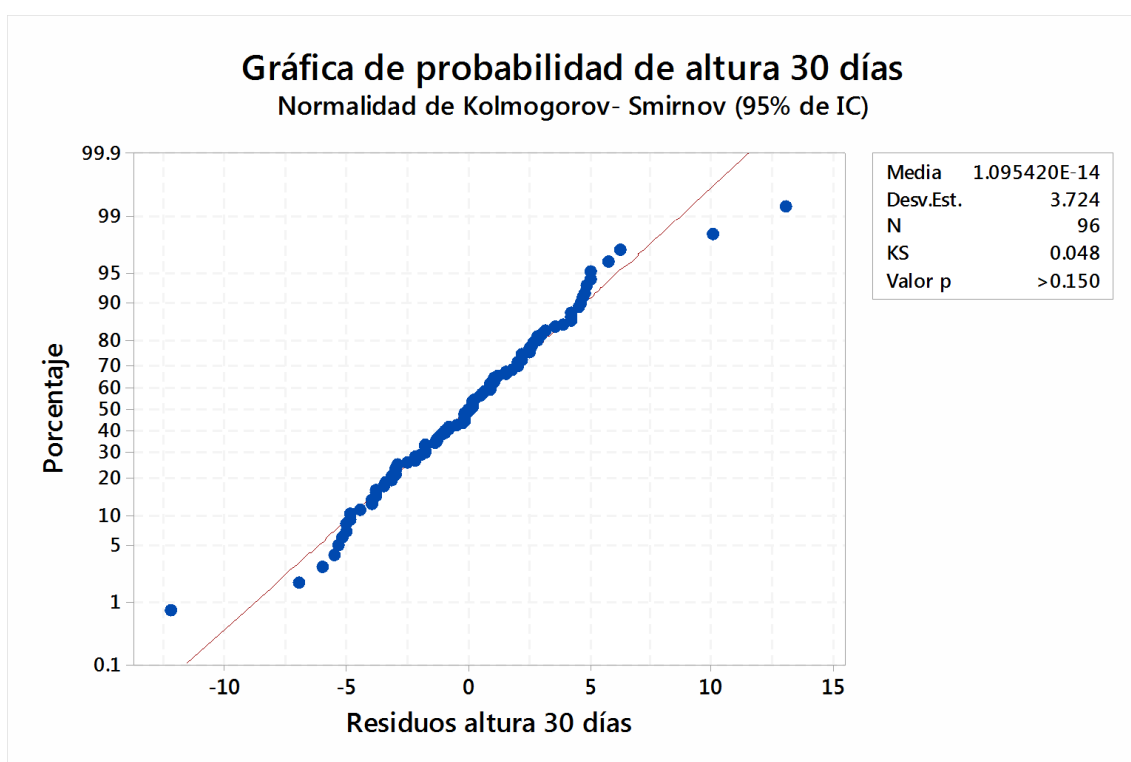
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _c	P	Sign.	Decisión
Tratamientos	15	12773,21	851,55	67,19	<0,0001	**	Rechaza H ₀
Error	80	1013,92	12,67				
Total	95	13787,13					

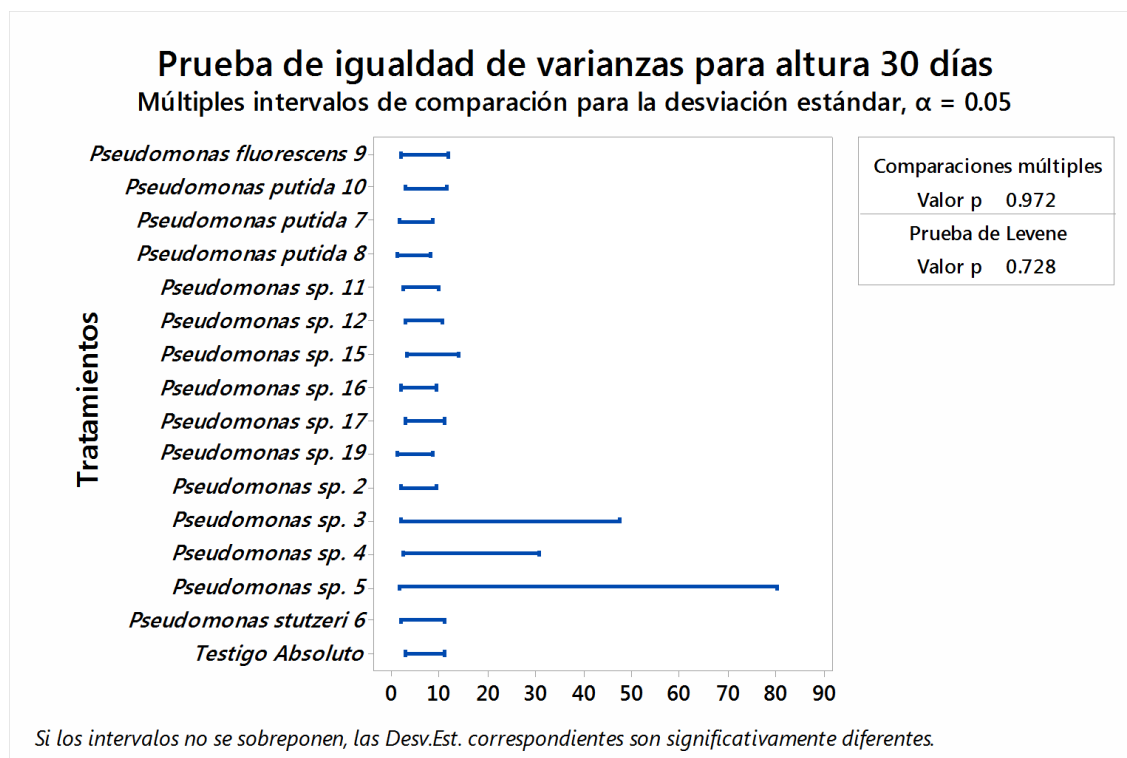
ANEXO D

Prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de la altura de *Zea mays* L. 30 días después de la inoculación con *Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas



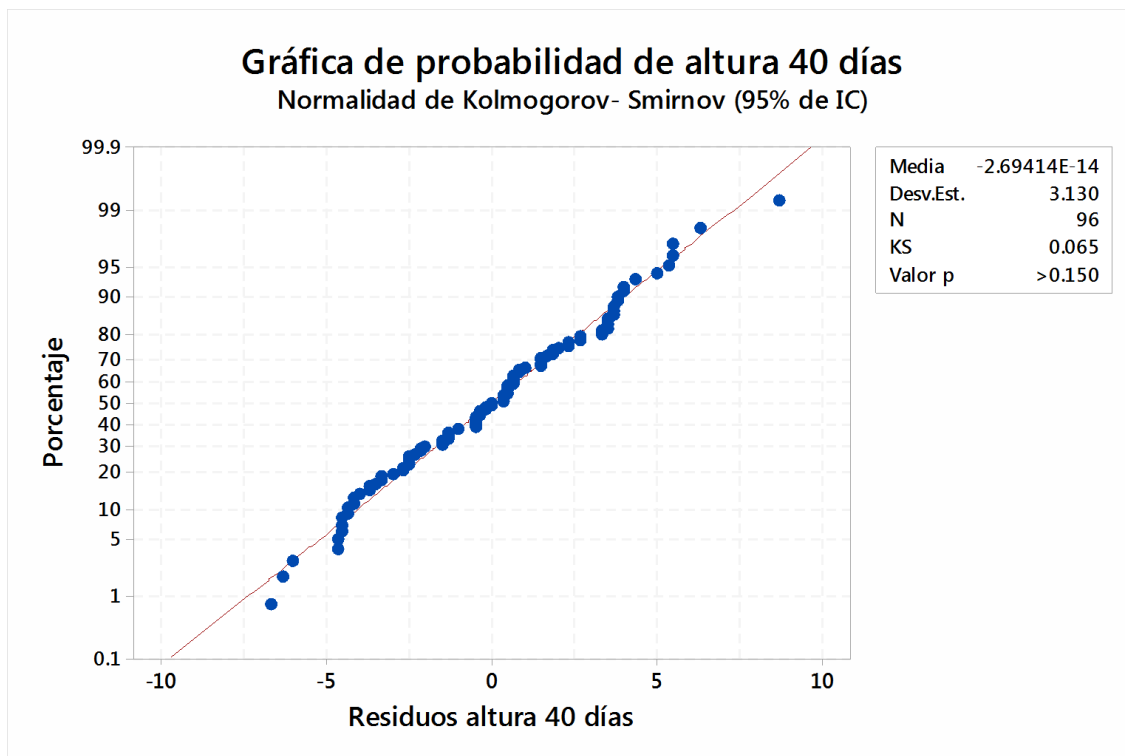
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _c	P	Sign.	Decisión
Tratamientos	15	10808,74	720,58	43,76	<0,0001	**	Rechaza H ₀
Error	80	1317,25	16,47				
Total	95	12125,99					

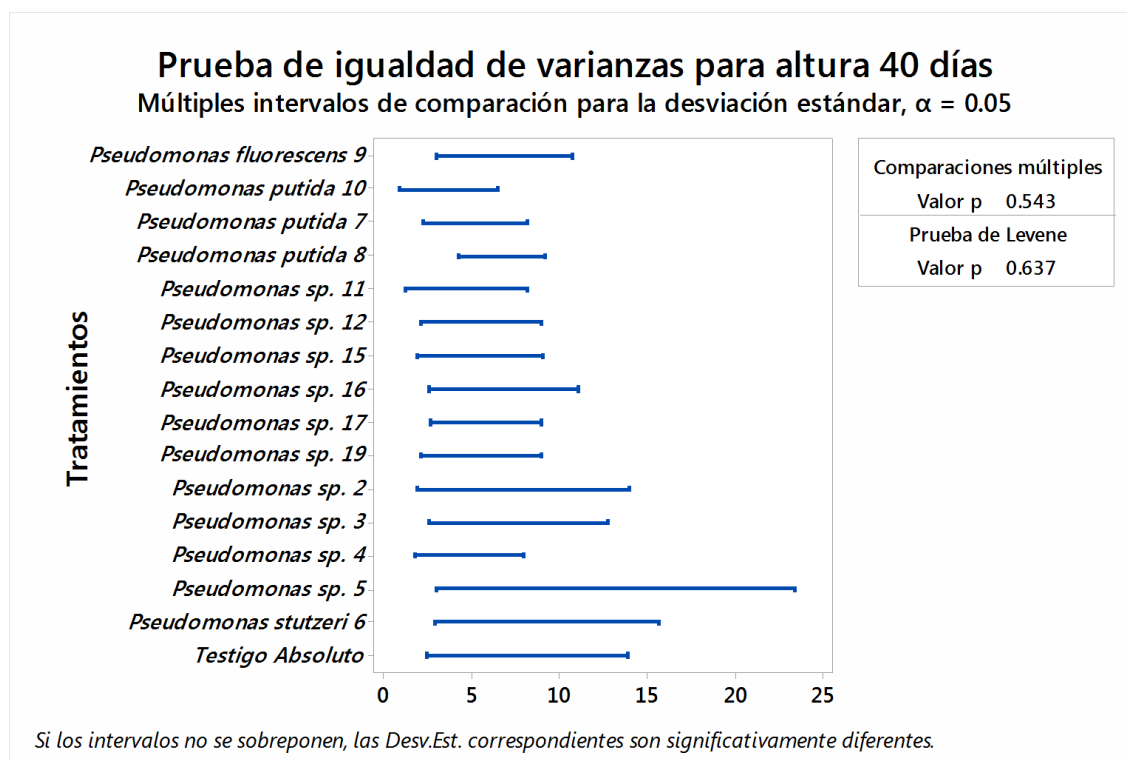
ANEXO E

Prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de la altura de *Zea mays* L. 40 días después de la inoculación con *Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas



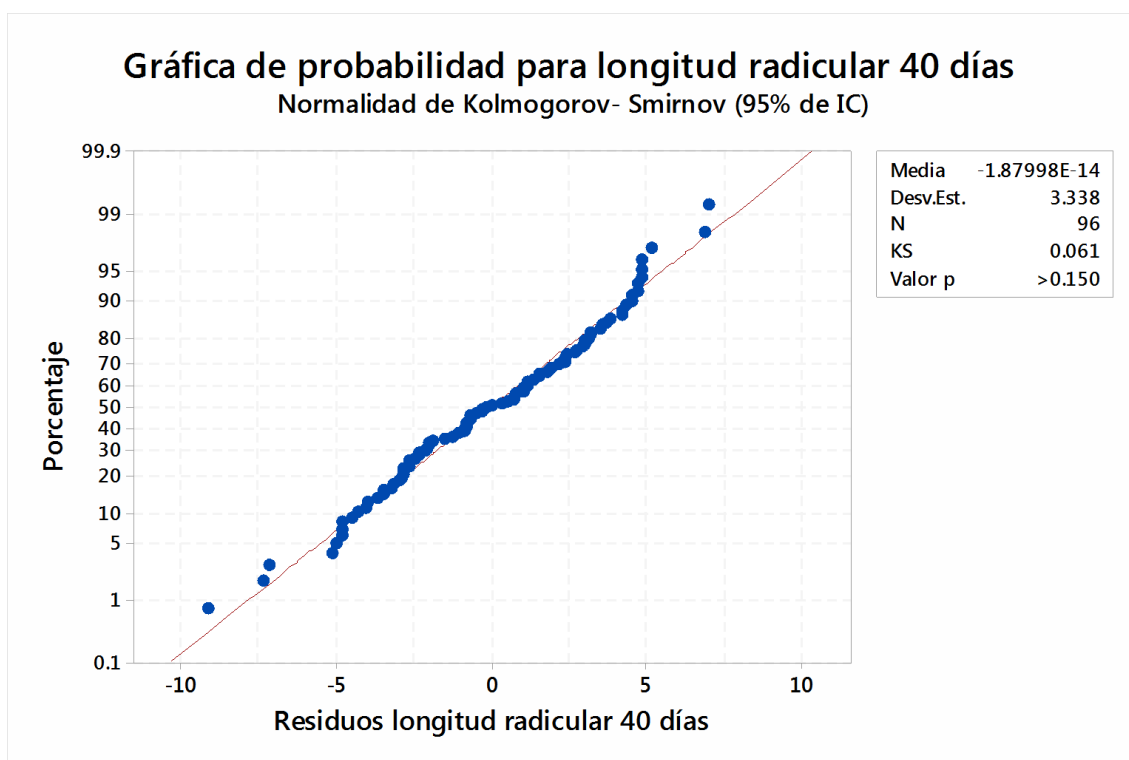
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _C	P	Sign.	Decisión
Tratamientos	15	21735,24	1449,02	124,58	<0,0001	**	Rechaza H ₀
Error	80	930,5	11,63				
Total	95	22665,74					

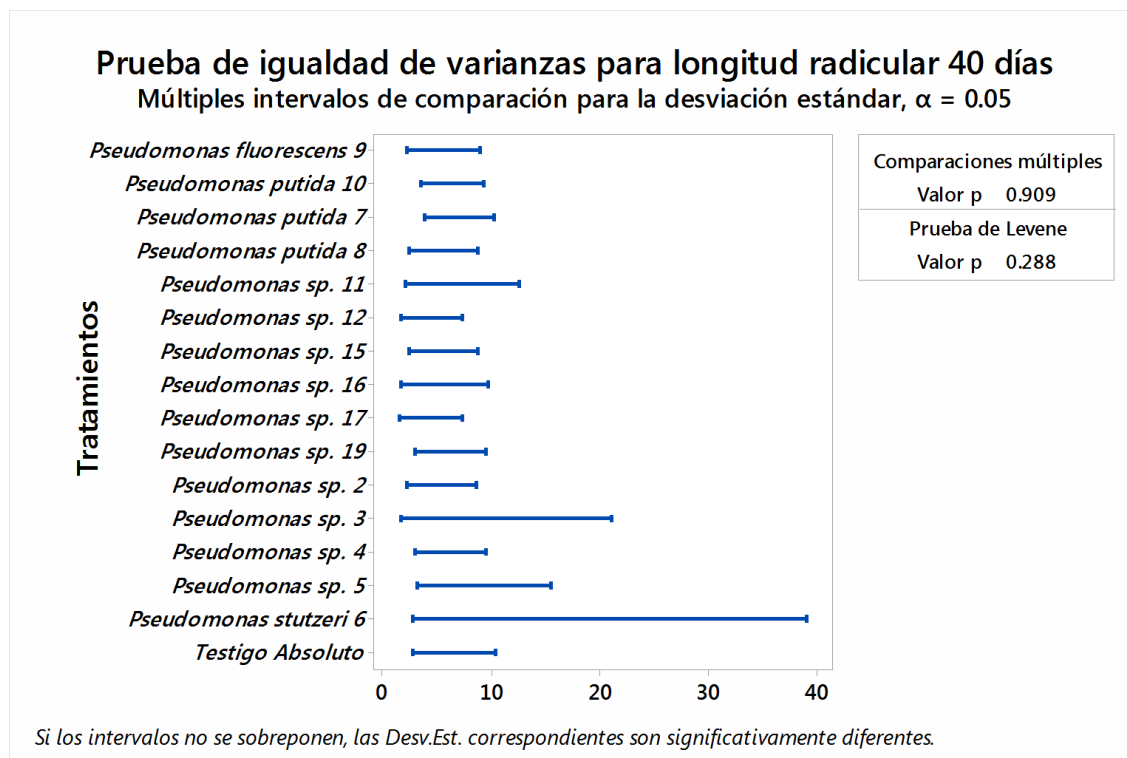
ANEXO F

Prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de la longitud radicular de *Zea mays* L. 40 días después de la inoculación con *Pseudomonas* spp. aisladas de *Asparagus officinalis* L.

