UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOL ELABORADO A BASE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y DESECHOS DE CAMAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL SUELO SALINO DE LA YARADA – LOS PALOS

TESIS

Presentada por:

Bach. Bruno Fabricio Mejia Paco

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOL ELABORADO A BASE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y DESECHOS DE CAMAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL SUELO SALINO DE LA YARADA – LOS PALOS

SUSTENTADA Y APROBADA EL 15 DE ENERO DEL 2026, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: .....
Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO: .....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL: .....
MSc. Geovanna Mery Machaca Rojas

ASESOR: .....
MSc. Geovanna Mery Machaca Rojas

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, MSc Geovanna Mery Machaca Rojas, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 8923-2024-FCAG de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOL ELABORADO A BASE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y DESECHOS DE CAMAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL SUELO SALINO DE LA YARADA – LOS PALOS". Presentada por el Bachiller Bruno Fabricio Mejia Paco, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con in nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 7 %. Por lo que, CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguiente la publicación en el repositorio institucional.



FIRMA ASESOR
Nombres y Apellido
DNI

GEOVANNA MERY MACHACA ROJAS
00497275



FIRMA TESISTA
Nombres y Apellidos
DNI

BRUNO MEJIA PACO
71230900

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi cimiento y mi motor. Por cada sacrificio silencioso, cada palabra de aliento en los momentos de duda y por haberme enseñado, con su ejemplo, el valor de la perseverancia y la humildad. Esta tesis es el fruto de su amor y esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora.

A mi familia, por su apoyo incondicional y paciencia durante estos años.

A los profesores y compañeros del ESAM.

A todos aquellos que, de una forma u otra, fueron parte de este logro.

ÍNDICE

Pag.

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTOS v

RESUMEN xxi

ABSTRACT xxii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 5

1.1 Planteamiento del problema 5
1.2 Formulación del problema 8
1.2.1 Formulación del problema general 8
1.2.2 Formulación de los problemas específicos 8
1.3 Delimitación de la investigación 9
1.3.1 Delimitación temporal 9
1.3.2 Delimitación espacial 10
1.4 Justificación de la investigación 11
1.4.1 Justificación ambiental 11
1.4.2 Justificación económica 12
1.4.3 Justificación social 14
1.5 Limitaciones 15

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS 17

2.1 Objetivos 17

Pag.

2.1.1 Objetivo general 17
2.1.2 Objetivos específicos 17
2.2 Hipótesis 18
2.2.1 Hipótesis general 18
2.2.2 Hipótesis específicas 18
2.3 Variables 19
2.3.1 Variable independiente 19
2.3.2 Variable dependiente 19
2.3.3 Operacionalización de variables 19

CAPÍTULO III : MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL……21

3.1 Antecedentes bibliográficos 21
3.1.1 Antecedentes internacionales 21
3.1.2 Antecedentes nacionales 25
3.1.3 Antecedentes locales 28
3.2 Bases teóricas 30
3.2.1 Biol……30
3.2.1.1 El biol como abono……31
3.2.1.2 Principios y calidad del biol……...35
3.2.1.3 Elaboración del biol……...36
3.2.1.4 Ventajas del biol……...40
3.2.2.2 Desventajas del biol……40
3.2.2 Suelos salinos y salino – sódicos……..41
3.2.2.1 Efectos de la salinidad y sodicidad en propiedades del suelo……43
3.2.2.2 Efectos de la salinidad y sodicidad y en el crecimiento vegetal……..44

Pag.

3.2.3 Buenas prácticas agrícolas 45
3.2.3.1 Riego..... 46
3.3 Definición de términos..... 47
3.3.1 Biol 47
3.3.2 Biol frutado o de frutas 47
3.3.3 Biol de sangre o de desechos de camal 48
3.3.4 Suelo salino 48
3.3.5 Suelo salino - sódico 48
3.3.6 Conductividad eléctrica 49
3.3.7 Materia orgánica del suelo 49
3.3.8 Compost o abono..... 49
3.3.9 Índice de germinación 50
3.3.10 Fitotoxicidad..... 50

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN…….51

4.1 Tipo y diseño de investigación 51
4.1.1. Tipo de investigación 51
4.1.2. Nivel de investigación 51
4.1.3 Diseño de investigación 51
4.2 Población y muestra..... 53
4.2.1 Población 53
4.2.2 Muestra 53
4.2.3 Muestreo 55
4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información..... 56

Pag.

4.3.1 Características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre) en contraste con las de un abono natural (estiércol) 58
4.3.1.1 Elaboración del biol frutado 58
4.3.1.2 Elaboración del biol de sangre 60
4.3.1.3 Caracterización fisicoquímica de los bioles y del abono orgánico de referencia 62
4.3.2 Efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos 64
4.3.2.1 Caracterización inicial y final del suelo 64
4.3.2.2 Caracterización del agua de riego 67
4.3.2.3 Aplicación de tratamientos al suelo 69
4.3.2.4 Evaluación del lixiviado por lavado con agua destilada 69
4.3.3 Germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) 70
4.3.3.1 Bioensayo de índice de germinación con lixiviados 70
4.3.3.2 Germinación directa y brotamiento en macetas 71
4.4 Materiales y equipos 72
4.5 Análisis estadístico 72

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 74

5.1 Resultados 74

Pag.

5.1.1 Características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre) en contraste con las de un abono natural (estiércol) 74
5.1.1.1 Humedad 74
5.1.1.2 Relación C: N 75
5.1.1.3 pH 75
5.1.1.4 Conductividad eléctrica 76
5.1.1.5 Contenido de materia orgánica 76
5.1.1.6 Nitrógeno total 77
5.1.1.7 Fósforo total 78
5.1.1.8 Zinc 78
5.1.1.9 Magnesio 79
5.1.1.10 Calcio 80
5.1.1.11 Hierro 80
5.1.1.12 Potasio 81
5.1.1.13 Cobre 82
5.1.1.14 Manganeso 82
5.1.1.15 Comparación de medias 83
5.1.2 Efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos 86
5.1.2.1 pH 90
5.1.2.2 Conductividad 92
5.1.2.3 Materia orgánica 93
5.1.2.4 Nitrógeno total 95

Pag.

5.1.2.5 Fósforo 97
5.1.2.6 Potasio 99
5.1.2.7 Magnesio 100
5.1.2.8 Calcio 102
5.1.2.9 Sodio 104
5.1.2.10 pH del lixiviado 105
5.1.2.11 Conductividad eléctrica del lixiviado 107
5.1.3 Germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) 109
5.1.3.1 Índice de germinación en placas Petri 109
5.1.3.2 Brotamiento en sustrato 111
5.2 Discusión de resultados 113
5.2.1 Discusión del análisis de las características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de frutas) y desechos de camal (biol de sangre) con las de un abono natural (estiércol) 113
5.2.2 Discusión del análisis del efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos 118
5.2.3 Discusión de la evaluación de la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de frutas y biol de sangre) 126

CONCLUSIONES 132

Pag.

RECOMENDACIONES 135

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 137

ANEXOS 149

ÍNDICE DE TABLAS

Pag.

Tabla 1. Operacionalización de las variables 20

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el ensayo experimental 52

Tabla 3. Elementos utilizados para la elaboración de cada biol 61

Tabla 4. ANOVA de la humedad por tipo de enmienda 74

Tabla 5. ANOVA de la relación C: N del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 75

Tabla 6. ANOVA del pH del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 75

Tabla 7. ANOVA de la conductividad eléctrica (CE) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 76

Tabla 8. ANOVA del contenido de materia orgánica del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 77

Tabla 9. ANOVA del contenido de nitrógeno total del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 77

Tabla 10. ANOVA del contenido de fósforo (P) total del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 78

Tabla 11. ANOVA del contenido de zinc (Zn) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 79

Pag.

Tabla 12. ANOVA del contenido de magnesio (Mg) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 79
Tabla 13. ANOVA del contenido de calcio (Ca) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 80
Tabla 14. ANOVA del contenido de hierro (Fe) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 81
Tabla 15. ANOVA del contenido de potasio (K) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 81
Tabla 16. ANOVA del contenido de cobre (Cu) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 82
Tabla 17. ANOVA del contenido de manganeso (Mn) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono 83
Tabla 18. Resultados del análisis del biol frutado (BFRU) y biol de sangre (BSAN) Tipo de enmienda 84
Tabla 19. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo salino de La Yarada – Los Palos 86
Tabla 20. Resultados del análisis del agua de riego (pozo de la UNJBG sede Pichones) 89
Tabla 21. ANOVA del pH final del suelo según tratamiento 90

Pag.

Tabla 22. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al pH final del suelo según el tratamiento 91
Tabla 23. ANOVA de la conductividad final (CE) del suelo según tratamiento 92
Tabla 24. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto a la CE final del suelo según el tratamiento 92
Tabla 25. ANOVA del contenido de materia orgánica (MO) final del suelo según tratamiento 93
Tabla 26. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de materia orgánica final del suelo según tratamiento 94
Tabla 27. ANOVA del contenido de N total final del suelo según tratamiento 95
Tabla 28. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de N total final del suelo según tratamiento 96
Tabla 29. ANOVA del contenido de P disponible final del suelo según tratamiento 97

Pag.

Tabla 30. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de P disponible final del suelo según tratamiento 98
Tabla 31. ANOVA del contenido K disponible final del suelo según tratamiento 99
Tabla 32. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de K final del suelo según tratamiento 99
Tabla 33. ANOVA del contenido de Mg intercambiable final del suelo según tratamiento 100
Tabla 34. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Mg intercambiable final del suelo según tratamiento 101
Tabla 35. ANOVA del contenido de Ca intercambiable final del suelo según tratamiento 102
Tabla 36. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Ca intercambiable final del suelo según tratamiento 103
Tabla 37. ANOVA del contenido de Na intercambiable final del suelo según tratamiento 104

Pag.

Tabla 38. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Na intercambiable final del suelo según tratamiento 104
Tabla 39. Análisis de varianza del pH del agua de lavado de l as macetas por tratamiento del suelo 106
Tabla 40. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al pH del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo 106
Tabla 41. Análisis de varianza de la CE del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo 107
Tabla 42. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto a la CE del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo 108
Tabla 43. ANOVA del índice de germinación de (*Lactuca sativa* L.) en placas Petri por tratamiento 110
Tabla 44. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al índice de germinación de (*Lactuca sativa* L.) en placas Petri por tratamiento 110
Tabla 45. ANOVA del brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) por tratamiento 111

Pag.

Tabla 46. Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) por tratamiento 112
Tabla 47. Resultados de los tratamientos 169
Tabla 48. Resultados de los tratamientos 170
Tabla 49. Resultado del lavado de las macetas con agua destilada 171
Tabla 50. Resultados de los tratamientos 171
Tabla 51. Resultados del crecimiento de lechuga en placa Petri usando agua del lixiviado de los tratamientos 172
Tabla 52. Resultados de la lechuga en las macetas de los tratamientos 173
Tabla 53. Resultados del brotamiento de la lechuga en el sustrato de los tratamientos 173

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1. Ubicación del lugar de muestreo – La Yarada - Los Palos 54

Figura 2. Esquema del flujo de trabajo de la experimentación 57

Figura 3. Mezclas homogenizadas para el biol frutado..... 58

Figura 4. Trampa de aire casera utilizada durante la elaboración del biol frutado..... 59

ÍNDICE DE ANEXOS

Pag.

Anexo 1. Matriz de consistencia 150

Anexo 2. Resultados de análisis de laboratorio 152

Anexo 3. Panel fotográfico 164

Anexo 4. Tablas de datos de la experimentación 169

Anexo 5. Gráficas de los resultados de la experimentación 174

RESUMEN

La salinización del suelo constituye una limitación para la sostenibilidad agrícola en zonas áridas como La Yarada–Los Palos, por lo que se requiere evaluar alternativas orgánicas de manejo. En este contexto, la investigación evaluó la aplicación de biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal en un suelo salino de La Yarada–Los Palos. Se aplicó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y dos repeticiones, considerando biol frutado y biol de sangre al 5 % y 10 %, con y sin compost. Se analizaron las características fisicoquímicas de los bioles, las propiedades finales del suelo, el lixiviado y la respuesta biológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante índice de germinación y brotamiento. El biol de sangre presentó mayor materia orgánica (190,8 g/kg) y nitrógeno total (2,58 %) que el biol frutado, aunque también mayor conductividad eléctrica. En el suelo tratado, la conductividad eléctrica disminuyó de 7,80 ± 0,07 mS/cm en el testigo a 5,50 ± 0,07 mS/cm con 10 % de biol de sangre + compost. Este mismo tratamiento alcanzó los mayores valores de materia orgánica (8,63 ± 0,26 g/kg), fósforo disponible (711,29 ± 45,72 mg/kg), magnesio (8,72 ± 0,39 cmol (+) /kg), calcio (84,69 ± 1,66 cmol (+) /kg), índice de germinación (88,00 ± 1,41 %) y brotamiento (49,00 ± 1,41 %). Se concluyó que la aplicación combinada de biol y compost mejoró parcialmente las propiedades fisicoquímicas y la respuesta biológica del suelo salino, destacando el tratamiento con 10 % de biol de sangre + compost.

Palabras clave: Biol; residuos orgánicos; desechos de camal; suelo salino; compost; *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

Soil salinization limits agricultural sustainability in arid areas such as La Yarada–Los Palos; therefore, organic management alternatives require evaluation. In this context, this research evaluated the application of biol produced from organic residues and slaughterhouse waste in a saline soil from La Yarada–Los Palos. A completely randomized design was applied with nine treatments and two replications, considering fruit-based biol and blood-based biol at 5 % and 10 %, with and without compost. The physicochemical characteristics of the biols, final soil properties, leachate, and the biological response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) were evaluated through germination index and sprouting. Blood-based biol showed higher organic matter (190,8 g/kg) and total nitrogen (2,58 %) than fruit-based biol, although it also presented higher electrical conductivity. In the treated soil, electrical conductivity decreased from 7,80 ± 0,07 mS/cm in the control to 5,50 ± 0,07 mS/cm with 10 % blood-based biol + compost. The same treatment reached the highest values of organic matter (8,63 ± 0,26 g/kg), available phosphorus (711,29 ± 45,72 mg/kg), magnesium (8,72 ± 0,39 cmol(+)/kg), calcium (84.69 ± 1.66 cmol(+)/kg), germination index (88,00 ± 1,41 %), and sprouting (49,00 ± 1,41 %). It was concluded that the combined application of biol and compost improved the physicochemical properties and biological response of the saline soil, with the 10 % blood-based biol + compost treatment showing the most favorable response.

Keywords: biol; organic residues; slaughterhouse waste; saline soil; compost; *Lactuca sativa* L.

INTRODUCCIÓN

La salinización del suelo constituye un proceso de degradación que afecta la funcionalidad física, química y biológica del sistema edáfico, principalmente en regiones áridas, semiáridas y zonas agrícolas bajo riego (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

A escala mundial, los suelos afectados por sales representan una limitación importante para la producción agrícola, debido a que la acumulación de sales solubles incrementa la presión osmótica de la solución del suelo y reduce la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes (Food and Agriculture Organization of the United Nations & Intergovernmental Technical Panel on Soils [FAO & ITPS], 2025; Munns & Tester, 2008). Este problema se intensifica cuando el riego no es acompañado por drenaje suficiente, manejo adecuado de láminas de lavado y control de la calidad del agua utilizada (Abrol et al., 1988).

El efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetal se explica por dos mecanismos principales: el estrés osmótico y la toxicidad iónica. El estrés osmótico reduce la disponibilidad fisiológica de agua, mientras que la acumulación de iones como sodio y cloruro genera desequilibrios

nutricionales y alteraciones en procesos metabólicos de las plantas (Munns & Tester, 2008). En suelos con componente sódico, el problema se agrava por la dispersión de arcillas, la disminución de la infiltración, el encostramiento superficial y la pérdida de estabilidad estructural, factores que limitan la aireación, la emergencia de plántulas y el crecimiento radicular (Richards, 1954).

En el Perú, la salinidad del suelo constituye una limitación recurrente en la costa árida, donde la agricultura depende en gran medida del riego y de la disponibilidad de agua subterránea (FAO & ITPS, 2025). En el caso de Tacna, el distrito de La Yarada–Los Palos presenta condiciones edafoclimáticas que favorecieron la acumulación de sales, debido a su ubicación en una planicie costera árida, la limitada disponibilidad de precipitación, la elevada evaporación y el uso intensivo de aguas subterráneas para riego (Santana & Turpo, 2021). En esta zona, la intrusión marina y la sobreexplotación del acuífero son señaladas como procesos asociados al incremento de la salinidad del agua y del suelo, lo que afecta la sostenibilidad de la actividad agrícola local.