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas



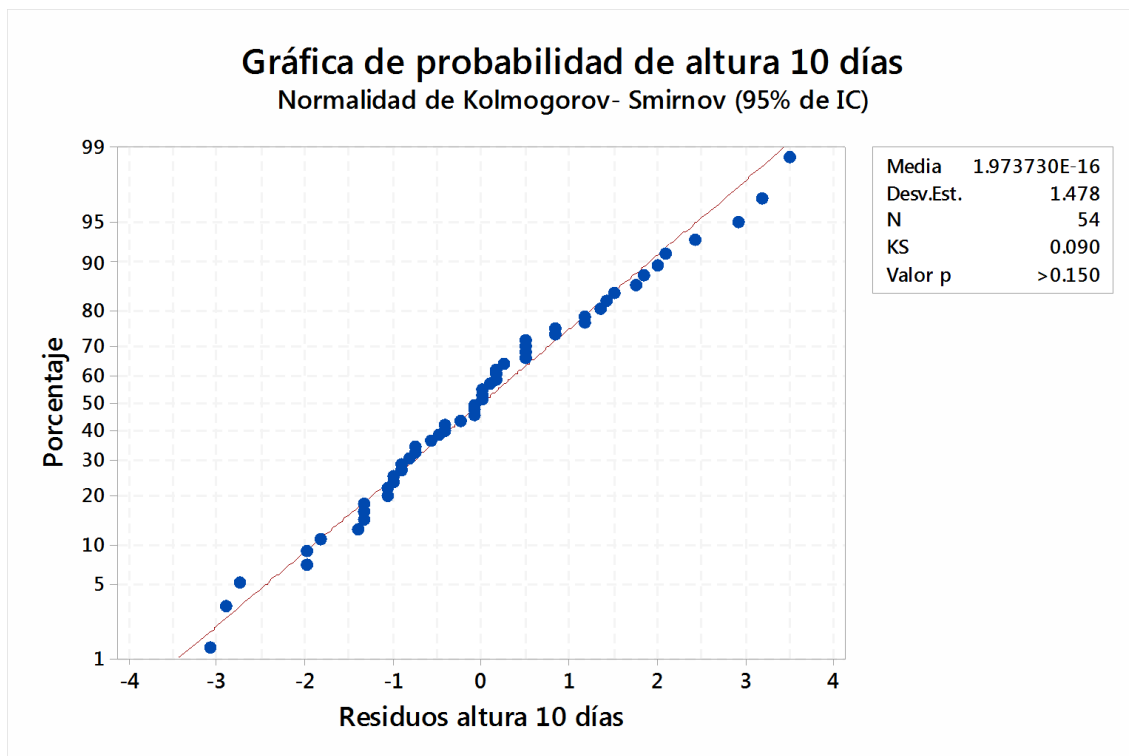
Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _C	P	Sign.	Decisión
Tratamientos	15	13910	927,36	70,07	<0,0001	**	Rechaza H ₀
Error	80	1059	13,23				
Total	95	14969					

ANEXO G

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 10 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

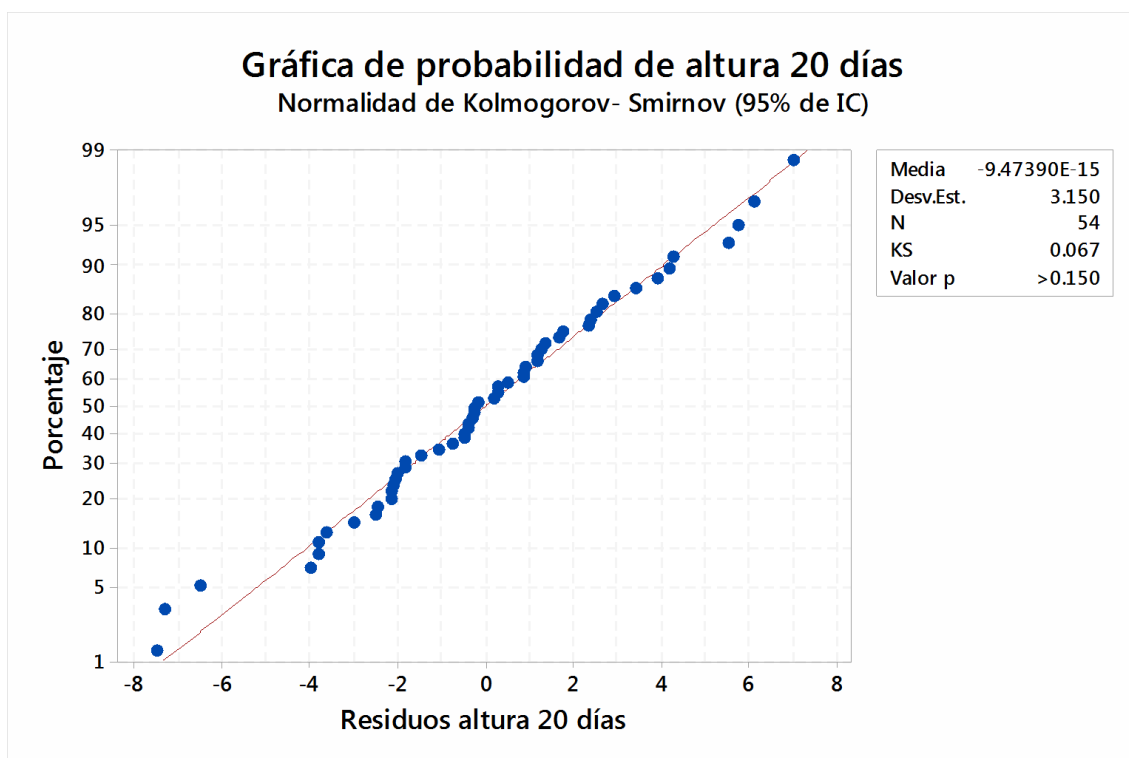
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,038
Levene	0,6	0,872

ANEXO H

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 20 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

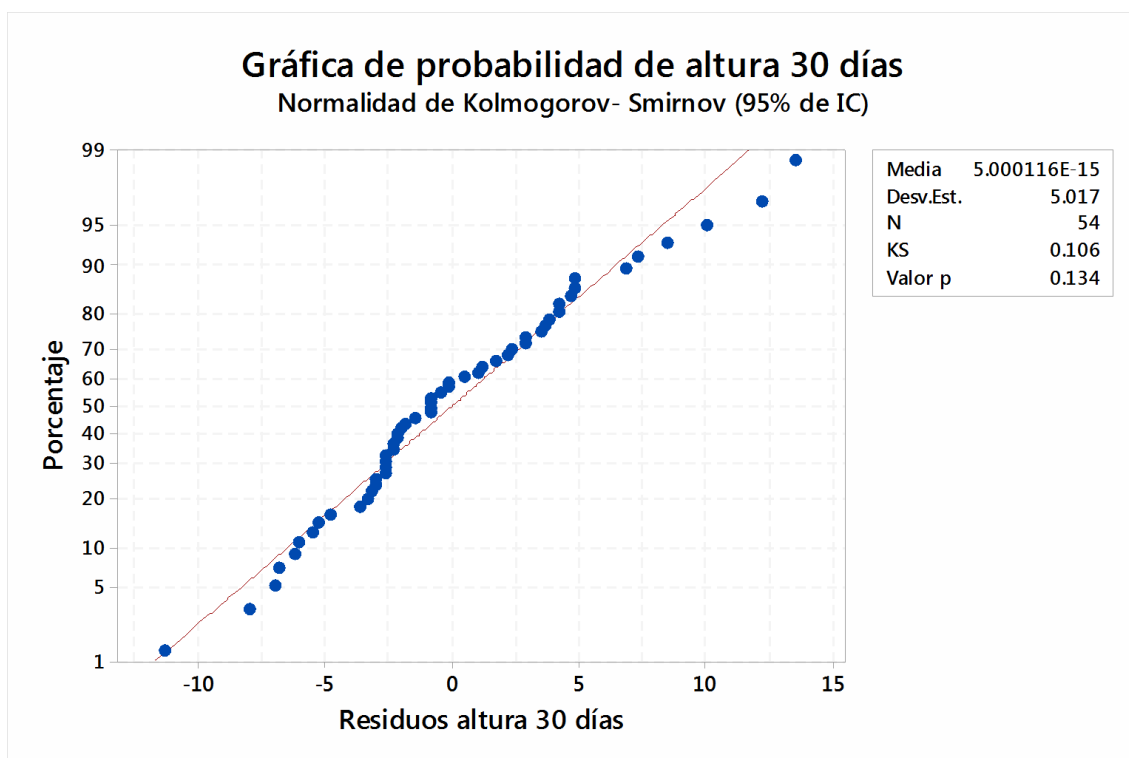
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,316
Levene	0,58	0,887