Las enmiendas orgánicas son estudiadas como alternativas para mejorar suelos afectados por sales, debido a que aportaron materia

orgánica, incrementaron la capacidad de intercambio catiónico, favorecieron la agregación del suelo y contribuyeron a mejorar la dinámica de agua y nutrientes (Bot & Benites, 2005; FAO, 2017). En suelos salinos, estos materiales pueden favorecer el desplazamiento y lavado de sales cuando se combinaron con un manejo adecuado del riego y del drenaje, aunque su efecto depende de la composición del insumo, dosis, estabilidad, salinidad propia y condiciones edáficas del sitio (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

En ese contexto, la investigación tiene por objetivo evaluar la aplicación de biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal para el mejoramiento de un suelo salino procedente de La Yarada–Los Palos. El estudio compara las características fisicoquímicas del biol de fruta y del biol de sangre frente a un abono natural, que posteriormente fue usado como tratamiento en el suelo salino para analizar los cambios en propiedades del suelo como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nutrientes y cationes intercambiables, y finalmente evaluar la respuesta biológica mediante germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). De esta manera, el trabajo aborda simultáneamente dos problemas ambientales: la degradación de suelos agrícolas por salinidad y

la limitada valorización de residuos orgánicos y subproductos de camal en la región Tacna.

La presente investigación se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I plantea el problema (descripción, formulación, justificación, importancia, alcances y limitaciones). El Capítulo II establece objetivos, hipótesis y variables. El Capítulo III reúne antecedentes, bases teóricas y definiciones clave. El Capítulo IV describe la metodología (tipo y diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos, y análisis de datos). El Capítulo V presenta resultados y discusión; posteriormente, se consignan conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la costa peruana, la salinización se presenta como una restricción asociada al clima árido, al uso intensivo de riego, a la limitada disponibilidad de drenaje y a la presión sobre fuentes hídricas superficiales y subterráneas (Abrol et al., 1988; FAO & ITPS, 2025). En áreas agrícolas costeras, la intrusión marina y la sobreexplotación de acuíferos incrementaron el riesgo de salinización del agua de riego y del suelo, debido a la mezcla progresiva de aguas dulces con aguas de mayor concentración salina (Shahid et al., 2018). Esta condición resulta particularmente relevante en territorios donde la agricultura dependió de acuíferos costeros y donde la reposición hídrica natural es limitada.

El distrito de La Yarada–Los Palos, ubicado en la provincia de Tacna, presenta condiciones favorables para la acumulación de sales en el suelo por su localización costera, clima árido, elevada evaporación y dependencia del agua subterránea para riego (Santana & Turpo, 2021). La actividad agrícola de la zona se desarrolla en un contexto de presión sobre el acuífero, lo que favorece procesos de intrusión marina y deterioro de la calidad del agua utilizada en riego. En consecuencia, la salinidad edáfica

representa una limitación para el mantenimiento de la productividad agrícola y para la sostenibilidad del manejo del suelo en este sector.

Frente a esta problemática, las enmiendas orgánicas son consideradas como una alternativa para mejorar las propiedades de suelos afectados por sales, debido a que aportan carbono orgánico, favorecieron la actividad microbiana, incrementaron la retención de agua y contribuyeron a la estabilidad de agregados (Bot & Benites, 2005; FAO, 2017). Sin embargo, su eficacia no depende únicamente del aporte de materia orgánica, sino también de la composición química del insumo, su conductividad eléctrica, su grado de estabilización, la dosis aplicada y la capacidad del sistema para movilizar o lavar las sales desplazadas (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018). Por ello, todo insumo orgánico aplicado en suelos salinos requiere evaluación previa para evitar efectos contrarios, como el incremento de sales solubles o la generación de fitotoxicidad en etapas tempranas del cultivo (Ayers & Westcot, 1985; Ramírez et al., 2023).

En Tacna, el uso de enmiendas orgánicas en suelos salinos ya había mostrado resultados de interés. Santana & Turpo (2021) reportaron que la aplicación de vermicompost elaborado a partir de residuos industriales del

olivo redujo la conductividad eléctrica de un suelo salino de La Yarada–Los Palos y mejoró atributos químicos vinculados con la fertilidad. De manera complementaria, Aimituma-Franco et al. (2023) evidenciaron que las enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno modificaron propiedades químicas de suelos salinos en Cusco, incluyendo pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable y disponibilidad de macronutrientes. Estos antecedentes indicaron que los residuos orgánicos pudieron actuar como insumos para la recuperación edáfica, aunque sus efectos fueron dependientes del tipo de material y de las condiciones locales de aplicación.

Paralelamente, la gestión de residuos orgánicos y desechos de camal constituye otro problema ambiental asociado a la generación de subproductos biodegradables con alta carga orgánica (Abanto & Ricopa, 2021; Samaniego-Vivanco et al., 2024). La sangre, el contenido ruminal, el estiércol y otros residuos del faenado presentan potencial contaminante cuando no son tratados adecuadamente, pero también constituyen fuentes de nutrientes y materia orgánica aprovechables mediante procesos de fermentación o digestión anaeróbica (Abanto & Ricopa, 2021; Samaniego-Vivanco et al., 2024). En ese sentido, la producción de biol a partir de

residuos orgánicos y desechos de camal permite plantear una alternativa de valorización.

En este contexto, el problema central de la investigación se sustentó en la necesidad de determinar si la aplicación de biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal generó cambios favorables en las propiedades de un suelo salino de La Yarada–Los Palos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿En qué medida la aplicación de bioles elaborados a partir de residuos orgánicos y de desechos de camal se asocia con cambios en las propiedades del suelo salino de La Yarada–Los Palos?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

¿Qué similitudes y diferencias presentan las características fisicoquímicas del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) con un abono natural (estiércol)?

¿Cómo varían las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada–Los Palos tras la aplicación del biol a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre)?

¿Qué cambios se observan en la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.*)* en el suelo salino tratado con biol a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre)?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

La fase experimental de la investigación se estructuró en tres etapas:

- Etapa I – Elaboración y maduración del biol (90 días): Formulación del biol a partir de residuos orgánicos del Mercado Grau de Tacna y subproductos frescos de camal (sangre y estiércol del Camal Municipal de Tacna). La fermentación se condujo hasta la desaparición de indicios de producción de metano (90 días aproximadamente), tras lo cual el biol fue caracterizado.
- Etapa II – Muestreo, acondicionamiento y características fisicoquímicas del suelo: Muestreo de 25 kg de suelo salino en el sector de La Yarada – Los Palos, homogenización y cuarteo para conformar las unidades experimentales y las sub-muestras de laboratorio.
- Etapa III – Ensayo en invernadero y seguimiento: Aplicación de tratamientos con biol en condiciones de invernadero casero y seguimiento periódico de las propiedades del suelo.

1.3.2 Delimitación espacial

La investigación se circunscribió a los siguientes ámbitos y dependencias:

- Elaboración del biol: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG, Tacna, Perú), donde se preparó y maduró el biol.
- Origen de insumos orgánicos: Residuos de frutas del Mercado Grau de Tacna (fracción orgánica); los residuos de sangre y estiércol frescos provenientes del Camal Municipal de Tacna.
- Tratamientos y manejo del cultivo: Invernadero casero ubicado en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa (Tacna), donde se instalaron las unidades experimentales con suelo de La Yarada – Los Palos y se aplicaron los tratamientos con biol.
- Área de muestreo de suelo: Sector agrícola de La Yarada – Los Palos (Tacna), de donde se extrajeron 25 kg de suelo para su acondicionamiento, división por cuarteo y posterior uso experimental.
- Análisis de laboratorio:
    - Caracterización y seguimiento de parámetros (como pH y conductividad eléctrica): Laboratorio de Análisis de Agua de la ESAM–UNJBG.

- Ensayos del suelo: Laboratorio del INIA – Moquegua, a donde se remitieron las muestras para los análisis específicos.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación ambiental

La investigación se justificó ambientalmente porque abordó dos problemas relacionados con la gestión sostenible de los recursos naturales: la degradación de suelos agrícolas por salinidad y la limitada valorización de residuos orgánicos y subproductos de camal. La salinización del suelo constituye una forma de degradación edáfica asociada con la acumulación de sales solubles en la zona radicular, lo que reduce la disponibilidad fisiológica de agua para las plantas y altera procesos químicos, físicos y biológicos del suelo (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018). En zonas áridas y semiáridas, este proceso se intensifica por la baja precipitación, la elevada evapotranspiración, el riego con aguas de salinidad variable y la ausencia de drenaje suficiente para movilizar sales fuera del perfil agrícola (Abrol et al., 1988; FAO & ITPS, 2025).

El uso de biol y compost tuvo el propósito de contribuir a mejorar la calidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica, nutrientes y compuestos que favorecen la agregación, la capacidad de intercambio

catiónico y la retención de agua (Bot & Benites, 2005; FAO, 2024). En suelos salinos o salino-sódicos, la materia orgánica puede favorecer indirectamente el desplazamiento de sales y sodio cuando se combina con riego y drenaje adecuados, aunque su efecto depende de la composición del insumo, su conductividad eléctrica, dosis, estabilidad y grado de madurez (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

La elaboración de biol a partir de residuos de fruta y desechos de camal también tuvo relevancia ambiental porque permitió evaluar la valorización de materiales biodegradables que, sin manejo adecuado, pueden generar carga orgánica, olores, proliferación de vectores y contaminación de agua o suelo (Abanto & Ricopa, 2021; Samaniego-Vivanco et al., 2024). Los residuos de camal, como sangre y estiércol, contienen fracciones orgánicas y nutrientes que pueden ser aprovechados mediante procesos de fermentación anaeróbica, siempre que el producto final sea caracterizado y aplicado bajo criterios técnicos (Abanto & Ricopa, 2021; Ramírez et al., 2023).

1.4.2 Justificación económica

La investigación se justificó económicamente porque evaluó una alternativa de bajo costo potencial para el manejo de suelos salinos

mediante el aprovechamiento de residuos disponibles localmente. La salinidad del suelo reduce la capacidad productiva de los sistemas agrícolas al afectar la germinación, el crecimiento radicular, la absorción de agua y la disponibilidad de nutrientes, lo que puede traducirse en menor rendimiento y mayor gasto en prácticas de corrección edáfica (Ayers & Westcot, 1985; Munns & Tester, 2008). En zonas agrícolas como La Yarada–Los Palos, donde el suelo y el agua presentan restricciones asociadas a la salinidad, la búsqueda de alternativas de manejo resulta importante para reducir la dependencia de insumos externos y mejorar la eficiencia del uso de recursos locales.

El uso de residuos orgánicos de mercado y desechos de camal para elaborar biol representó una estrategia con potencial económico porque transforma materiales de bajo valor comercial o de disposición problemática en insumos con posible utilidad agrícola (Abanto & Ricopa, 2021; Samaniego-Vivanco et al., 2024). Esta valorización pudo reducir costos asociados al manejo de residuos y, al mismo tiempo, generar un bioinsumo líquido con nutrientes y materia orgánica aprovechables en el suelo (Ramírez et al., 2023).

El uso combinado de biol y compost también tuvo relevancia económica porque permitió evaluar si la mezcla de enmiendas líquidas y sólidas mejoraba la respuesta del suelo frente a la aplicación individual. Las enmiendas orgánicas sólidas, como compost o vermicompost, pueden mejorar la estructura del suelo, incrementar materia orgánica y favorecer la retención de nutrientes, mientras que los biofertilizantes líquidos pueden aportar nutrientes solubles de interacción más rápida (Bot & Benites, 2005; FAO, 2024; Ramírez et al., 2023). Evaluar esta combinación permitió generar información útil para definir tratamientos con mayor eficiencia técnica, reduciendo el riesgo de gastos innecesarios en aplicaciones que no produzcan mejoras medibles.

1.4.3 Justificación social

La investigación se justificó socialmente porque la salinización del suelo afecta una zona agrícola vinculada con el sustento económico de productores y familias que dependen de la actividad agraria en Tacna. La degradación de suelos por sales reduce la productividad agrícola, limita el establecimiento de cultivos y puede incrementar la vulnerabilidad de los sistemas productivos en zonas áridas (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018). En La Yarada–Los Palos, esta problemática adquiere relevancia social porque la agricultura local se desarrolla bajo condiciones de

restricción hídrica, uso de aguas subterráneas y riesgo de intrusión marina (Santana & Turpo, 2021).

El estudio estuvo orientado a encontrar una alternativa de manejo accesible basada en residuos orgánicos disponibles en el entorno urbano y agropecuario. La producción de biol a partir de residuos de fruta y desechos de camal puede adaptarse a escalas pequeñas o experimentales, siempre que se controle la fermentación, la higiene del proceso y la calidad del producto obtenido (Abanto & Ricopa, 2021; Ramírez et al., 2023). Este enfoque puede ser transferible a productores, estudiantes y actores locales interesados en prácticas de manejo orgánico, siempre que se acompañe de capacitación técnica y criterios de seguridad ambiental y sanitaria (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI], 2012; Samaniego-Vivanco et al., 2024).

1.5 Limitaciones

El estudio se realizó en una escala experimental controlada, maceta y con un solo lote de biol (50 L en balde). El punto de madurez del biol se definió por estabilización de pH y conductividad eléctrica, cese de metano e indicadores organolépticos (color/olor); sin embargo, no se efectuó caracterización microbiológica.

Los insumos recolectados se restringieron a desechos de frutas del Mercado Grau (35 kg) y subproductos bovinos frescos del camal (sangre 65 L y estiércol 35 kg), obtenidos en un solo día cada uno.

El ensayo se ejecutó en un invernadero casero en Gregorio Albarracín, con temperatura registrada mediante termómetro portátil; no se contó con registro continuo de humedad relativa ni radiación.

Aunque el agua de riego fue caracterizada, no se realizó balance salino porque el riego se controló para evitar escurrimientos excesivos durante todo el proceso del tratamiento; en consecuencia, la atribución precisa de cambios en la salinidad del suelo al efecto del biol frente a un lavado de sales total queda parcialmente acotada.

Finalmente, la respuesta biológica se evaluó mediante índice de germinación de lechuga tanto en extracto acuoso como en suelo, enfoque adecuado para fitocompatibilidad temprana, pero no equivalente a métricas productivas o de tolerancia salina en cultivos comerciales.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación del biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal en el suelo salino de La Yarada – Los Palos.

2.1.2 Objetivos específicos

Analizar y contrastar las características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre) con las de un abono natural (estiércol).

Analizar el efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos.

Evaluar la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre).

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Si se evalúa la aplicación del biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal entonces se mejora el suelo salino de La Yarada – Los Palos.

2.2.2 Hipótesis específicas

El biol elaborado a partir de residuos orgánicos (biol de fruta) y de desechos de camal (biol de sangre) difieren en sus características fisicoquímicas medidas en comparación a un abono natural (estiércol) como biofertilizante.

La aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) tiene efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos.

La aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) mejora la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino de La Yarada – Los Palos.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

En el presente proyecto de investigación se planteó las siguientes variables independientes:

X_1: Biol elaborado a base de residuos orgánicos de fruta

X_2: Biol elaborado a base de desechos de sangre y estiércol de camal

2.3.2 Variable dependiente

En el presente proyecto de investigación se planteó la siguiente variable dependiente:

Y: Suelo salino de La Yarada – Los Palos

2.3.3 Operacionalización de variables

La Tabla 1 detalla las variables, sus dimensiones y los indicadores que se utilizarán en el estudio.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Tipo
Independiente			
X_1: Biol elaborado a base de residuos orgánicos de fruta X_2: Biol elaborado a base de desechos de sangre y estiércol de camal	Aplicación del biol: Corresponde a la incorporación del biofertilizante al suelo mediante dosis previamente establecidas.	Dosificación (%) Adición de abono	Continua Nominal
Dependiente Y: Suelo salino de La Yarada – Los Palos	Propiedades químicas del suelo: Conjunto de características químicas que determinan la fertilidad, disponibilidad de nutrientes y condición salina del suelo. Respuesta biológica del cultivo: Manifestación del crecimiento inicial de la lechuga expresada mediante la germinación y el brotamiento bajo las condiciones del suelo tratado.	pH Conductividad (mS cm) Materia Orgánica (%) Nitrógeno ($mg \cdot kg^{-1}$) Fósforo ($mg \cdot kg^{-1}$) Potasio ($mg \cdot kg^{-1}$) Magnesio(cmol(+)/kg) Calcio (cmol(+)/kg Sodio (cmol(+)/kg Germinación y brotamiento (%)	Continua

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

3.1.1 Antecedentes internacionales

Guo et al. (2022) en su investigación titulada “Effects of Different Organic Amendments on Soil Improvement, Bacterial Composition, and Functional Diversity in Saline–Sodic Soil”, evaluaron el efecto de residuos de cultivo, ácido húmico de lignito y estiércol bovino sobre las propiedades de un suelo salino-sódico cultivado con maíz. Como resultados, el suelo inicial presentó pH de 9,64, CE de 0,41 dS/m en extracto 1:5, porcentaje de sodio intercambiable de 16,82 %, materia orgánica de 8,23 g/kg, nitrógeno total de 550,36 mg/kg, fósforo disponible de 16,35 mg/kg y potasio disponible de 50,88 mg/kg. Después de aplicar las enmiendas, la materia orgánica aumentó entre 5,3 y 7,4 g/kg respecto al control; el potasio disponible fue mayor con ácido húmico de lignito, superando al estiércol bovino en 32,17 mg/kg y a los residuos de cultivo en 42,79 mg/kg; asimismo, el fósforo disponible fue 7,19 mg/kg mayor que con residuos de cultivo. Además, el tratamiento con ácido húmico redujo el pH en 1,36 unidades y la CE en 0,20 mS/cm respecto al control. Los autores concluyeron que las enmiendas orgánicas mejoraron la calidad del suelo

salino-sódico al incrementar la fertilidad, reducir la alcalinidad y salinidad, y favorecer cambios positivos en la comunidad bacteriana.

Andrade et al. (2020) en su investigación titulada “Yeso agrícola y azufre para la remediación de un suelo salino-sódico del Valle Alto de Cochabamba”, determinaron la influencia del yeso agrícola y del azufre, aplicados al 50 % y 100 % del requerimiento calculado, sobre el pH, la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable. Como resultados, el suelo inicial presentó pH de 9,6, CE de 22,7 dS/m y PSI de 69,7 %, evidenciando una condición salino-sódica severa. La aplicación de enmiendas químicas junto con lavado mejoró las condiciones salinas y sódicas del suelo, siendo el yeso agrícola más efectivo que el azufre para desplazar Na^+ y reducir el PSI en 34,4 %. Los autores concluyeron que la recuperación de suelos salino-sódicos requiere una fuente efectiva de calcio y procesos de lixiviación que permitan desplazar y remover sales.

Wichern et al. (2020) en su investigación titulada “Organic Amendments Alleviate Salinity Effects on Soil Microorganisms and Mineralisation Processes in Aerobic and Anaerobic Paddy Rice Soils”, evaluaron si la incorporación de materia orgánica podía reducir los efectos negativos de la salinidad sobre los microorganismos del suelo bajo

condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Como resultados, trabajaron con suelos no salinos de 1,1 a 1,3 dS/m y suelos salinizados artificialmente con CE de 24,0 a 32,4 dS/m. La paja de arroz utilizada presentó 40 % de carbono, 0,5 % de nitrógeno, relación C/N de 80, 0,12 % de P y 1,5 % de K; mientras que el estiércol presentó 25,4 % de carbono, 1,05 % de nitrógeno, relación C/N de 24, 0,47 % de P y 0,75 % de K. En ausencia de enmiendas, la salinidad redujo la respiración microbiana entre 16 % y 53 %, mientras que la incorporación de paja de arroz y estiércol atenuó dicho efecto al aportar carbono disponible y estimular la biomasa microbiana. Los autores concluyeron que las enmiendas orgánicas pueden mitigar el impacto de la salinidad sobre la funcionalidad biológica del suelo.

Rezapour et al. (2023) en su investigación titulada “Combining chemical and organic treatments enhances remediation performance and soil health in saline-sodic soils”, evaluaron el efecto individual y combinado de yeso, azufre elemental, vermicompost, biochar e inoculación microbiana sobre la salud de suelos salino-sódicos calcáreos. Como resultados, reportaron que las combinaciones de yeso + vermicompost y azufre elemental + vermicompost incrementaron el índice no lineal de salud del suelo en 134 % y 116 %, respectivamente, en comparación con el control. Además, el índice general de salud del suelo aumentó entre 12 % y 134 %,

y los indicadores de salud edáfica explicaron entre 29 % y 87 % de la variación en el crecimiento del trigo. Los autores concluyeron que las estrategias combinadas de remediación tienen mayor eficacia que la aplicación aislada de una enmienda.

Alcalán-López et al. (2023) en su investigación titulada “Efecto de biofertilizantes líquidos, obtenidos a partir de halófitas, en la germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas”, evaluaron el efecto de biofertilizantes líquidos producidos a partir de biomasa de halófitas sobre la germinación y emergencia de zanahoria, lechuga, rábano y pepino. El objetivo fue determinar la respuesta germinativa de estas especies frente a biofertilizantes líquidos aplicados al 5 %, 10 % y 20 %. Como resultados, los autores reportaron que, conforme aumentó la concentración del biofertilizante líquido, disminuyeron significativamente el crecimiento relativo de radícula, el índice de germinación y la longitud de plántula. Las concentraciones superiores al 10 % redujeron considerablemente la germinación y emergencia, con índices de germinación menores al 80 %, mientras que las dosis de 5 % y 10 % mantuvieron valores de IG superiores al 80 %. Los autores concluyeron que los biofertilizantes líquidos pueden ser compatibles con la germinación cuando se aplican en bajas

concentraciones, pero pueden generar efectos fitotóxicos cuando la dosis aumenta.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Ramírez et al. (2023) en su investigación titulada “Biofertilizante ‘biol’: caracterización física, química y microbiológica”, evaluaron las características fisicoquímicas y microbiológicas de un biol producido en la Estación Experimental de Bioquímica Aplicada de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo. Como resultados, el biol presentó conductividad eléctrica de 16,32 mS/cm, pH de 6,90, nitrógeno de 290,0 mg/L, fósforo de 17,78 mg/L, potasio de 111,7 mg/L y magnesio de 153,2 mg/L. También se reportaron sulfuros de 0,360 mg/L, cobre de 0,080 mg/L, hierro de 1,530 mg/L, manganeso de 0,300 mg/L, zinc de 0,140 mg/L y cadmio de 0,017 mg/L; mientras que plomo y cromo fueron menores a 0,005 mg/L. En el análisis microbiológico, se registró ausencia de coliformes totales y fecales, con valores menores a 1,8 NMP/100 mL. Los autores concluyeron que el biol evaluado presentó características fisicoquímicas y microbiológicas aptas para el crecimiento de cultivos.

Abanto & Ricopa (2021) en su investigación titulada “Producción de biol, en base a sangre de Sus scrofa domesticus, camal municipal, Lamas,

2021”, produjeron biol a partir de sangre de cerdo procedente del camal municipal de Lamas. Como resultados, trabajaron con una población de 81 L de insumos, elaboraron seis tratamientos durante dos meses y aplicaron cuatro de ellos en cinco parcelas de cebolla china *(Allium fistulosum)* con una dosis de 100 mL de biol por 1 L de agua, una vez por semana durante cuatro semanas. El tratamiento T1-b, compuesto por ácido bórico, microorganismos y sangre, fue identificado estadísticamente como el mejor tratamiento. Los autores concluyeron que la sangre de camal puede transformarse en biol y utilizarse como biofertilizante líquido, aunque recomendaron ajustar la dosis de ácido bórico de acuerdo con las características del suelo.

Samaniego-Vivanco et al. (2024) en su investigación titulada “El biofertilizante líquido fermentado de residuos de camal mejora el rendimiento del cultivo de maíz”, evaluaron el efecto de un biofertilizante líquido derivado de la fermentación de residuos de camal sobre el crecimiento y rendimiento del maíz amarillo duro Megahíbrido 619 INIA. El producto fue aplicado en dos etapas a razón de 50 L/ha por etapa, equivalente a 100 L/ha en total. Como resultados de composición, el biofertilizante presentó N entre 4,25 % y 6,5 %, pH entre 6,75 y 7,25, CE de 16,42 dS/m, fósforo entre 5,0 y 124,5 mg/L, materia orgánica total de

6,75 ± 0,45 %, ácidos fúlvicos de 5,57 %, zinc de 174 ppm, hierro de 147,8 ppm y cobre de 23,4 ppm. En rendimiento, la dosis más baja de fertilización química combinada con biofertilizante obtuvo un índice de cosecha 14 % mayor que la fertilización completa. Los autores concluyeron que el biofertilizante líquido fermentado de residuos de camal puede mejorar el crecimiento y mantener rendimientos comparables con fertilización mineral completa cuando se combina con dosis reducidas de NPK.

Aimituma-Franco et al. (2023) en su investigación titulada "Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú", evaluaron la aplicación de enmiendas orgánicas de origen animal para la biorrecuperación de suelos salinos. Como resultados, el pH disminuyó de 8,05 a 7,30, la conductividad eléctrica se redujo hasta 1,2 mmhos/cm, el PSI disminuyó hasta 7 % y se registró incremento de macronutrientes. Los autores concluyeron que las enmiendas orgánicas de cuy y vacuno tuvieron efecto positivo sobre suelos salinos al mejorar sus propiedades químicas y físicas.

Cabos et al. (2019) en su investigación titulada "Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana

de policloruro de vinilo", evaluaron la concentración de N, P y K en biol y biosol generados por digestión anaerobia de estiércol bovino. Como resultados, el biol presentó, al día 0, 13 700 mg/L de N, 556,72 mg/L de P y 2 504,8 mg/L de K; al día 15, 5 mg/L de N, 157,6 mg/L de P y 259,1 mg/L de K; al día 30, 2 100 mg/L de N, 202,8 mg/L de P y 741,8 mg/L de K; y al día 45, 10 200 mg/L de N, 86,56 mg/L de P y 1 103,8 mg/L de K. Los autores concluyeron que el biol obtenido de estiércol bovino presentó variaciones importantes en NPK durante la fermentación, con predominio del nitrógeno y el potasio como nutrientes de mayor concentración.

3.1.3 Antecedentes locales

Santana & Turpo (2021) en su investigación titulada "Remediación de suelos salinos con vermicompost elaborado a partir de residuos industriales del olivo en un fundo del distrito de La Yarada - Los Palos, Tacna, 2021", evaluaron el uso de vermicompost elaborado con residuos industriales del olivo para la remediación de suelos salinos en un fundo de La Yarada-Los Palos. El objetivo fue determinar si una enmienda orgánica producida a partir de alperujo, materia orgánica y cáscara de papa podía reducir la salinidad del suelo. Como resultados, durante la evolución del vermicompost obtuvieron relaciones C/N de 11,60 y 12,51, y contenidos de materia orgánica entre 13,02 % y 60,53 %. Posteriormente, aplicaron el

vermicompost a un suelo altamente salino con CE inicial de 16,6 dS/m; después de 28 días, la salinidad disminuyó en promedio hasta 6,5 dS/m con una proporción de 10 % de vermicompost y 90 % de suelo, alcanzando una eficiencia promedio de reducción de CE de 60,84 %. Las autoras concluyeron que el vermicompost elaborado con residuos del olivo constituye una alternativa para la recuperación de suelos salinos en La Yarada-Los Palos.

Chura (2025) en su investigación titulada “Efecto de la Aplicación de Biochar e Hidrolizado de Pescado para el Mejoramiento de Suelos Salinos de La Yarada Los Palos en Tacna, Perú”, evaluó el efecto de biochar e hidrolizado de pescado como enmiendas orgánicas para recuperar suelos salinos de La Yarada-Los Palos. Como resultados, el hidrolizado de pescado redujo la CE del suelo de 20,30 dS/m a 3,84 dS/m, estabilizó el pH en 7,18, mejoró la porosidad hasta 55,06 % y elevó el índice de germinación a 96,4 %, en contraste con el 12,4 % registrado en el suelo sin tratamiento. El autor concluyó que el hidrolizado de pescado fue la enmienda más eficiente para mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo salino, por lo que este antecedente permite comparar el efecto de un bioinsumo líquido orgánico local con el biol frutado y el biol de sangre evaluados en la presente investigación.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Biol

El biol es un tipo de biofertilizante líquido obtenido mediante fermentación anaeróbica de materiales orgánicos como estiércoles, residuos vegetales, restos de frutas, melaza u otros sustratos biodegradables en recipientes cerrados o biodigestores (López-Rubio et al., 2025). Este producto corresponde a la fracción líquida generada durante la fermentación o digestión de la materia orgánica, mientras que la fracción sólida residual suele denominarse biosol o digestato sólido según el sistema de producción utilizado (Martín-Sanz-Garrido et al., 2025).

El biol contiene nutrientes disueltos, materia orgánica soluble, compuestos orgánicos de bajo peso molecular y microorganismos asociados al proceso fermentativo, por lo que se considera un insumo de rápida interacción con la planta o el suelo cuando se aplica en dosis adecuadas. Su composición no es constante, debido a que depende del tipo de residuo utilizado, la proporción de agua, la presencia de fuentes energéticas como melaza, el tiempo de fermentación, la temperatura, el pH y las condiciones de hermeticidad del sistema (López-Rubio et al., 2025).

El biol se utiliza como fuente complementaria de nutrientes y como insumo asociado a prácticas de agricultura orgánica o agroecológica, debido a que permite aprovechar residuos locales y reincorporar nutrientes al ciclo productivo (FAO, 2017). Su aplicación debe realizarse con criterios técnicos, porque la concentración de sales, amonio, ácidos orgánicos o compuestos no estabilizados puede generar efectos fitotóxicos cuando el producto no alcanza una madurez adecuada o se aplica sin dilución suficiente (Ayers & Westcot, 1985; Van et al., 2023).

3.2.2.1 El biol como abono

Los abonos se diferencian de los fertilizantes minerales porque no solo suministran elementos nutritivos, sino que también modifican propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a través del incremento de la materia orgánica y de la actividad microbiana (Gómez-Brandón et al., 2016). En los abonos, la estabilización del material orgánico es necesaria para reducir la presencia de compuestos fácilmente putrescibles y favorecer la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la agregación del suelo y a la retención de nutrientes (Liu et al., 2023).

Los efectos de los abonos orgánicos sobre el suelo se explican por tres mecanismos principales: el incremento de la materia orgánica, la

liberación progresiva de nutrientes y la estimulación de la actividad biológica edáfica (Weil & Brady, 2017; U.S. Departament Agriculture - Natural Resources Conservation Service [USDA-NRCS], 2024). La materia orgánica mejora la estabilidad de agregados, incrementa la porosidad, favorece la infiltración y aumenta la capacidad de retención de agua, lo que contribuye a una mejor relación aire-agua en la zona radical (USDA-NRCS, 2024).

Los abonos orgánicos pueden clasificarse según su estado físico en sólidos, líquidos y biofertilizantes microbianos, debido a que su forma de presentación determina el modo de aplicación, la velocidad de disponibilidad de nutrientes y el tipo de interacción con el suelo o la planta (FAO, 2024; Gómez-Brandón et al., 2016).

Los abonos orgánicos sólidos incluyen estiércoles, guanos, compost, bocashi, residuos de cosecha y abonos verdes, los cuales se incorporan principalmente al suelo para mejorar su fertilidad física, química y biológica (FAO, 2017; Weil & Brady, 2017).Los estiércoles y guanos son residuos orgánicos procedentes de animales que contienen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y materia orgánica en proporciones variables según la especie animal, la alimentación, el manejo, el

almacenamiento y el grado de descomposición. El estiércol estabilizado o compostado presenta menor riesgo de fitotoxicidad y contaminación sanitaria que el estiércol fresco, debido a que el proceso de descomposición reduce la carga de compuestos inestables y favorece una liberación más gradual de nutrientes (Gómez-Brandón et al., 2016; FAO, 2017).

El compost es un abono orgánico sólido obtenido por descomposición aeróbica controlada de residuos vegetales, animales o agroindustriales, en la cual la actividad microbiana transforma la materia orgánica fresca en un material más estable y apto para su incorporación al suelo El compost mejora la estructura del suelo, incrementa la materia orgánica, aporta nutrientes y puede favorecer la actividad microbiana, siempre que presente madurez adecuada, baja salinidad relativa y ausencia de contaminantes en niveles perjudiciales (FAO, 2017; Gómez-Brandón et al., 2016).

El bocashi es un abono orgánico fermentado elaborado a partir de residuos vegetales, estiércoles, fuentes de carbono y materiales minerales, cuya transformación ocurre mediante procesos microbianos que pueden combinar fases aeróbicas y fermentativas según la técnica empleada. Este

tipo de abono se caracteriza por un proceso de preparación más corto que el compost tradicional, aunque su calidad final depende de la formulación, temperatura, humedad, aireación, volteo y estabilización del material (FAO, 2024; Gómez-Brandón et al., 2016).

Los residuos de cosecha y abonos verdes corresponden a restos vegetales incorporados al suelo con la finalidad de aportar carbono, proteger la superficie, reducir la erosión y contribuir al reciclaje de nutrientes dentro del sistema agrícola (Weil & Brady, 2017; FAO, 2017). Los abonos verdes también pueden mejorar la estructura del suelo y aportar nitrógeno cuando incluyen especies leguminosas capaces de establecer simbiosis con microorganismos fijadores de nitrógeno.

Los abonos orgánicos líquidos incluyen bioles, extractos fermentados, lixiviados de vermicompost y otros preparados líquidos obtenidos a partir de residuos orgánicos en procesos de fermentación, digestión o extracción (López-Rubio et al., 2025). Estos insumos se aplican por vía foliar, fertirriego o drench al suelo, y su uso requiere dilución, filtración y control de dosis para evitar fitotoxicidad, salinización localizada u obstrucción de sistemas de riego (Ayers & Westcot, 1985).

Los biofertilizantes microbianos están constituidos por microorganismos benéficos capaces de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, producir fitohormonas o mejorar la disponibilidad de nutrientes mediante interacciones en la rizósfera. Estos productos no actúan únicamente como fuente directa de nutrientes, sino como agentes biológicos que modifican procesos de disponibilidad, absorción y transformación de nutrientes en el sistema suelo-planta (Liu et al., 2023; Weil & Brady, 2017; Xu et al., 2025).

3.2.2.2 Principios y calidad del biol

La formación del biol se basa en la fermentación anaeróbica, proceso en el cual comunidades microbianas transforman la materia orgánica en ausencia de oxígeno y generan productos líquidos, sólidos y gaseosos según las condiciones del sistema (Martín-Sanz-Garrido et al., 2025). En sistemas de digestión anaeróbica, la degradación de la materia orgánica ocurre mediante etapas sucesivas de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, en las cuales diferentes grupos microbianos transforman compuestos complejos en moléculas más simples, ácidos orgánicos, dióxido de carbono y metano (Martín-Sanz-Garrido et al., 2025; Van et al., 2023).

La hidrólisis convierte polímeros como carbohidratos, proteínas y lípidos en compuestos solubles de menor tamaño, mientras que la acidogénesis transforma dichos compuestos en ácidos grasos volátiles, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. La acetogénesis convierte los productos intermedios en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, y la metanogénesis utiliza estos compuestos para producir metano y estabilizar parcialmente el sistema anaeróbico (Martín-Sanz-Garrido et al., 2025).

La calidad del biol se evalúa mediante parámetros como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, sólidos totales, sólidos volátiles, estabilidad, olor, color, ausencia de fitotoxicidad y reducción de patógenos. Un biol estabilizado suele presentar olor fermentativo no putrefacto, coloración oscura, menor presencia de sólidos gruesos y pH cercano a la neutralidad, aunque estos rasgos deben complementarse con análisis fisicoquímicos para determinar su aptitud agronómica (López-Rubio et al.,2025).

3.2.2.3 Elaboración del biol

3.2.2.3.1 Factores que intervienen en la formación del biol

De acuerdo con Martín-Sanz-Garrido et al. (2025) son:

- El tipo y proporción de materiales orgánicos utilizados, debido a que la composición del sustrato determina la disponibilidad de carbono, nitrógeno, minerales y compuestos fermentables para los microorganismos anaeróbicos. La relación carbono/nitrógeno influye en la estabilidad del proceso, porque una baja disponibilidad de nitrógeno puede limitar la actividad microbiana y un exceso de nitrógeno puede favorecer la acumulación de amonio en el medio.
- La temperatura regula la velocidad de actividad microbiana y la transformación de la materia orgánica, por lo que temperaturas bajas ralentizan la fermentación y temperaturas excesivas pueden alterar la composición microbiana del sistema. El pH condiciona el equilibrio entre poblaciones acidogénicas y metanogénicas, debido a que la acumulación de ácidos orgánicos puede disminuir el pH y afectar la estabilización del proceso anaeróbico.
- La hermeticidad del recipiente es necesaria para mantener condiciones anaeróbicas, debido a que la presencia de oxígeno modifica el metabolismo microbiano y puede inducir procesos de descomposición distintos a la digestión anaeróbica. La homogeneización inicial del sustrato favorece el contacto entre agua, residuos y microorganismos, aunque la aireación no corresponde a

un requisito del biol cuando el proceso se define como fermentación anaeróbica.

3.2.2.3.2 Preparación

De acuerdo con Martín-Sanz-Garrido et al. (2025) el procedimiento consiste en:

- La selección de residuos orgánicos libres de contaminantes visibles, debido a que la calidad del sustrato influye en la composición final del biofertilizante líquido. Los residuos sólidos se reducen de tamaño para facilitar su contacto con el agua y favorecer la degradación microbiana durante la fermentación. La mezcla suele incluir estiércol, restos vegetales, frutas u otras fuentes orgánicas, agua y, en algunos casos, melaza u otras fuentes de carbono fácilmente fermentable para activar el proceso microbiano.
- El recipiente o biodigestor debe cerrarse herméticamente y contar con un mecanismo de salida de gases cuando el sistema genera biogás, debido a que la acumulación de presión puede alterar la seguridad y estabilidad del proceso
- El tiempo de fermentación puede variar entre 30 y 90 días según la temperatura ambiental, composición del sustrato, volumen de preparación y grado de estabilización requerido. Durante este

periodo se desarrollan transformaciones bioquímicas que reducen parte de la materia orgánica fácilmente degradable y liberan nutrientes hacia la fracción líquida del preparado.

3.2.2.3.3 Cosecha

De acuerdo con Martín-Sanz-Garrido et al. (2025), se realiza cuando el producto presenta signos de estabilización y ha transcurrido el periodo de fermentación definido por la formulación y las condiciones ambientales del proceso. La fracción líquida debe separarse de los sólidos mediante decantación, filtración o colado, debido a que la presencia de partículas gruesas puede dificultar la aplicación y obstruir equipos de riego o aspersión.

El biol cosechado debe almacenarse en recipientes limpios, cerrados y protegidos de la radiación directa para reducir cambios químicos, contaminación externa o pérdida de calidad durante el almacenamiento. Antes de su aplicación, el producto debe diluirse de acuerdo con el cultivo, estado fenológico, vía de aplicación y características del suelo, debido a que la aplicación concentrada puede incrementar la conductividad eléctrica del medio o causar daño foliar.

3.2.2.4 Ventajas del biol

De acuerdo con López-Rubio et al. (2025) son:

- El biol permite aprovechar residuos orgánicos locales y transformarlos en un insumo agrícola líquido, por lo que se vincula con el reciclaje de nutrientes y con la reducción de residuos biodegradables dentro de sistemas productivos. Este biofertilizante puede aportar nitrógeno, fósforo, potasio, micronutrientes y compuestos orgánicos solubles en proporciones variables según los materiales empleados en su preparación.
- La aplicación de biol puede complementar la nutrición vegetal cuando se emplea como parte de un programa de fertilización, debido a que su fracción líquida facilita la distribución de nutrientes por vía foliar, drench o riego localizado. El bajo costo relativo de producción constituye una ventaja en sistemas agrícolas de pequeña escala, porque el biol puede elaborarse con insumos disponibles en la unidad productiva o en mercados locales.

3.2.2.5 Desventajas del biol

De acuerdo con Gómez-Brandón et al. (2016) son:

- El biol presenta composición variable, debido a que no existe una formulación única y su calidad depende de los residuos utilizados,

proporciones, tiempo de fermentación y control del proceso. Esta variabilidad limita la estandarización de dosis y obliga a realizar análisis fisicoquímicos cuando el producto se utiliza con fines experimentales o en cultivos sensibles.

- El uso de biol inmaduro o mal fermentado puede generar olores desagradables, presencia de compuestos fitotóxicos, elevada carga microbiana no deseada o concentración excesiva de amonio y sales solubles.

3.2.2 Suelos salinos y salino - sódicos

Los suelos afectados por sales son aquellos en los que la acumulación de sales solubles, sodio intercambiable o ambos factores modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo hasta limitar el crecimiento vegetal o la productividad agrícola. La salinidad se expresa principalmente mediante la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, debido a que este parámetro refleja la concentración total de sales solubles presentes en la solución del suelo (Richards, 1954; Shahid et al., 2018).

Un suelo salino se caracteriza por presentar conductividad eléctrica del extracto de saturación mayor de 4 dS m^{-1} a 25 °C, pH generalmente

menor de 8,5 y porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 %, según los criterios clásicos de diagnóstico de suelos salinos y alcalinos (Richards, 1954). Un suelo sódico presenta porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15 % o relación de adsorción de sodio elevada, generalmente con baja salinidad relativa y pH alto, debido a la dominancia del sodio en el complejo de intercambio (Abrol et al., 1988).

Un suelo salino-sódico presenta simultáneamente alta concentración de sales solubles y elevada proporción de sodio intercambiable, por lo que se diagnostica mediante conductividad eléctrica mayor de 4 dS m^{-1} y porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15 %. La relación de adsorción de sodio se utiliza para estimar el peligro de sodificación asociado al predominio relativo de sodio frente al calcio y magnesio en la solución del suelo o en el agua de riego (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

La salinización de los suelos ocurre con mayor frecuencia en regiones áridas y semiáridas, debido a que la baja precipitación, alta evapotranspiración, riego con aguas salinas, drenaje deficiente y ascenso capilar favorecen la acumulación de sales en la zona radical. En zonas agrícolas costeras, la intrusión marina, la sobreexplotación de acuíferos y

el uso de aguas subterráneas con salinidad elevada pueden incrementar la salinidad del agua de riego y acelerar la acumulación de sales en el suelo (Ayers y Westcot, 1985; FAO, 2024).

3.2.2.1 Efectos de la salinidad y sodicidad en propiedades del suelo

La salinidad y la sodicidad afectan el suelo mediante mecanismos distintos, debido a que las sales solubles modifican la presión osmótica de la solución del suelo y el sodio intercambiable altera la estabilidad estructural de los coloides edáficos (Richards, 1954; Shahid et al., 2018).

En suelos salinos, la presencia de electrolitos en la solución del suelo puede mantener floculadas las partículas de arcilla, por lo que la estructura no siempre se deteriora mientras exista suficiente concentración de sales solubles (Richards, 1954; Abrol et al., 1988).

En suelos sódicos, el exceso de sodio intercambiable promueve la dispersión de arcillas, reduce la estabilidad de agregados, disminuye la infiltración y afecta la conductividad hidráulica, debido a que el sodio incrementa la repulsión entre partículas cargadas negativamente. La dispersión de arcillas puede generar sellado superficial, formación de costras, compactación relativa y reducción de la aireación, lo que limita el

movimiento de agua y la emergencia de plántulas (Abrol et al., 1988; Richards, 1954).

3.2.2.2 Efectos de la salinidad y sodicidad en el crecimiento vegetal

La salinidad reduce el crecimiento vegetal principalmente por estrés osmótico, debido a que el aumento de sales en la solución del suelo disminuye el potencial hídrico y dificulta la absorción de agua por las raíces (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

La acumulación de sodio y cloruro puede generar toxicidad iónica en especies sensibles, debido a que estos iones pueden acumularse en tejidos vegetales y alterar funciones fisiológicas como fotosíntesis, transpiración, integridad de membranas y actividad enzimática. La salinidad también produce desequilibrios nutricionales, porque el exceso de sodio puede competir con la absorción de potasio, calcio y magnesio, mientras que el exceso de cloruro puede interferir con la absorción de nitrato en determinados cultivos (Munns & Tester, 2008; Shahid et al., 2018).

Los efectos visibles de la salinidad incluyen retraso en la germinación, menor emergencia, reducción del crecimiento radical, disminución del área foliar, clorosis, necrosis marginal, menor biomasa y

disminución del rendimiento según la sensibilidad del cultivo y la etapa fenológica expuesta (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

3.2.3 Buenas prácticas agrícolas

Las buenas prácticas agrícolas son un conjunto de principios técnicos orientados a producir alimentos y cultivos de manera segura, eficiente y ambientalmente responsable, mediante el manejo adecuado del suelo, agua, fertilización, residuos, plagas, cosecha e inocuidad (FAO & ITPS, 2025).

En el manejo de suelos y cultivos, estas prácticas incluyen el análisis previo del suelo, la selección adecuada de insumos, la aplicación racional de fertilizantes y abonos orgánicos, el control de la calidad del agua de riego y la prevención de procesos de degradación como salinización, compactación y erosión (FAO & ITPS, 2025; Ayers & Westcot, 1985).

La aplicación de abonos orgánicos dentro de buenas prácticas agrícolas requiere conocer su composición, madurez, dosis y forma de aplicación, porque un insumo orgánico puede mejorar la fertilidad del suelo o generar efectos negativos si contiene sales, patógenos, metales pesados

o compuestos fitotóxicos en concentraciones elevadas (Gómez-Brandón et al., 2016; Van et al., 2023).

En suelos con salinidad o sodicidad, la gestión de abonos líquidos y sólidos debe considerar la conductividad eléctrica del insumo y del suelo, debido a que el aporte adicional de sales puede incrementar el estrés osmótico si no existe lavado y drenajes adecuados (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

3.2.3.1 Riego

El riego es una práctica agrícola destinada a suministrar agua al cultivo cuando la precipitación no cubre los requerimientos hídricos de la planta, y su manejo debe considerar la demanda del cultivo, las propiedades del suelo, el clima, la calidad del agua y el sistema de aplicación utilizado. En suelos afectados por sales, el riego cumple una función doble, porque aporta agua para el crecimiento vegetal y también puede favorecer el lavado de sales cuando existe una lámina suficiente y drenaje adecuado (Ayers & Westcot, 1985; Abrol et al., 1988).

La calidad del agua de riego se evalúa mediante parámetros como conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio, concentración de sodio, cloruro, boro, bicarbonatos, carbonatos, pH y sólidos disueltos

totales, debido a que estos componentes determinan el riesgo de salinidad, sodicidad, toxicidad específica e infiltración (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

El riego excesivo sin drenaje adecuado puede incrementar el nivel freático y favorecer el ascenso capilar de sales, por lo que el control de la salinidad no depende únicamente de aplicar más agua, sino de equilibrar lámina, frecuencia, drenaje y calidad del agua (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

3.3 Definición de términos

3.3.1 Biol

Biofertilizante líquido obtenido por fermentación anaerobia de residuos orgánicos vegetales o animales, caracterizado por contener nutrientes solubles, materia orgánica y metabolitos microbianos con potencial uso agrícola (Ramírez et al., 2023).

3.3.2 Biol frutado o de frutas

Biol elaborado principalmente con residuos de frutas u otros residuos vegetales fermentables; se asocia con fracciones carbonadas, ácidos

orgánicos y compuestos solubles derivados de la degradación de carbohidratos (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2008).

3.3.3 Biol de sangre o de desechos de camal

Biofertilizante líquido formulado con sangre u otros subproductos de faenamiento, cuya composición puede presentar mayor carga nitrogenada y orgánica por la naturaleza proteica del sustrato (Abanto & Ricopa, 2021).

3.3.4 Suelo salino

Suelo con acumulación de sales solubles en niveles que afectan el crecimiento vegetal, reducen la absorción de agua y alteran procesos biológicos del suelo (FAO, 2013).

3.3.5 Suelo salino - sódico

Suelo que combina salinidad elevada con proporción importante de sodio en el complejo de intercambio, condición que puede generar estrés osmótico y deterioro estructural por dispersión de partículas (Andrade Foronda & Colinet, 2022).

3.3.6 Conductividad eléctrica

Indicador indirecto de la concentración de sales solubles en agua, extracto de suelo, lixiviado o biofertilizante líquido; a mayor CE, mayor carga iónica y mayor riesgo osmótico para semillas y raíces sensibles (FAO, 2013).

3.3.7 Materia orgánica del suelo

Fracción orgánica procedente de residuos vegetales, animales y microbianos en distintos grados de descomposición, relevante para estructura, intercambio catiónico, retención de agua y dinámica de nutrientes (Guo et al., 2022).