ANEXO I

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 30 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

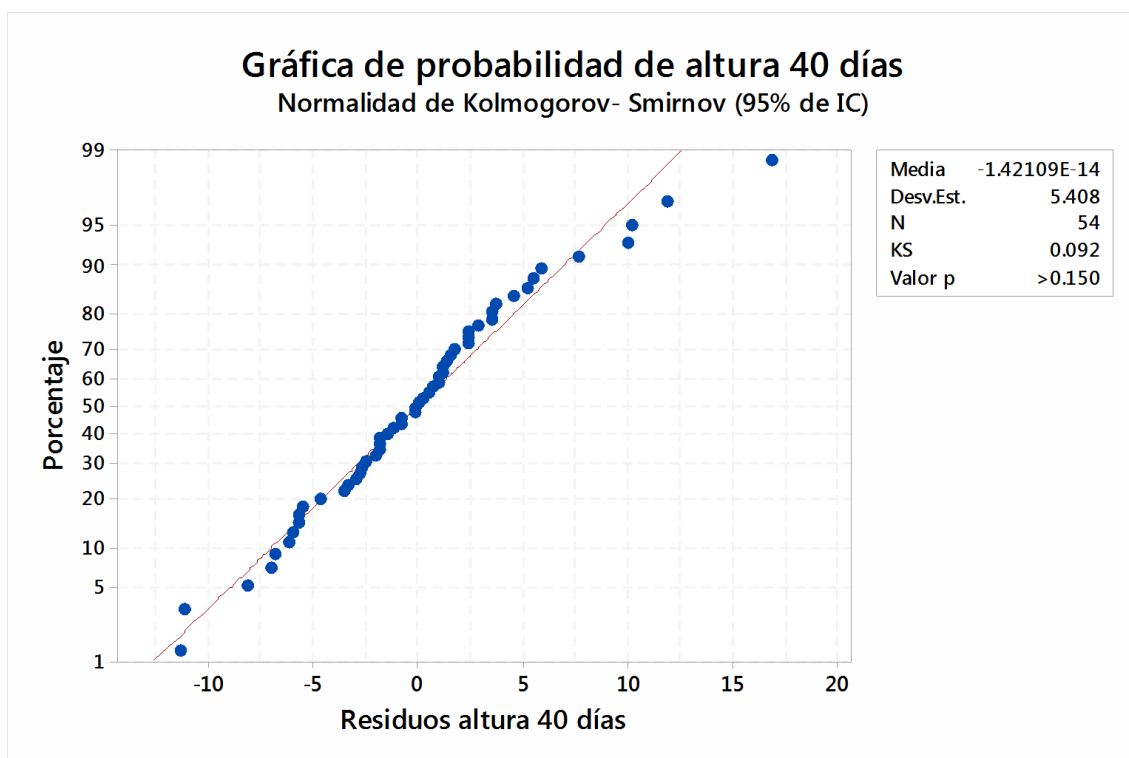
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,463
Levene	0,53	0,919

ANEXO J

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 40 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

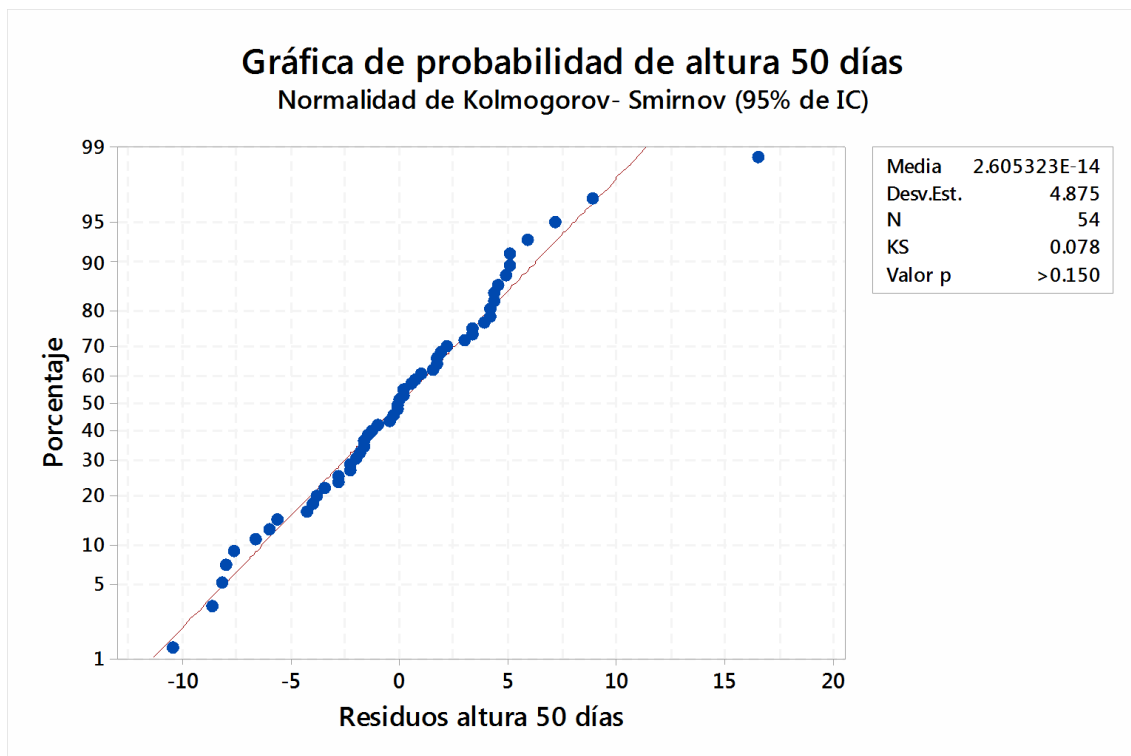
Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,243
Levene	0,68	0,803