3.3.8 Abono

Son materiales de origen animal, vegetal o mixto que, después de procesos de descomposición, fermentación, compostaje o digestión, se incorporan al suelo o se aplican a los cultivos con la finalidad de aportar materia orgánica, nutrientes y compuestos que favorecen la actividad biológica del sistema suelo-planta (Rezapour et al., 2023).

3.3.9 Índice de germinación

Indicador de fitocompatibilidad que integra el porcentaje de germinación relativo y el crecimiento radicular relativo respecto a un control, utilizado para evaluar fitotoxicidad de extractos o sustratos orgánicos (Varnero et al., 2007).

3.3.10 Fitotoxicidad

Efecto inhibitorio causado por sales, amonio, ácidos orgánicos u otros compuestos sobre la germinación y el crecimiento inicial de las plantas (Huerta et al., 2015).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo siendo una investigación del tipo aplicada, porque evaluó una alternativa de aprovechamiento de residuos orgánicos y subproductos de camal mediante la elaboración de bioles y su aplicación en un suelo salino procedente de La Yarada–Los Palos.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel fue explicativo-aplicado, ya que se buscó establecer si los tratamientos formulados con biol frutado y biol de sangre generaron diferencias en las variables evaluadas respecto al testigo. La investigación permitió contrastar el comportamiento de los tratamientos en función del tipo de biol, la dosis y la presencia de abono.

4.1.3 Diseño de investigación

Se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con nueve tratamientos (Tabla 2) y dos repeticiones por tratamiento, para un total de 18 unidades experimentales. Los tratamientos estuvieron

conformados por un testigo absoluto y ocho combinaciones derivadas de dos tipos de biol, dos dosis de aplicación y dos condiciones de incorporación de compost. Debido a la inclusión de un testigo absoluto adicional, el análisis principal se organizó como comparación global entre tratamientos completos mediante ANOVA de un factor, con prueba de comparación múltiple de Tukey cuando se detectaron diferencias significativas.

Tabla 2

Tratamientos evaluados en el ensayo experimental

Código	Tratamientos		
	Tipo de biol	Dosis de biol	Condición de abono
T0	Sin biol	0 %	Sin abono
T1	Biol frutado	5 %	Sin abono
T2	Biol frutado	10 %	Sin abono
T3	Biol de sangre	5 %	Sin abono
T4	Biol de sangre	10 %	Sin abono
T5	Biol frutado	5 %	Con abono
T6	Biol frutado	10 %	Con abono
T7	Biol de sangre	5 %	Con abono
T8	Biol de sangre	10 %	Con abono

Nota. Las dosis de 5 % y 10 % correspondieron a la concentración de biol preparada para su aplicación. El abono se consideró como una condición adicional de enmienda orgánica sólida y no como un nivel de dosis.

La elección de la dosificación se basó en la revisión de antecedentes bibliográficos de investigaciones realizadas por Abanto & Ricopa (2021) y Alcalán-López et al. (2023).

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

Los residuos orgánicos de origen vegetal utilizados para la elaboración del biol frutado provinieron de residuos frutales recolectados en el Mercado Mayorista Grau de Tacna. Los subproductos de origen animal empleados para la formulación del biol de sangre provinieron del Camal Municipal de Tacna “Mario Reynaldo Eyzaguirre Yañez”.

El suelo utilizado en el ensayo fue recolectado en un sector agrícola de La Yarada–Los Palos, Tacna, en la zona conocida como Asoc. Pequeños Agricultores Crnl Francisco Bolognesi, caracterizada por condiciones de salinidad asociadas al uso de aguas subterráneas, alta evaporación y acumulación de sales en el perfil edáfico. La fase de aplicación de tratamientos se desarrolló en condiciones controladas en un invernadero casero en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna. Esta condición permitió re mantener un manejo uniforme de riego y seguimiento entre las unidades experimentales.

4.2.2 Muestra

El suelo recolectado fue de 25 kilogramos siendo trasladado al área de acondicionamiento, donde se homogenizó antes de conformar las

unidades experimentales. En la Figura 1 se puede observar el lugar de muestreo; los puntos de ubicación fueron los siguientes:

- **P-1:** ESTE: 353286 NORTE: 7973261
- **P-2**: ESTE:353312 NORTE: 7973239
- **P-3:** ESTE:353271 NORTE:7973244
- **P-4:** ESTE:353291 NORTE: 7973226

Figura 1

Ubicación del lugar de muestreo – La Yarada - Los Palos



Para la elaboración de cada biol y sus respectivas repeticiones, se recolectó del mercado un total de 30 kilogramos de residuos orgánicos

compuesto por frutas blandas y dulces en estado de descarte comercial. En el camal municipal, se recogió 65 litros de sangre y 35 kilogramos de estiércol. El material orgánico sólido se empleó como enmienda complementaria en los tratamientos que incluyeron la condición “con abono”, este fue obtenido del estiércol de gallina casero.

4.2.3 Muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de los residuos, subproductos de camal y suelo dependió de su disponibilidad, accesibilidad y pertinencia para los objetivos del estudio. En el caso del suelo, la recolección se realizó procurando obtener una muestra operativa representativa del material utilizado en las unidades experimentales. En el caso de los residuos, se seleccionaron materiales orgánicos biodegradables con potencial de fermentación anaerobia disponibles en el día de recolección.

La unidad experimental estuvo constituida por una maceta con suelo salino homogenizado y acondicionado, a la cual se aplicó uno de los tratamientos definidos. Cada tratamiento contó con dos repeticiones independientes, codificadas como REP1 y REP2. La asignación de los

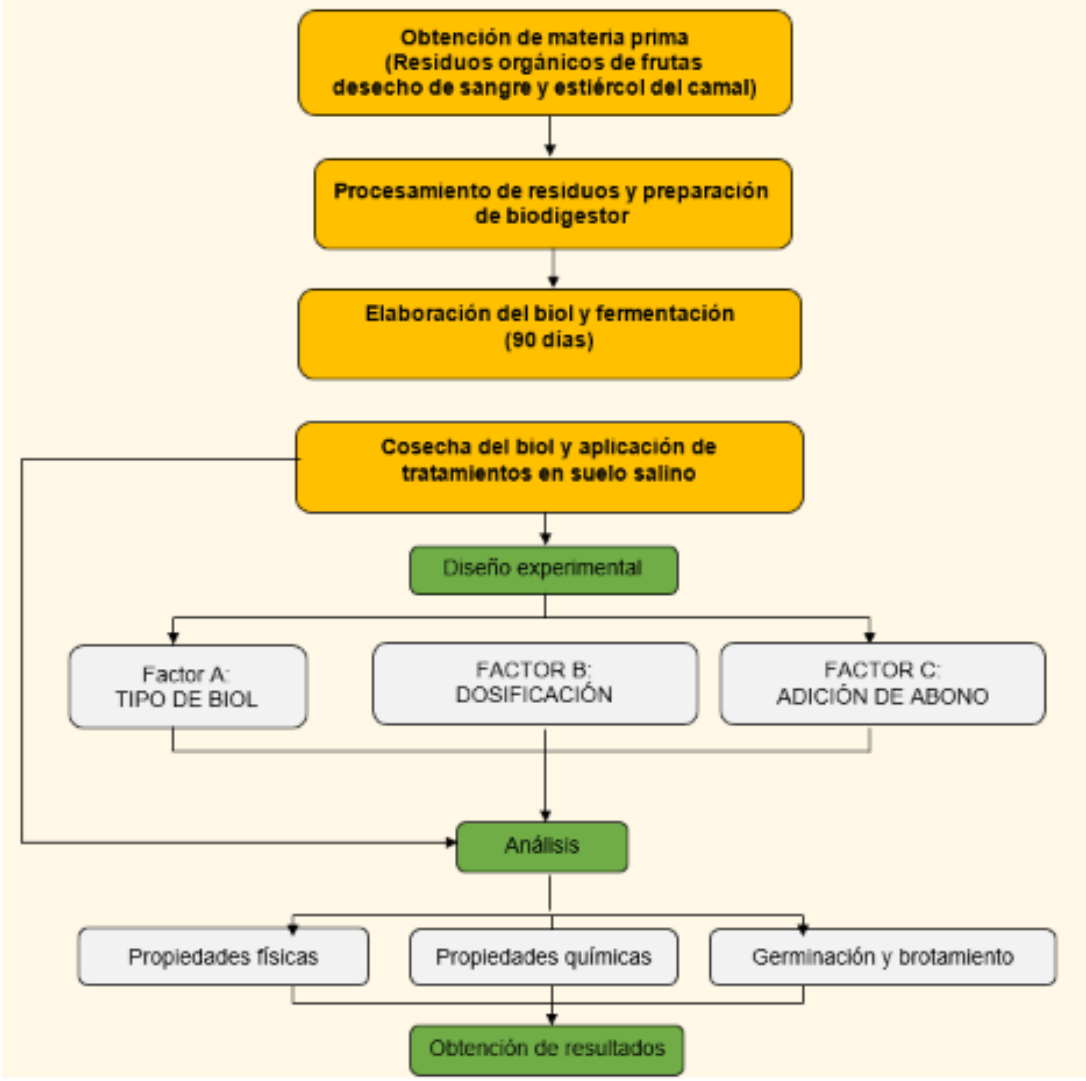
tratamientos a las unidades experimentales se realizó de forma aleatoria para reducir sesgos de ubicación dentro del invernadero.

4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

La metodología se organizó de acuerdo con los tres objetivos específicos de la investigación, con el propósito de mantener correspondencia entre el diseño experimental, las técnicas aplicadas, las variables medidas y los resultados reportados. En la figura 2 se observa el esquema de flujo del trabajo de experimentación realizado secuencialmente.

Figura 2

Esquema del flujo de trabajo de la experimentación



4.3.1 Características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre) en contraste con las de un abono natural (estiércol)

4.3.1.1 Elaboración del biol frutado

Se tuvo el siguiente procedimiento:

- Las frutas blandas y dulces (sandía, mango, durazno, papaya, plátano, tuna y manzana), se seleccionaron, picaron y homogenizaron para favorecer la degradación del sustrato.
- Posteriormente, se mezclaron con la melaza, levadura, leche, agua y microorganismos activados, como se muestra en la Tabla 3 y Figura 3.

Figura 3

Mezclas homogenizadas para el biol frutado

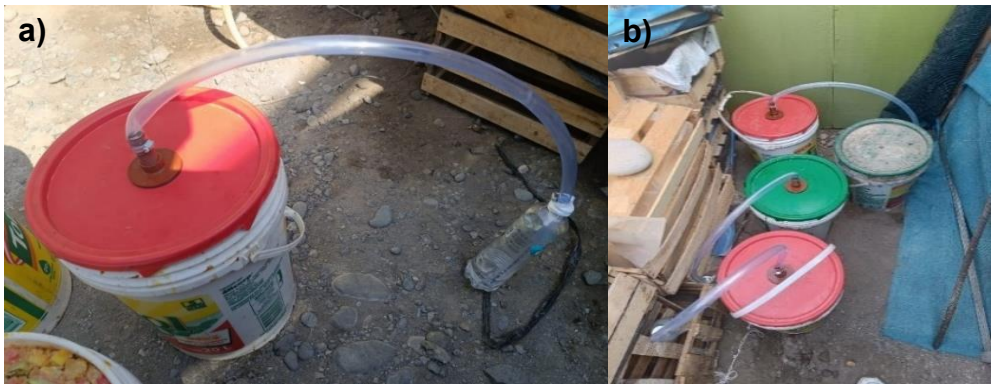


Nota. Se elaboró el biol frutado repitiendo la formulación tres veces (repetición) para su posterior caracterización.

- La mezcla se colocó en recipientes plásticos con tapa, los cuales se sellaron para mantener condiciones anaerobias (Figura 4).

Figura 4

Trampa de aire casera implementada en los baldes de fermentación de cada biol



Nota. a y b) Se observa cada balde de fermentación con una trampa de aire casera, conformada por un tubo plástico que conecta el orificio de la tapa con una botella parcialmente llena de agua. El extremo del tubo permanece sumergido en el agua, permitiendo la salida de gases y evitando el ingreso de aire al sistema.

- Cada recipiente contó con una salida de gases conectada a una trampa de agua, con el fin de permitir la liberación de gases de fermentación y evitar el ingreso de oxígeno.
- Durante el proceso de fermentación se realizó seguimiento organoléptico y fisicoquímico mediante observación del color, olor, presencia de gas o espuma, pH, temperatura y conductividad eléctrica cada semana.

- La maduración del biol se estableció mediante la estabilización relativa del pH y la conductividad eléctrica, el descenso de la emisión de gas y la ausencia de olores asociados a putrefacción.
- Finalizado el proceso, el líquido fue separado de los sólidos mediante decantación y filtración, y se almacenó en recipientes limpios, cerrados y codificados.

4.3.1.2 Elaboración del biol de sangre

Se tuvo el siguiente procedimiento:

- La sangre se mezcló con insumos complementarios de fermentación, siendo la melaza, leche, levadura, rumen y microorganismos activados como se muestra en la Tabla 3.
- La mezcla se colocó en recipientes herméticos con sistema de salida de gases, bajo el mismo principio de fermentación utilizado para el biol frutado.
- El seguimiento del biol de sangre consideró los mismos criterios generales empleados para el biol frutado: control de condiciones anaerobias, monitoreo de pH, observación del olor, color y producción de gas, y cosecha del efluente líquido una vez alcanzada la estabilización del proceso.

- El producto final fue filtrado, codificado y conservado hasta su análisis y aplicación en los tratamientos.

Tabla 3

Cantidad usada para la formulación y elaboración de biol por balde de 25 litros

	Material	Cantidad/Descripción
Biol frutado (BFRU)	Melaza	2,5 kilogramos
	Leche	2,5 kilogramos
	Restos de frutas picadas	15 kilogramos (frutas blandas y dulces)
	Levadura	60 gramos
	Microorganismos activados	30 gramos
Biol de sangre (BSAN)	Sangre	15 kg
	Melaza	2,5 kilogramos
	Leche	2,5 kilogramos
	Rumen/estiércol fresco	2,5 kilogramos
	Levadura	60 gramos
	Microorganismos activados	30 gramos
Material general	Recipiente balde con tapa	3 de capacidad de 25 litros
	Manguera plástica transparente	Aprox.1 metro para cada balde (para salida de gases)
	Botella con agua destilada	3 botellas (como trampa de gases)

4.3.1.3 Caracterización fisicoquímica de los bioles y del abono orgánico de referencia

Las muestras de biol frutado, biol de sangre y abono orgánico obtenido fueron analizadas para conocer su perfil químico de la siguiente manera:

- La humedad se determinó mediante el método de secado gravimétrico en estufa, según la NTP 201.207:2020 / TMECC 03.09, Método de secado gravimétrico con estufa.
- La relación carbono/nitrógeno (C/N) se determinó según el Manual del laboratorio, Relación de C/N, reportado por LABSAF–INIA Moquegua para las muestras de abonos.
- El pH de las enmiendas orgánicas se determinó mediante el método EPA 9045D, Rev. 4, 2004, Soil and Waste pH. La medición se realizó a 25 °C y con dilución 1:5, según lo indicado en las consideraciones del informe.
- La conductividad eléctrica (CE) se determinó según la norma ISO 11265:1994, First Edition / Cor. 1:1996, Soil Quality Determination of the Specific Electrical Conductivity. La medición se realizó a 25 °C y con dilución 1:5.
- La materia orgánica se determinó a partir de carbono total/carbono orgánico mediante combustión seca, según la norma ISO

10694:1995, First Edition, Soil Quality Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis).

- El nitrógeno total se determinó mediante combustión seca por análisis elemental, según la norma ISO 13878:1998, First Edition, Soil Quality Determination of total nitrogen by dry combustion (elemental analysis).
- El fósforo total se determinó mediante digestión ácida y cuantificación instrumental, según EPA 3050B / EPA 6010D, Rev. 5, 2018, validado y aplicado fuera del alcance, complementado con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, 31 de diciembre de 2002, conforme a lo consignado por el laboratorio.
- El calcio, magnesio y potasio total se determinó mediante digestión ácida según EPA 3050B y cuantificación por EPA 6010D, Rev. 5, 2018, mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).
- Los metales o elementos minerales reportados en las enmiendas orgánicas, incluyendo zinc (Zn), fierro (Fe), cobre (Cu) y manganeso (Mn), se determinaron mediante digestión ácida según EPA 3050B y cuantificación por EPA 6010D, Rev. 5, 2018, mediante ICP-OES,

de acuerdo con la metodología general de determinación de metales consignada del INIA.

4.3.2 Efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos

Para evaluar el efecto de la aplicación del biol frutado y del biol de sangre en el suelo salino de La Yarada–Los Palos, se acondicionaron 18 unidades experimentales en macetas. El suelo recolectado se secó al ambiente, se desmenuzó manualmente, se retiraron materiales gruesos no edáficos y se homogenizó antes de su distribución. Cada unidad experimental recibió una cantidad uniforme de suelo (2 kilogramos).

4.3.2.1 Caracterización inicial y final del suelo

Antes de la instalación de los tratamientos se tomó una submuestra compuesta del suelo homogenizado para caracterizar la condición inicial y establecer la línea base del suelo para confirmar su condición salina. Se determinó lo siguiente:

- El pH del suelo se determinó mediante el método EPA Method 9045D, Rev. 4, 2004, Soil and Waste pH, con medición realizada a 25 °C.

- La conductividad eléctrica del suelo se determinó según la norma ISO 11265:1994 / Cor. 1:1996, Soil quality Determination of the specific electrical conductivity, con medición realizada a 25 °C.
- El carbonato de calcio equivalente ($CaCO_3$) se determinó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, ítem 7.3.25, AS-29, mediante el método de neutralización ácida para la determinación de carbonatos de calcio equivalente.
- La textura del suelo se determinó según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, ítem 7.1.9, AS-09, mediante el método de Bouyoucos.
- La materia orgánica del suelo se determinó a partir de carbono total/carbono orgánico mediante combustión seca, según la norma ISO 10694:1995, Soil Quality Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis).
- El nitrógeno total del suelo se determinó mediante combustión seca por análisis elemental, según la norma ISO 13878:1998, Soil Quality Determination of total nitrogen by dry combustion (elemental analysis).
- El fósforo disponible del suelo se determinó según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, ítem 7.1.10,

AS-10, correspondiente al método de Olsen y colaboradores para suelos neutros y alcalinos.

- El potasio disponible del suelo se determinó según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, ítem 7.1.12, AS-12, mediante extracción con acetato de amonio 1N a pH 7,0 y cuantificación instrumental por EPA 6010D, Rev. 5, 2018, mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).
- Las bases intercambiables del suelo, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) intercambiable, se determinaron según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, ítem 7.1.12, AS-12, mediante el método de acetato de amonio para bases intercambiables, con cuantificación por EPA 6010D, Rev. 5, 2018, mediante ICP-OES.
- Los metales en suelo, arsénico (As), cromo (Cr), estroncio (Sr), manganeso (Mn), aluminio (Al), bario (Ba), cobalto (Co), cadmio (Cd), zinc (Zn), plomo (Pb), hierro (Fe) y cobre (Cu), se determinaron mediante digestión ácida según EPA Method 3050B, Rev. 2, 1996, y cuantificación por EPA 6010D, Rev. 5, 2018, mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

Al finalizar el periodo experimental de 60 días, se tomaron muestras de suelo de cada unidad experimental para realizar los ensayos de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, calcio, magnesio y sodio intercambiable. Estos parámetros fueron seleccionados porque permitieron evaluar cambios relacionados con salinidad, fertilidad, aporte orgánico y balance catiónico del suelo.

4.3.2.2 Caracterización del agua de riego

El agua utilizada para el riego recolectada del pozo de agronomía de la UNJBG fue caracterizada antes de su aplicación en el ensayo. Se determinó:

- La conductividad eléctrica del agua de riego se determinó según la NTP 214.049:2023, Calidad de agua. Conductividad electrolítica en agua. Método de ensayo, con medición realizada a 25 °C.
- El pH del agua de riego se determinó según la NTP 214.029:2023, Calidad de agua. Determinación de pH en agua. Método electrométrico, con medición realizada a 25 °C.
- La relación de adsorción de sodio (RAS) se calculó de acuerdo con Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters, University of

California, Division of Agricultural Sciences, E.U.A., sexta reimpresión, octubre de 1988.

- Los cationes del agua de riego, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K), se determinaron según el Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego del INIA, 1.ª edición, 2017, ítem 6.4.1, pp. 83–84, mediante determinación de cationes y cuantificación por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
- Los metales en agua, cuando fueron reportados, hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn), se determinaron según el Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego del INIA, 1.ª edición, 2017, ítem 6.4.1, pp. 83–84, mediante determinación de metales y cuantificación por ICP-MS.
- Los aniones del agua de riego, carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y nitratos (NO_3^-), se determinaron según el Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego del INIA, 1.ª edición, 2017, ítem 6.4.2, pp. 84–88, mediante determinación de aniones.

Esta evaluación permitió interpretar si el agua representaba una fuente adicional de sales o sodio durante el periodo experimental.

4.3.2.3 Aplicación de tratamientos al suelo

Los tratamientos se aplicaron de acuerdo con la codificación T0 a T8. El testigo recibió el mismo manejo de riego que los demás tratamientos, pero sin aplicación de biol ni abono solo el agua de riego. Los tratamientos T1 a T4 recibieron biol frutado o biol de sangre a concentraciones de 5 % y 10 %, sin abono. Los tratamientos T5 a T8 recibieron las mismas concentraciones de biol, pero con incorporación de abono como enmienda orgánica sólida. El abono fue mezclado de manera homogénea con el suelo antes o durante el inicio del tratamiento, según el manejo experimental aplicado.

La aplicación del biol se realizó en forma líquida, utilizando soluciones diluidas preparadas según la dosis correspondiente (300 ml cada tres días). El riego se mantuvo uniforme entre unidades experimentales y se evitó el escurrimiento excesivo durante el periodo de manejo, con el fin de reducir pérdidas no controladas de solución y mantener condiciones comparables entre tratamientos.

4.3.2.4 Evaluación del lixiviado por lavado con agua destilada

Como evaluación complementaria de la movilidad de sales solubles, al término del ensayo se realizó un lavado controlado de las macetas con

agua destilada. El lixiviado obtenido de cada unidad experimental fue recolectado y analizado para pH y conductividad eléctrica. Esta medición permitió comparar la carga salina movilizada por lavado entre el testigo y los tratamientos con biol y abono.

4.3.3 Germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre)

4.3.3.1 Bioensayo de índice de germinación con lixiviados

Los lixiviados obtenidos del lavado final de las macetas se utilizaron para evaluar el índice de germinación. Para cada tratamiento se consideraron los lixiviados de sus repeticiones. Las semillas de lechuga se colocaron en placas Petri (10 semillas) con papel absorbente filtro esterilizado y humedecido con el lixiviado correspondiente (10 ml). El control se preparó con agua destilada. Las placas se cerraron y mantuvieron en oscuridad a 20 °C y humedad relativa 75 %.

Después del periodo de incubación que fue de 7 días, se registró el número de semillas germinadas y la longitud de radícula. A partir de estas mediciones se calcularon el porcentaje de germinación relativo (PGR), el crecimiento relativo de radícula (CRR) y el índice de germinación (IG)

siguiendo el procedimiento descrito por Lakhal et al. (2017). Las fórmulas utilizadas fueron:

PGR (%) = (número de semillas germinadas en el tratamiento / número de semillas germinadas en el control) × 100

CRR (%) = (longitud media de radícula en el tratamiento / longitud media de radícula en el control) × 100

IG (%) = (PGR × CRR) / 100

4.3.3.2 Germinación directa y brotamiento

La germinación directa se evaluó mediante la siembra de 100 semillas de lechuga por cada unidad experimental en bandejas de germinación de plástico (bandejas almacigueras). A los 15 días después de la siembra se registró el número de semillas germinadas y se calculó el porcentaje de brotamiento por repetición.

Esta variable permitió complementar la interpretación del índice de germinación, debido a que reflejó la emergencia efectiva usando el suelo tratado y no solo la respuesta de las semillas al lixiviado.

4.4 Materiales y equipos

Los materiales principales utilizados fueron recipientes plásticos con tapa para fermentación anaerobia, mangueras para salida de gases, botellas con agua para trampa de gases, recipientes de almacenamiento, papel absorbente para bioensayos, semillas de *Lactuca sativa* L.*,* macetas, suelo salino homogenizado, biol frutado, biol de sangre, abono, agua de riego y agua destilada para el lavado final. Los equipos e instrumentos incluyeron pH-metro, conductímetro, balanza, termómetro, vernier o regla milimetrada, materiales de laboratorio para filtración y recipientes codificados para toma y conservación de muestras.

4.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron organizados en una base de datos por tratamiento, repetición y variable de respuesta. Para cada variable se calcularon estadísticos descriptivos, principalmente media, desviación estándar, valores mínimos y máximos cuando correspondió. Las tablas de resultados se expresaron como media ± desviación estándar para facilitar la comparación entre tratamientos.

Para comparar las características fisicoquímicas del biol frutado, biol de sangre y abono orgánico, se aplicó un análisis de varianza de un factor,

considerando como factor el tipo de matriz orgánica (Tipo de enmienda). Esta prueba fue adecuada debido a que se compararon tres grupos. Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba de Tukey para identificar diferencias entre pares de medias.

Para el segundo objetivo específico, al evaluar el efecto de los tratamientos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y sobre el pH y la conductividad eléctrica del lixiviado, se aplicó también el ANOVA de un factor, considerando como factor el tratamiento completo (T0 a T8). Este enfoque permitió comparar directamente el testigo con los tratamientos que incluyeron biol solo y biol combinado con compost. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5 %.

Para el tercer objetivo específico, el índice de germinación, porcentaje de germinación y brotamiento se aplicó el mismo criterio estadístico utilizado en el segundo objetivo específico.

Como medida de consistencia de los datos, se calculó el coeficiente de variación (CV), expresado como porcentaje, para valorar la dispersión relativa respecto de la media.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de fruta) y desechos de camal (biol de sangre) en contraste con las de un abono natural (estiércol)

5.1.1.1 Humedad

Tabla 4

ANOVA de la humedad del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

Factor de variabilidad (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (Fc)	p-valor
Tipo de biofertilizante	2 369,97	2	1 184,99	722,55	<0,01
Error total	4,92	3		1,64	
Total	2 374,89	5			

Coeficiente de variabilidad (CV)= 1,98 %

En la Tabla 4, el análisis de varianza para la humedad de cada biol y el abono identificó que fueron significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95 % y con un coeficiente de variabilidad del 1,98 %.

5.1.1.2 Relación C: N

Tabla 5

ANOVA de la relación C: N del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	324,08	2	162,04	24,10	0,02
Error total	20,17	3	6,72		
Total	344,25	5			

CV= 19,30 %

En la Tabla 5, el análisis de varianza para la relación C: N indicó diferencias significativas, lo que confirma que la proporción carbono–nitrógeno (C: N) presentó variación en función del tipo de biol o abono evaluado, con un coeficiente de variabilidad del 19,30 %.

5.1.1.3 pH

Tabla 6

ANOVA del pH del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	21,16	2	10,58	6 349	<0,01
Error total	0,01	3	1,7E-3		
Total	21,17	5			

CV= 0,78 %

En la Tabla 6, el análisis de varianza para el pH, se encontró un efecto del tratamiento altamente significativo demostrando que el pH difirió de forma marcada entre biol frutado, biol sangre y abono, con un coeficiente de variabilidad del 0,78 %.

5.1.1.4 Conductividad eléctrica

Tabla 7

ANOVA de la conductividad eléctrica (CE) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	30 591,58	2	15 295,79	27,58	<0,01
Error total	1 663,75	3	554,58		
Total	32 255,33	5			

CV= 5,46 %

En la Tabla 7, el análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE) evidenció diferencias significativas indicando que la concentración de sales solubles representada por la CE varió según el tipo de biol o abono, con un coeficiente de variabilidad del 5,46 %.

5.1.1.5 Contenido de materia orgánica

Tabla 8

ANOVA del contenido de materia orgánica del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	15 017,49	2	7 508,75	24,44	0,01
Error total	921,81	3	307,27		
Total	15 939,3	5			

CV= 14,49 %

En la Tabla 8, el análisis de varianza para el contenido de materia orgánica mostró un efecto significativo lo que confirma que el contenido de materia orgánica presentó variación entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variabilidad del 14,49 %.

5.1.1.6 Nitrógeno total

Tabla 9

ANOVA del contenido de nitrógeno total del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	6,8	2	3,40	50,87	<0,01
Error total	0,2	3	0,07		
Total	7	5			

CV= 24,01 %

En la Tabla 9, el análisis de varianza para el contenido de nitrógeno total identificó diferencias significativas evidenciando que el aporte de

nitrógeno fue diferente entre biol frutado, biol sangre y abono, con un coeficiente de variabilidad del 24,01 %.

5.1.1.7 Fósforo total

Tabla 10

ANOVA del contenido de fósforo (P) total del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	20 347 555,89	2	10 173 777.95	158,37	<0,01
Error total	192 721,14	3	64 240.38		
Total	20 540 277,03	5			

CV= 10,95 %

En la Tabla 10, el análisis de varianza para el contenido de fósforo total (P) reportó diferencias altamente significativas demostrando que el contenido total de fósforo varió de manera importante según el tipo de biol o abono, con un coeficiente de variabilidad del 10,95 %.

5.1.1.8 Zinc

Tabla 11

ANOVA del contenido de zinc (Zn) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	7 679,82	2	3 839,91	2 480,03	<0,01
Error total	4,65	3	1,55		
Total	7 684,47	5			

CV= 3,29 %

En la Tabla 11, el análisis de varianza para el contenido de zinc (Zn) mostró un efecto altamente significativo confirmando variaciones claras en la concentración de Zn entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad del 3,29 %.

5.1.1.9 Magnesio

Tabla 12

ANOVA del contenido de magnesio (Mg) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	15 855 860,96	2	7 927 930,48	149 278,47	<0,01
Error total	159,32	3	53,11		
Total	15 856 020,29	5			

CV= 0,49 %

En la Tabla 12, el análisis de varianza para el contenido de magnesio (Mg) evidenció diferencias altamente significativas indicando que la concentración de Mg fue marcadamente distinta según el biol o abono evaluado, con un coeficiente de variabilidad del 0,49 %.

5.1.1.10 Calcio

Tabla 13

ANOVA del contenido de calcio (Ca) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	96 227 898,22	2	48 113 949,11	107 185,87	<0,01
Error total	1 346,65	3	448,88		
Total	96 229 244,87	5			

CV= 0,57 %

En la Tabla 13, el análisis de varianza para el contenido de calcio (Ca), se encontraron diferencias altamente significativas lo que demuestra que el contenido de Ca presentó variación significativa entre tratamientos, con un coeficiente de variabilidad del 0,57 %.

5.1.1.11 Hierro

Tabla 14

ANOVA del contenido de hierro (Fe) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	73 507 500,04	2	36 753 750,02	1 583 758,26	<0,01
Error total	69,62	3	23,21		
Total	73 507 569,66	5			

CV= 0,19 %

En la Tabla 14, el análisis de varianza para el contenido de hierro (Fe) reportó un efecto altamente significativo evidenciando que la concentración de Fe difirió de manera marcada entre los bioles y abono, con un coeficiente de variabilidad del 0,19 %.

5.1.1.12 Potasio

Tabla 15

ANOVA del contenido de potasio (K) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	25 106 907,61	2	12 553 453,81	681,47	<0,01
Error total	55 263,15	3	18 421,05		
Total	25 162 170,76	5			

CV= 2,92 %

En la Tabla 15, el análisis de varianza para el contenido de potasio (K) mostró diferencias significativas confirmando que el contenido de K

varió según el tipo de biol o abono, con un coeficiente de variabilidad del 2,92 %.

5.1.1.13 Cobre

Tabla 16

ANOVA del contenido de cobre (Cu) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	550,09	2	275,05	1 122,64	<0,01
Error total	0,73	3	0,24		
Total	550,83	5			

CV= 4,22 %

En la Tabla 16, el análisis de varianza para el contenido de cobre (Cu) evidenció diferencias altamente significativas lo que indica variación clara en la concentración de Cu entre los materiales evaluados, con un coeficiente de variabilidad del 4,22 %.

5.1.1.14 Manganeso

Tabla 17

ANOVA del contenido de manganeso (Mn) del biol (biol frutado y biol sangre) y abono

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tipo de biofertilizante	202 850,60	2	101 425,30	61 781,91	<0,01
Error total	4,93	3	1,64		
Total	202 855,53	5			

CV= 0,89 %

En la Tabla 17, el análisis de varianza para el contenido de manganeso (Mn) mostró un efecto altamente significativo confirmando que el contenido de Mn varió de manera marcada entre biol frutado, biol sangre y abono, con un coeficiente de variabilidad del 0,89 %.