ANEXO K

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 50 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

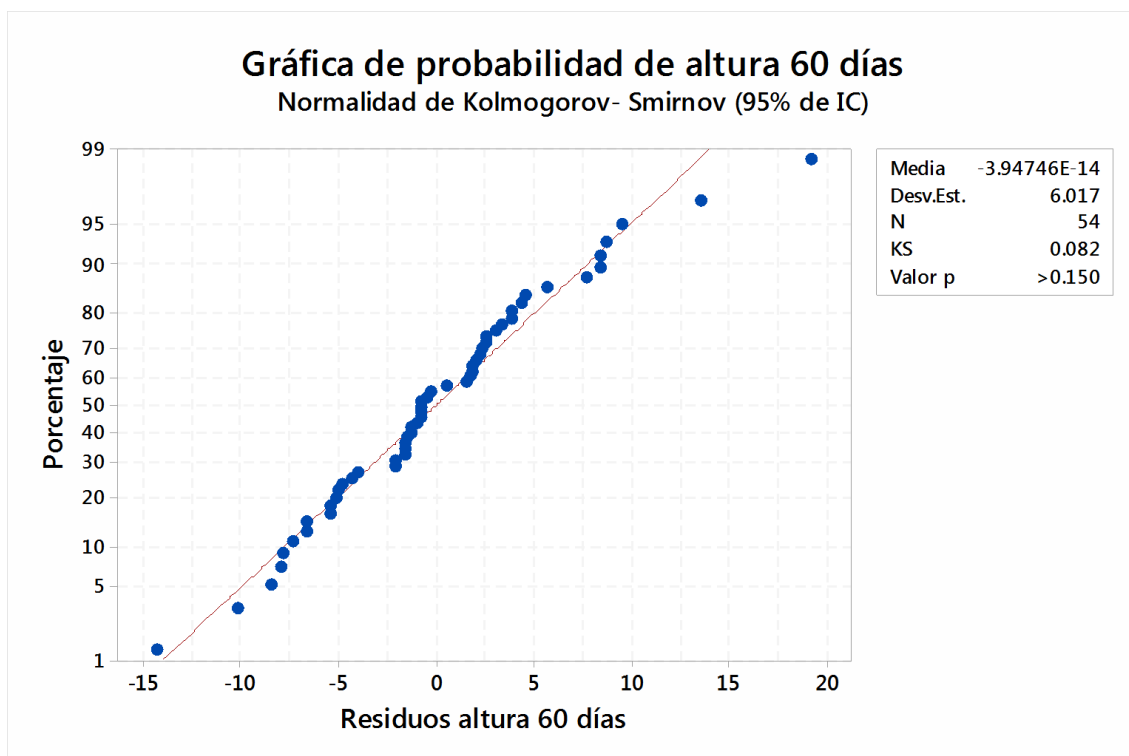
Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,003
Levene	0,58	0,884

ANEXO L

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 60 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

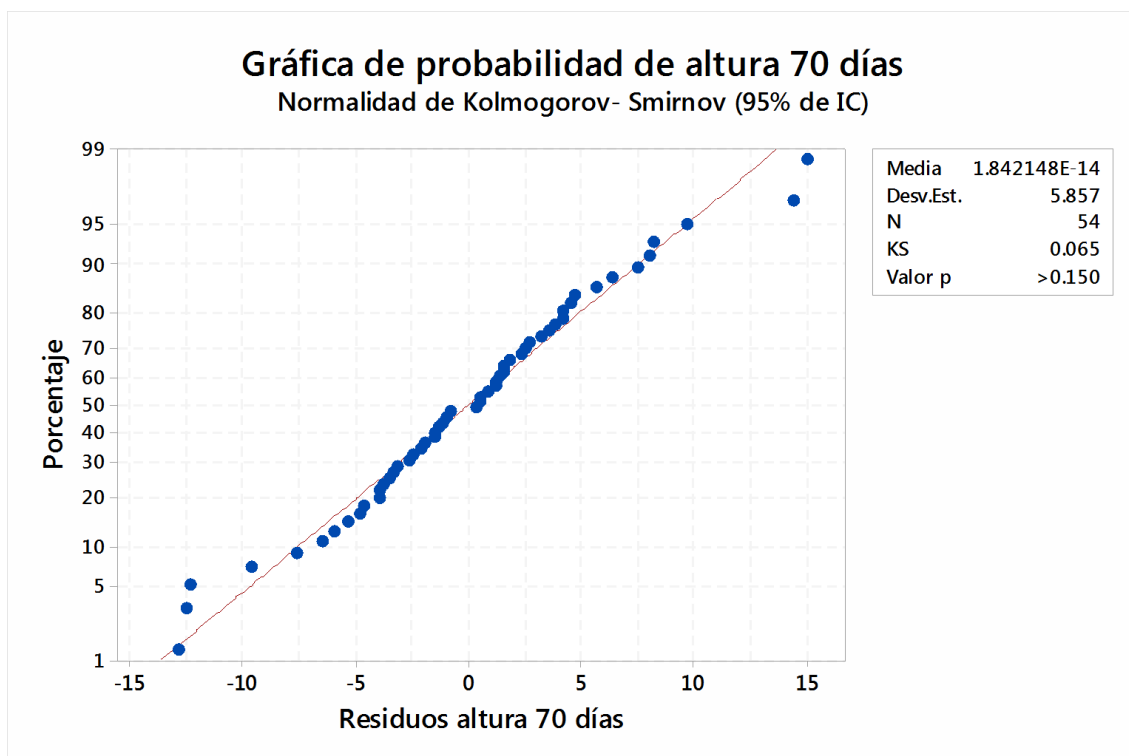
Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,268
Levene	0,74	0,742

ANEXO M

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 70 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