5.1.1.15 Comparación de medias

De esta manera, como se observa que las características fisicoquímicas del biol frutado (BFRU) y del biol de sangre (BSAN) difieren del abono de referencia (ABONO), en la Tabla 18 se muestra un resumen de cada característica y su promedio, esto evidencia que el tipo de sustrato de elaboración determina un perfil contrastante de acidez, carga iónica y composición nutrimental.

En términos de estado físico, ambos bioles presentaron mayor humedad que el abono, coherente con su naturaleza líquida y con una mayor movilidad potencial de solutos al aplicarse al suelo. En la relación C:

N se definieron perfiles opuestos, BFRU mostró un carácter más carbonado (C: N más alto), mientras que BSAN presentó un carácter marcadamente nitrogenado (C: N más bajo), consistente con una mayor proporción de compuestos nitrogenados derivados de residuos proteicos.

Tabla 18

Resultados del análisis del biol frutado (BFRU), biol de sangre (BSAN) y abono natural (estiércol)

Parámetro	Unidad	BFRU	BSAN	ABONO
Humedad	%	80,10 ± 0,9 a	77,50 ± 0,14 a	36,70± 1,90 b
Relación C: N		22,35 ± 4,45 a	4,35 ± 0,07 b	13,60 ± 0,56 ab
pH		3,6 ± 00 a	4,2 ± 00 b	7,85 ± 0,07 c
CE	mS/m	330,20 ± 39,95 b	478,50 ± 3,53 a	484,80 ± 7,42 a
MO	g/kg	96,40 ± 10,47 b	190,8 ± 28,5 a	75,85 ± 0,49 b
N total	%	0,25 ± 0,07 b	2,58 ± 0,42 a	0,39 ± 0,12 b
P total	mg/kg	1054 ± 12,30 b	969,5 ± 438,7 b	4918 ± 11,03 a
Zn	mg/kg	13,50 ± 2,12 b	11,55 ± 0,3 b	88,4 ± 0,14 a
Mg	mg/kg	384,60 ± 7,07 b	294,20 ± 7,142 c	3787 ± 7,63 a
Ca	mg/kg	836,5 0± 23,41 c	966,60 ± 27,37 b	9396 ± 7,07 a
Fe	mg/kg	114,10 ± 00 b	113,90 ± 00 b	7539 ± 8,34 a
K	mg/kg	3261 ± 218,50 b	3132 ± 85,49 b	7535 ± 14,64 a
Cu	mg/kg	5,35 ± 0,77 b	4,55 ± 0,07 b	25.25 ± 0,35 a
Mn	mg/kg	21,80 ± 0,42 b	6,55 ± 0,49 c	404 ± 2.12 a

Nota: Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos (bioles y abono) según la prueba de comparación de medias aplicada Tukey ($p < 0,05$). Tratamientos con letras distintas presentan diferencias estadísticas entre sí.

El pH confirmó comportamientos contrastantes: ambos bioles fueron ácidos (BFRU más ácido que BSAN) y el abono fue alcalino. Este patrón es relevante porque el pH condiciona la especiación y disponibilidad de

nutrientes, por lo que se espera que los bioles actúen principalmente modulando la química de la solución del suelo (acidificación localizada), mientras que el abono tendería a desplazar el sistema hacia condiciones más alcalinas.

La conductividad eléctrica mostró que BSAN y ABONO concentran mayor carga iónica que BFRU, sugiriendo una mayor presencia de sales y especies disueltas en esos insumos. En paralelo, BSAN destacó por mayor materia orgánica y mayor nitrógeno total, lo que lo perfila como una enmienda con mayor aporte orgánico y nitrogenado, mientras que BFRU presentó valores inferiores de N y un perfil más orientado a fracción orgánica carbonada. En fósforo total, el ABONO fue el insumo con mayor concentración, y ambos bioles mostraron valores menores, indicando que el aporte fosforado principal recae en el abono y no en los bioles.

En cuanto a cationes y micronutrientes, el ABONO concentró en general mayores niveles que los bioles, reflejando un perfil de mayor carga mineral. Entre bioles, se observaron diferencias puntuales en el balance catiónico (Ca y Mg) y en Mn, lo que sugiere que el tipo de residuo de partida no solo modifica macronutrientes, sino también el patrón relativo de elementos secundarios y micronutrientes.

En síntesis, ABONO se define como una fuente predominantemente mineral (con mayor P y mayores cationes/micronutrientes), BSAN como una fuente con mayor densidad nitrogenada y orgánica (con mayor MO y N total, y alta carga iónica), y BFRU como un biol más ácido, con menor carga iónica y un perfil relativamente más carbonado. Estas diferencias justifican evaluar, en el objetivo siguiente, cómo cada insumo modifica pH, CE, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes en un suelo salino, donde la respuesta depende tanto de la carga iónica aportada como de la capacidad de modificar la química del suelo.

5.1.2 Efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos

Tabla 19

Resultados del análisis fisicoquímico del suelo salino de La Yarada – Los Palos

Muestra	Unidades	Suelo inicial
pH		6,85 ± 0,07
CE	mS/m	836,00 ± 24,04
$CaCO_3$	eq %	2,00 ± 0,99
Arena	%	74,70 ± 2,97
Arcilla	%	8,50 ± 1,41
Limo	%	16,85 ± 1,48

Muestra	Unidades	Suelo inicial
Clase textural	%	Franco Arenosa
MO	g/kg	3,70 ± 0,71
N total	%	0,03 ± 0,01
P disp.	mg/kg	258,65 ± 10,11
K disp.	mg/kg	194,00 ± 95,04
Ca	cmol/kg	47,05 ± 0,21
Mg	cmol/kg	5,45 ± 0,27
Na	cmol/kg	13,21 ± 0,74
K	cmol/kg	1,61 ± 0,08
Cr	mg/kg	14,82 ± 0,21
Sr	mg/kg	61,91 ± 0,02
Co	mg/kg	5,97 ± 0,03
Cd	mg/kg	1,00 ± 0,00
Mn	mg/kg	552,50 ± 0,71
Al	mg/kg	11 351,30 ± 1,84
Ba	mg/kg	62,95 ± 1,34
As	mg/kg	0,00 ± 0,00
Zn	mg/kg	68,80 ± 0,11
Pb	mg/kg	15,02 ± 0,06
Fe	mg/kg	19 364,30 ± 1,13
Cu	mg/kg	30,00 ± 1,41

En la Tabla 19 se presentan las características fisicoquímicas del suelo salino inicial procedente de La Yarada–Los Palos. El pH fue de 6,85 ± 0,07, por lo que la reacción del suelo se ubicó cerca de la neutralidad; sin embargo, la conductividad eléctrica fue de 836,00 ± 24,04 mS/m, valor que confirmó una condición inicial restrictiva por acumulación de sales solubles antes de la aplicación de los tratamientos.

La textura franco arenosa, asociada al predominio de arena (74,70 ± 2,97 %) y a la baja proporción de arcilla (8,50 ± 1,41 %), indicó un suelo

con limitada capacidad de retención de agua, nutrientes y sales en comparación con texturas más finas. Esta condición fue relevante para interpretar los cambios posteriores, porque la respuesta del suelo frente al riego y a las enmiendas pudo expresarse con mayor rapidez en la solución edáfica.

En términos de fertilidad, el suelo inicial presentó bajo contenido de materia orgánica (3,70 ± 0,71 g/kg) y nitrógeno total reducido (0,03 ± 0,01 %), lo que indicó una reserva orgánica y nitrogenada limitada. En contraste, el fósforo disponible fue elevado (258,65 ± 10,11 mg/kg), mientras que el potasio disponible mostró mayor dispersión entre réplicas (194,00 ± 95,04 mg/kg), por lo que su interpretación requirió considerar la heterogeneidad propia del suelo y la influencia de los cationes intercambiables.

El complejo de intercambio estuvo dominado por calcio (47,05 ± 0,21 cmol/kg), seguido por sodio (13,21 ± 0,74 cmol/kg) y magnesio (5,45 ± 0,27 cmol/kg). La presencia elevada de sodio intercambiable constituyó un indicador importante para evaluar la respuesta del suelo, debido a que los tratamientos debían interpretarse no solo por la reducción de conductividad eléctrica, sino también por el cambio relativo entre Na, Ca y Mg.

Tabla 20

Resultados del análisis del agua de riego (pozo de la UNJBG sede Pichones)

Parámetro	Unidades	Promedio ± DE
pH		3,733 ± 0,153
CE	µS/cm	1 284,333 ± 14,012
Cl	mg/L	53,333 ± 4,726
NO_3	mg/L	3,927 ± 0,965
SO_4	mg/L	28,033 ± 1,266
CO_3	mg$CaCO_3$/L	0,000 ± 0,000
HCO_3	mg$CaCO_3$/L	0,000 ± 0,000
RAS		2,267 ± 0,152
Ca	meq/L	2,047 ± 0,015
Mg	meq/L	0,853 ± 0,006
K	meq/L	0,230 ± 0,000
Na	meq/L	2,727 ± 0,172
Fe	meq/L	0,033 ± 0,012
Cu	meq/L	0,073 ± 0,006
Zn	meq/L	0,253 ± 0,025

En la Tabla 20 se presentan las características del agua de riego utilizada durante el ensayo. El agua mostró un pH ácido (3,733 ± 0,153) y una conductividad eléctrica de 1 284,333 ± 14,012 µS/cm, por lo que representó una fuente de sales de intensidad moderada dentro del sistema experimental. Esta condición fue considerada para interpretar los cambios de pH y conductividad eléctrica observados en el suelo tratado.

En la composición aniónica del agua, los cloruros, nitratos y sulfatos se mantuvieron en concentraciones bajas respecto a los valores

usualmente considerados restrictivos para riego. Además, la ausencia de carbonatos y bicarbonatos indicó alcalinidad prácticamente nula, por lo que el agua no presentó una tendencia a incrementar la alcalinidad del sistema suelo–solución por esta vía.

El RAS fue bajo (2,267 ± 0,152), lo que indicó un bajo riesgo de sodificación atribuible al agua de riego. En consecuencia, los cambios posteriores en sodio intercambiable y conductividad eléctrica se interpretaron principalmente en función del suelo inicial, los tratamientos aplicados y la movilización de sales durante el manejo experimental.

Los resultados obtenidos por tratamiento y repetición se muestran en el Anexo 4 (Tabla 47, 48, 49 y 50) y sus respectivas gráficas en el Anexo 5.

5.1.2.1 pH

Tabla 21

ANOVA del pH final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	0,0684	8	0,00855	10,6875	8,90E-4
Error total	0,0072	9	0,00080		
Total (corr.)	0,0756	17			

CV= 0,89 %

En la Tabla 21 se presenta el ANOVA del pH final del suelo según tratamiento. El análisis indicó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 0,89 %, lo que evidenció baja dispersión relativa de los datos. Aunque el efecto fue significativo, la magnitud de cambio fue reducida, debido a que los promedios se mantuvieron en un intervalo cercano a la neutralidad.

Tabla 22

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al pH final del suelo según el tratamiento

Tratamiento	Media	Significancia
T0: 0% Testigo	6,88 ± 0,03	a
T0: 5% Biol frutado + compost	6,82 ± 0,03	a b
T0: 5% Biol sangre + compost	6,81 ± 0,03	a b
T0: 10% Biol frutado + compost	6,80 ± 0,03	a b
T0: 5% Biol frutado	6,78 ± 0,03	a b
T0: 10% Biol sangre + compost	6,78 ± 0,03	a b
T0: 5% Biol sangre	6,75 ± 0,03	b c
T0: 10% Biol frutado	6,72 ± 0,03	b c
T0: 10% Biol sangre	6,65 ± 0,03	c

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

En la Tabla 22 se presenta la prueba de Tukey para el pH final del suelo. El tratamiento T0 (testigo) registró el mayor promedio (6,88 ± 0,03; grupo "a"), mientras que el tratamiento T4 (10 % de biol de sangre) presentó el menor valor (6,65 ± 0,03; grupo "c"). Asimismo, los tratamientos T5 (5 % de biol frutado + compost), T7 (5 % de biol sangre + compost), T6 (10 % de biol frutado + compost) **y** T8 (10 % de biol sangre + compost) se ubicaron

en el grupo "ab", sin diferenciarse significativamente del testigo. Los resultados evidencian que la aplicación de biol, especialmente el biol de sangre al 10 %, favoreció una ligera disminución del pH, manteniendo el suelo dentro de un rango cercano a la neutralidad.

5.1.2.2 Conductividad

Tabla 23

ANOVA de la conductividad final (CE) del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	8,684444	8	1,085556	217,111	2,24E-9
Error total	0,045	9	0,005		
Total	8,729444	17			

CV= 0,89 %

En la Tabla 23 se presenta el ANOVA de la conductividad eléctrica final del suelo. El tratamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la CE, con un coeficiente de variación de 0,89 %, lo que indicó alta consistencia de los datos. Este resultado confirmó que la reducción de la salinidad final dependió del tipo de tratamiento aplicado.

Tabla 24

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto a la CE final del suelo según el tratamiento

Tratamiento	Media± DE mS/cm	Significancia
T0: 0% Testigo	7,80 ± 0,07	a
T3: 5% Biol sangre	7,20 ± 0,07	b
T1: 5% Biol frutado	7,00 ± 0,07	b c

Tratamiento	Media± DE mS/cm	Significancia
T4: 10% Biol sangre	6,80 ± 0,07	c d
T2: 10% Biol frutado	6,60 ± 0,07	d
T5: 5% Biol frutado + compost	6,20 ± 0,07	e
T7: 5% Biol sangre + compost	6,00 ± 0,07	e f
T6: 10% Biol frutado + compost	5,80 ± 0,07	f
T8: 10% Biol sangre + compost	5,50 ± 0,07	g

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

En la Tabla 24 se presenta la prueba de Tukey para la conductividad eléctrica (CE) final del suelo. El tratamiento T0 (testigo) presentó el mayor valor (7,80 ± 0,07 mS/cm; grupo "a"), mientras que el tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + compost) registró el menor promedio (5,50 ± 0,07 mS/cm; grupo "g"). Asimismo, los tratamientos T6 (10 % de biol frutado + compost) y T7 (5 % de biol sangre + compost) también mostraron valores bajos de CE. Los resultados evidencian que la aplicación de biol en combinación con compost favoreció una mayor reducción de las sales solubles del suelo.

5.1.2.3 Materia orgánica

Tabla 25

ANOVA del contenido de materia orgánica (MO) final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	42,2531	8	5,2816	77,1605	2,20E-07
Error total	0,6161	9	0,0685		
Total (corr.)	42,8691	17			

CV= 4,13 %

En la Tabla 25 se presenta el ANOVA del contenido de materia orgánica final del suelo. El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 4,13 %, lo que indicó una dispersión baja en los datos. Por tanto, el incremento de materia orgánica se asoció con la aplicación de biol, compost o su combinación.

Tabla 26

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de materia orgánica final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (g/kg)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	8,63 ± 0,26	a
T6: 10% Biol frutado + compost	8,02 ± 0,26	a
T5: 5% Biol frutado + compost	7,40 ± 0,26	b
T7: 5% Biol sangre + compost	7,40 ± 0,26	b
T2: 10% Biol frutado	6,17 ± 0,26	c
T4: 10% Biol sangre	5,55 ± 0,26	c
T1: 5% Biol frutado	5,24 ± 0,26	c
T3: 5% Biol sangre	4,93 ± 0,26	d
T0: Testigo	3,70 ± 0,26	e

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

En la Tabla 26 se presenta la prueba de Tukey para el contenido de materia orgánica final del suelo. Los mayores valores se registraron en los tratamientos T8 (10 % de biol de sangre + compost) con 8,63 ± 0,26 g/kg y T6 (10 % de biol frutado + compost**)** con 8,02 ± 0,26 g/kg, ambos

pertenecientes al grupo estadístico "a". Por el contrario, el tratamiento T0 (testigo) presentó el menor valor (3,70 ± 0,26 g/kg; grupo "e"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol en combinación con compost favoreció un mayor contenido de materia orgánica en el suelo.

5.1.2.4 Nitrógeno total

Tabla 27

ANOVA del contenido de N total final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	0,0160	8	0,0020	11,9048	5,86E-04
Error total	0,0015	9	0,0002		
Total (corr.)	0,0175	17			

CV= 13,99 %

En la Tabla 27 se presenta el ANOVA del nitrógeno total final del suelo. El efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 13,99 %. Este CV evidenció una dispersión mayor que en otras variables químicas, pero aceptable para interpretar la tendencia general de incremento del nitrógeno bajo los tratamientos orgánicos.