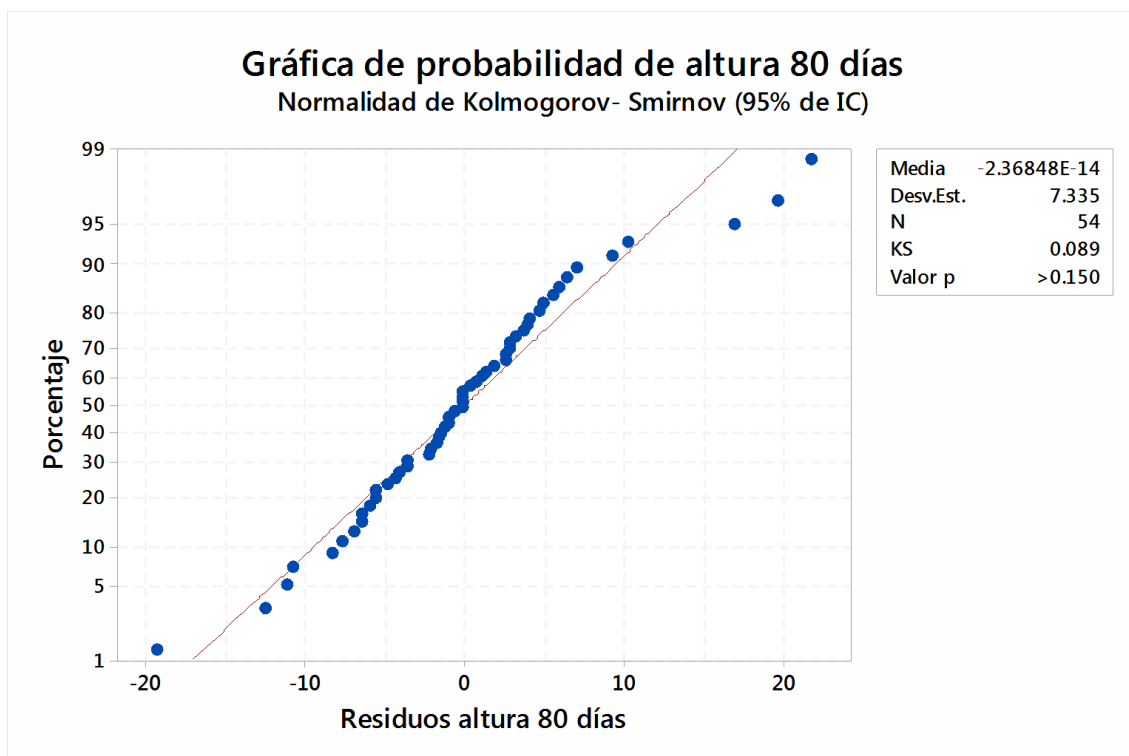
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,517
Levene	0,7	0,785

ANEXO N

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la altura de *Zea mays* L. 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

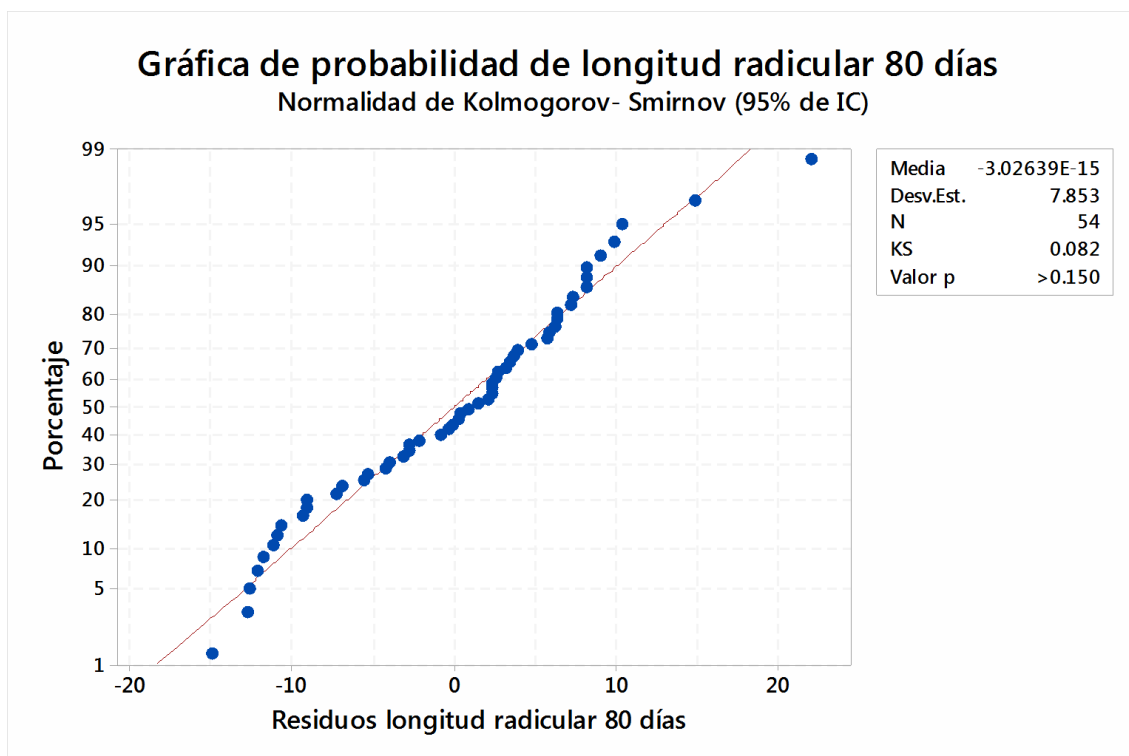
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,001
Levene	0,88	0,601

ANEXO Ñ

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la longitud radicular de *Zea mays* L. 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp. con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

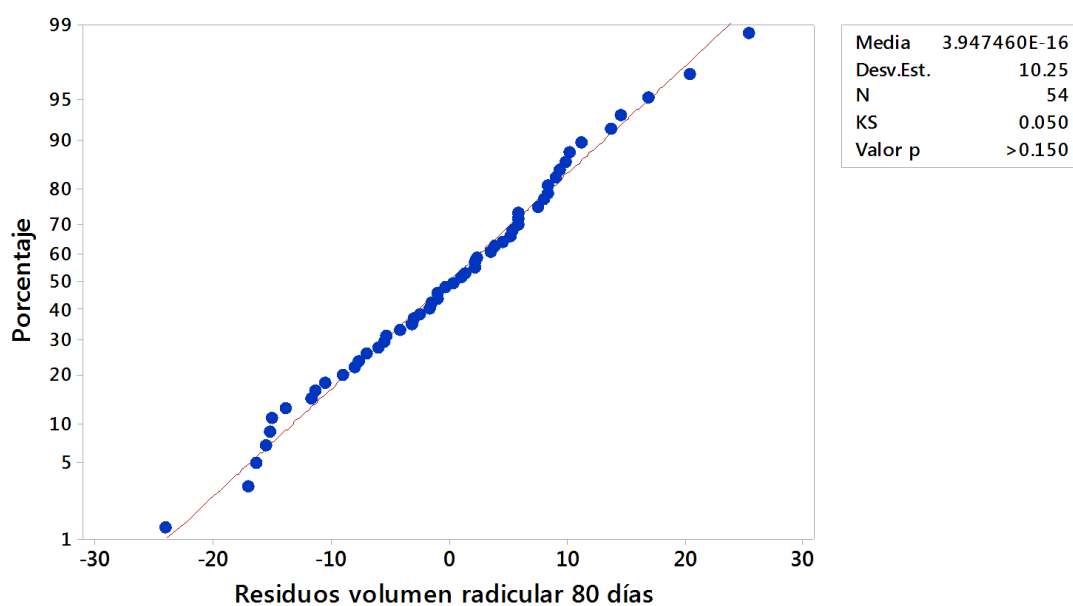
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,481
Levene	0,41	0,974

ANEXO O

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para el volumen radicular de *Zea mays* L., 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp, con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad

Gráfica de probabilidad de volumen radicular 80 días
Normalidad de Kolmogorov- Smirnov (95% de IC)



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

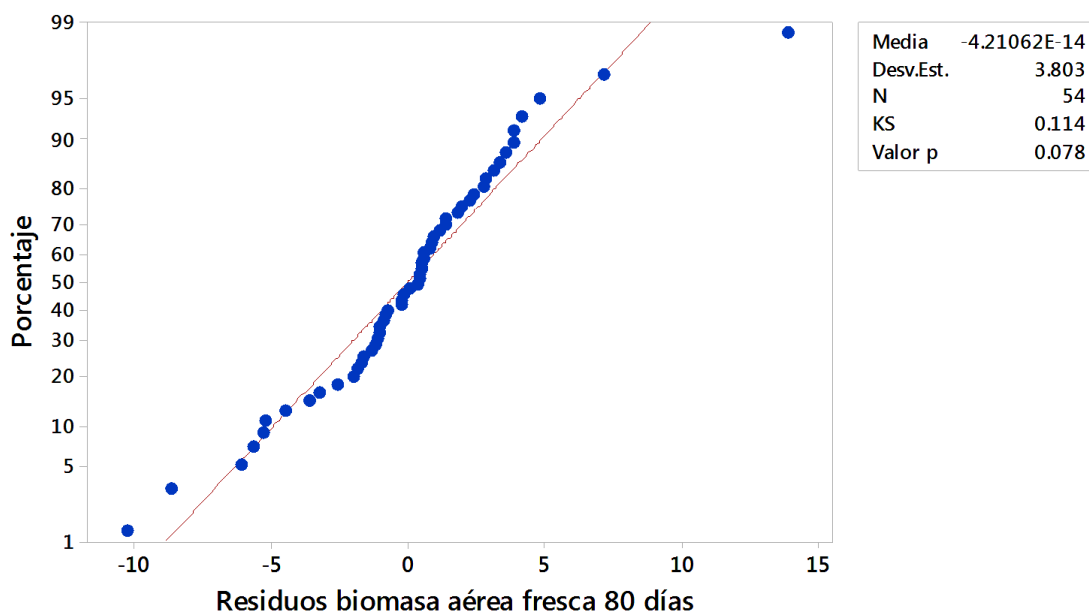
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,153
Levene	0,51	0,93

ANEXO P

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea fresca de *Zea mays* L., 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp, con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad

Gráfica de probabilidad de biomasa aérea fresca 80 días
Normalidad de Kolmogorov- Smirnov (95% de IC)



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

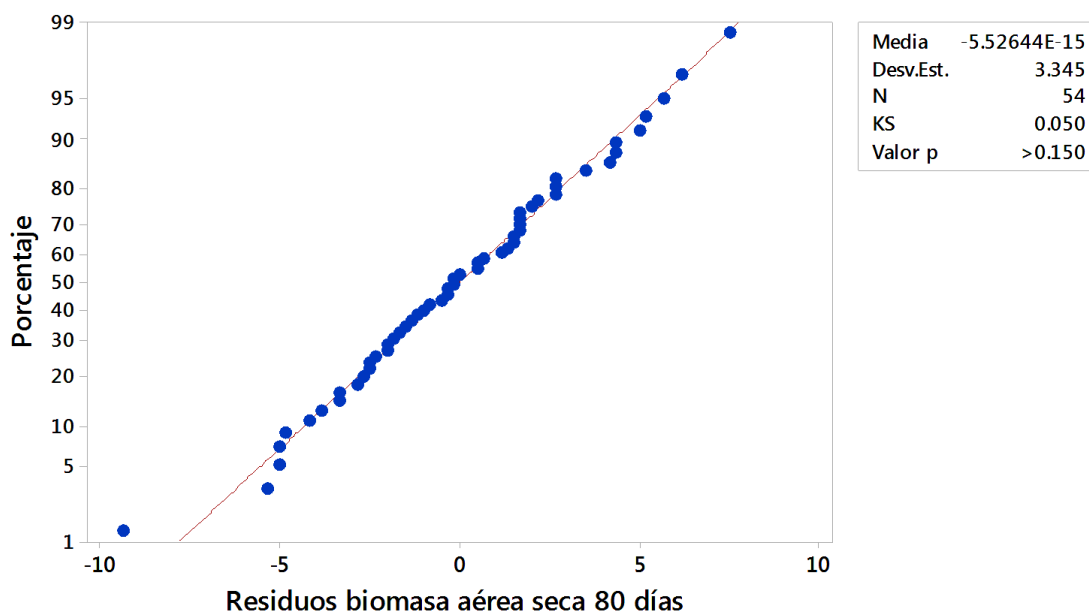
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.109
Levene	0.94	0.542

ANEXO Q

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea seca de *Zea mays* L., 80 días después de la aplicación de *Pseudomonas* spp, con diferentes dosis de fertilizante químico

Prueba de normalidad

Gráfica de probabilidad de biomasa aérea seca 80 días
Normalidad de Kolmogorov- Smirnov (95% de IC)



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: *Todas las varianzas son iguales*

Hipótesis alterna: *Por lo menos una varianza es diferente*

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.685
Levene	0.40	0.975