Tabla 28

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de N total final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (%)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	0,13 ± 0,02	a
T7: 5% Biol sangre + compost	0,13 ± 0,01	a
T4: 10% Biol sangre	0,11 ± 0,02	a
T6: 10% Biol frutado + compost	0,11 ± 0,02	a
T5: 5% Biol frutado + compost	0,10 ± 0,02	a
T3: 5% Biol sangre	0,09 ± 0,01	a
T2: 10% Biol frutado	0,08 ± 0,01	b
T1: 5% Biol frutado	0,07 ± 0,01	b
T0: Testigo	0,03 ± 0,01	b

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

En la Tabla 28 se presenta la prueba de Tukey para el contenido de nitrógeno total final del suelo. Los mayores valores se registraron en los tratamientos T8 (10 % de biol de sangre + compost) **y** T7 (5 % de biol de sangre + compost)**,** ambos con un promedio de 0,13 %, pertenecientes al grupo estadístico "a". Asimismo, los tratamientos T4 (10 % de biol de sangre), T6 (10 % de biol frutado + compost), T5 (5 % de biol frutado + compost) **y** T3 (5 % de biol de sangre) también formaron parte de este grupo. Por el contrario, **el** tratamiento T0 (testigo) registró el menor contenido de nitrógeno total (0,03 ± 0,01 %; grupo "b"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol de sangre y su combinación con compost favorecieron un mayor aporte de nitrógeno al suelo.

5.1.2.5 Fósforo

Tabla 29

ANOVA del contenido de P disponible final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	329388,7094	8	41173,5887	19,6944	7,73E-05
Error total	18815,5751	9	2090,6195		
Total	348204,2845	17			

CV= 8,96 %

En la Tabla 29 se presenta el ANOVA del fósforo disponible final del suelo. El análisis indicó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 8,96 %. Este resultado evidenció que la disponibilidad de fósforo varió en función del tratamiento aplicado.

Tabla 30

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de P disponible final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (mg/kg)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	711,29 ± 45,72	a
T6: 10% Biol frutado + compost	646,62 ± 45,72	a
T7: 5% Biol sangre + compost	614,29 ± 45,72	a
T5: 5% Biol frutado + compost	581,96 ± 45,72	a
T4: 10% Biol sangre	517,30 ± 45,72	b
T2: 10% Biol frutado	452,64 ± 45,72	b
T3: 5% Biol sangre	420,31 ± 45,72	b
T1: 5% Biol frutado	387,97 ± 45,72	b
T0: Testigo	258,65 ± 45,72	c

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

En la Tabla 30 se presenta la prueba de Tukey para el fósforo disponible final. Los tratamientos con biol + compost conformaron el grupo de mayores valores, destacando **el** tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + compost) con el promedio más alto (711,29 ± 45,72 mg/kg; grupo a). Asimismo, los tratamientos T6 (10 % de biol frutado + compost), T7 (5 % de biol de sangre + compost) y T5 (5 % de biol frutado + compost) también se ubicaron dentro del grupo de mayor significancia estadística. Los bioles aplicados sin compost se ubicaron en un nivel intermedio (grupo b), mientras que el testigo presentó el menor valor (258,65 ± 45,72 mg/kg; grupo c). La tendencia indicó que el compost incrementó la disponibilidad de fósforo y que la mayor dosis de biol reforzó este efecto, especialmente con biol de sangre.

5.1.2.6 Potasio

Tabla 31

ANOVA del contenido K disponible final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	45854,3549	8	5731,7944	43,8611	2,60E-06
Error total	1176,1250	9	130,6806		
Total (corr.)	47030,4799	17			

CV= 4,05 %

En la Tabla 31 se presenta el ANOVA del potasio disponible final del suelo. El tratamiento generó diferencias estadísticamente significativas, con un coeficiente de variación de 4,05 %. Por tanto, los cambios en K disponible se relacionaron con el aporte de las enmiendas y con la mayor retención de cationes en presencia de materia orgánica.

Tabla 32

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de K final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± de (mg/kg)	Significancia
T6: 10% Biol frutado + compost	355,67 ± 11,43	a
T8: 10% Biol sangre + compost	339,50 ± 11,43	a
T5: 5% Biol frutado + compost	315,25 ± 11,43	a
T7: 5% Biol sangre + compost	307,17 ± 11,43	b
T2: 10% Biol frutado	291,00 ± 11,43	b
T4: 10% Biol sangre	258,67 ± 11,43	c
T1: 5% Biol frutado	250,58 ± 11,43	c
T3: 5% Biol sangre	226,33 ± 11,43	c
T0: Testigo	194,00 ± 11,43	d

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

En la Tabla 32 se presenta la prueba de Tukey para el potasio disponible final. El tratamiento T6 (10 % de biol frutado + compost) presentó el mayor contenido de potasio, con un promedio de 355,67 ± 11,43 mg/kg, ubicándose en el grupo estadístico "a". Asimismo, los tratamientos T8 (10 % de biol de sangre + compost) **y** T5 (5 % de biol frutado + compost) también formaron parte del grupo "a", con valores de 339,50 ± 11,43 mg/kg y 315,25 ± 11,43 mg/kg, respectivamente. Por otro lado, el tratamiento T0 (testigo) presentó el menor contenido de potasio disponible, con un promedio de 194,00 ± 11,43 mg/kg, correspondiendo al grupo estadístico "d". Los resultados evidencian que la incorporación de compost favoreció la disponibilidad de potasio en el suelo, observándose una respuesta ligeramente superior en los tratamientos con biol frutado, especialmente en el tratamiento T6.

5.1.2.7 Magnesio

Tabla 33

ANOVA del contenido de Mg intercambiable final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	21,3858	8	2,6732	18,0000	1,12E-04
Error total	1,3366	9	0,1485		
Total (corr.)	22,7224	17			

CV= 5,44 %

En la Tabla 33 se presenta el ANOVA del magnesio intercambiable final del suelo. El efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 5,44 %, lo que indicó una variabilidad controlada. Este resultado señaló que el contenido de Mg intercambiable respondió al tipo de enmienda aplicada.

Tabla 34

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Mg intercambiable final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (cmol(+)/kg)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + abono	8,72 ± 0,39	a
T7: 10% Biol frutado + abono	8,18 ± 0,39	a
T6: 5% Biol sangre + abono	8,18 ± 0,39	a
T5: 5% Biol frutado + abono	7,63 ± 0,39	a
T4: 10% Biol sangre	7,09 ± 0,39	b
T3: 5% Biol sangre	6,54 ± 0,39	b
T2: 5% Biol frutado	6,00 ± 0,39	b
T1: 10% Biol frutado	6,00 ± 0,39	b
T0: Testigo	5,45 ± 0,39	c

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

En la Tabla 34 se presenta la prueba de Tukey para el magnesio intercambiable final. El tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + abono) presentó el mayor contenido de magnesio intercambiable, con un promedio de 8,72 ± 0,39 cmol(+)/kg, ubicándose en el grupo estadístico "a". Asimismo, los tratamientos T7 (10 % de biol frutado + abono), T6 (5 % de biol de sangre + abono) y T5 (5 % de biol frutado + abono) también formaron

parte del grupo "a", registrando valores elevados de magnesio intercambiable. Por otro lado, los tratamientos con aplicación exclusiva de biol, sin abono, se ubicaron en un nivel intermedio (grupo "b"), mientras que el tratamiento T0 (testigo) presentó el menor promedio, con 5,45 ± 0,39 cmol(+)/kg, correspondiendo al grupo estadístico "c". Estos resultados evidencian que la combinación de biol y abono favoreció el incremento del magnesio intercambiable en el suelo, observándose una respuesta más destacada en el tratamiento T8.

5.1.2.8 Calcio

Tabla 35

ANOVA del contenido de Ca intercambiable final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	2481,8065	8	310,2258	112,1111	4,23E-08
Error total	24,9042	9	2,7671		
Total (corr.)	2506,7106	17			

CV= 2,49 %

En la Tabla 35 se presenta el ANOVA del calcio intercambiable final del suelo. El tratamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 2,49 %, lo que evidenció baja dispersión de

los datos. La respuesta del Ca fue una de las más diferenciadas entre tratamientos.

Tabla 36

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Ca intercambiable final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (cmol(+)/kg)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	84,69 ± 1,66	a
T7: 5% Biol sangre + compost	79,98 ± 1,66	a
T4: 10% Biol sangre	75,28 ± 1,66	b
T6: 10% Biol frutado + compost	70,57 ± 1,66	b
T5: 5% Biol frutado + compost	68,22 ± 1,66	c
T3: 5% Biol sangre	65,87 ± 1,66	c
T2: 10% Biol frutado	56,46 ± 1,66	d
T1: 5% Biol frutado	54,11 ± 1,66	d
T0: Testigo	47,05 ± 1,66	e

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

En la Tabla 36 se presenta la prueba de Tukey para el calcio intercambiable final. El tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + compost) presentó el mayor promedio (84,69 ± 1,66 cmol(+)/kg), seguido por el tratamiento T7 (5 % de biol de sangre + compost) con 79,98 ± 1,66 cmol(+)/kg, ambos pertenecientes al grupo estadístico "a". Por el contrario, **el** tratamiento T0 (testigo) registró el menor valor (47,05 ± 1,66 cmol(+)/kg; grupo "e"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol de sangre

en combinación con compost favoreció una mayor acumulación de calcio intercambiable en el suelo.

5.1.2.9 Sodio

Tabla 37

ANOVA del contenido de Na intercambiable final del suelo según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	51,2262	8	6,4033	23,7778	3,53E-05
Error total	2,4237	9	0,2693		
Total	53,6498	17			

CV= 4,78 %

En la Tabla 37 se presenta el ANOVA del sodio intercambiable final del suelo. El tratamiento produjo diferencias estadísticamente significativas con un coeficiente de variación de 4,78 %. Este resultado confirmó que la variación del Na intercambiable estuvo asociada al manejo aplicado.

Tabla 38

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al contenido de Na intercambiable final del suelo según tratamiento

Tratamiento	Media± DE (cmol(+)/kg)	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	8,07 ± 0,52	a
T6: 10% Biol frutado + compost	8,81 ± 0,52	a
T7: 5% Biol sangre + compost	9,54 ± 0,52	b
T5: 5% Biol frutado + compost	10,27 ± 0,52	b
T4: 10% Biol sangre	11,01 ± 0,52	b

Tratamiento	Media± DE (cmol(+)/kg)	Significancia
T2: 10% Biol frutado	11,74 ± 0,52	c
T1: 5% Biol frutado	12,48 ± 0,52	c
T3: 5% Biol sangre	12,48 ± 0,52	c
T0: Testigo	13,21 ± 0,52	c

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

En la Tabla 38 se presenta la prueba de Tukey para el sodio intercambiable final. Los menores valores se registraron en los tratamientos T8 (10 % de biol de sangre + compost) con 8,07 ± 0,52 cmol(+)/kg y T6 (10 % de biol frutado + compost) con 8,81 ± 0,52 cmol(+)/kg, ambos pertenecientes al grupo estadístico "a". Por el contrario, el tratamiento T0 (testigo) presentó el mayor valor (13,21 ± 0,52 cmol(+)/kg; grupo "c"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol en combinación con compost favoreció una mayor reducción del sodio intercambiable en el suelo, destacando los tratamientos T8 y T6.

5.1.2.10 pH del lixiviado

En la Tabla 39 se presenta el ANOVA del pH del lixiviado obtenido del lavado de las macetas. El efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 0,42 %. La diferencia estadística correspondió a cambios leves de pH, debido a que todos los promedios se mantuvieron próximos a la neutralidad.

Tabla 39

Análisis de varianza del pH del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	0,0684	8	0,00855	10,6875	8,90E-4
Error total	0,0072	9	0,00080		
Total	0,0756	17			

C.V. = 0,42 %

En la Tabla 39 se presenta el ANOVA del pH del lixiviado obtenido del lavado de las macetas. El efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 0,42 %. La diferencia estadística correspondió a cambios leves de pH, debido a que todos los promedios se mantuvieron próximos a la neutralidad.

Tabla 40

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al pH del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo

Tratamiento	Media± DE	Significancia
T0: Testigo	6,76 ± 0,03	a
T5: 5% Biol frutado + compost	6,70 ± 0,03	a b
T7: 5% Biol sangre + compost	6,69 ± 0,03	a b
T6: 10% Biol frutado + compost	6,68 ± 0,03	a b
T1: 5% Biol frutado	6,66 ± 0,03	a b
T8: 10% Biol sangre + compost	6,66 ± 0,03	a b
T3: 5% Biol sangre	6,63 ± 0,03	b c
T2: 10% Biol frutado	6,60 ± 0,03	b c
T4: 10% Biol sangre	6,53 ± 0,03	c

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

En la Tabla 40 se presenta la prueba de Tukey para el pH del lixiviado. El tratamiento T0 (testigo) registró el mayor promedio (6,76 ± 0,03; grupo "a"), mientras que el tratamiento T4 (10 % de biol de sangre) presentó el menor valor (6,53 ± 0,03; grupo "c"). Asimismo, los tratamientos T5 (5 % de biol frutado + compost), T7 (5 % de biol sangre + compost), T6 (10 % de biol frutado + compost) **y** T8 (10 % de biol sangre + compost) se ubicaron en el grupo "ab", sin diferenciarse significativamente del testigo. Los resultados sugieren que la aplicación de compost ejerció un efecto amortiguador sobre el pH del lixiviado, mientras que los bioles sin compost generaron una ligera acidificación.

5.1.2.11 Conductividad eléctrica del lixiviado

Tabla 41

Análisis de varianza de la CE del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	1,389511	8	0,173689	217,111	2,24E-9
Error	0,007200	9	0,000800		
Total	1,396711	17			

C.V. = 5,21 %

En la Tabla 41 se presenta el ANOVA de la conductividad eléctrica del lixiviado. Los tratamientos ejercieron un efecto estadísticamente

significativo sobre la CE, con un coeficiente de variación de 5,21 %. Este resultado indicó que la cantidad de sales solubles arrastradas durante el lavado con agua destilada varió de manera consistente entre el testigo y los suelos tratados.

Tabla 42

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto a la CE del agua de lavado de las macetas por tratamiento del suelo

Tratamiento	Media± DE	Significancia
T0: Testigo	3,12 ± 0,03	a
T3: 5% Biol sangre	2,88 ± 0,03	b
T1: 5% Biol frutado	2,80 ± 0,03	b c
T4: 10% Biol sangre	2,72 ± 0,03	c d
T2: 10% Biol frutado	2,64 ± 0,03	d
T5: 5% Biol frutado + compost	2,48 ± 0,03	e
T7: 5% Biol sangre + compost	2,40 ± 0,03	e f
T6: 10% Biol frutado + compost	2,32 ± 0,03	f
T8: 10% Biol sangre + compost	2,20 ± 0,03	g

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

En la Tabla 42 se presenta la prueba de Tukey para la conductividad eléctrica (CE) del lixiviado. El tratamiento T0 (testigo**)** registró el mayor promedio (3,12 ± 0,03 mS/cm; grupo "a"), mientras que el tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + compost) presentó el menor valor (2,20 ± 0,03 mS/cm; grupo "g"), equivalente a una reducción aproximada de 29,5 % respecto al testigo. Asimismo, los tratamientos T6 (10 % de biol frutado + compost) **y** T7 (5 % de biol sangre + compost) registraron valores bajos de CE. Los resultados evidencian que la aplicación de biol en

combinación con compost favoreció una mayor reducción de las sales solubles movilizadas durante el lavado del suelo.

5.1.3 Germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre)

Los resultados obtenidos por tratamiento y repetición se muestran en el Anexo 4 (Tabla 51, 52 y 53) y sus respectivos gráficos en el Anexo 5.

5.1.3.1 Índice de germinación en placas Petri

En la Tabla 43 se presenta el ANOVA del índice de germinación de *Lactuca sativa* L. en placas Petri. El tratamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 1,96 %. Este resultado evidenció que la respuesta germinativa al lixiviado dependió del tratamiento aplicado al suelo.

Tabla 43

ANOVA del índice de germinación de (*Lactuca sativa* L.) *en placas Petri por tratamiento*

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	1964	8	245,5	122,75	2,83E-8
Error total	18	9	2		
Total (corr.)	1982	17			

CV = 1,96 %

En la Tabla 43 se presenta el ANOVA del índice de germinación de *Lactuca sativa* L. en placas Petri. El tratamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 1,96 %. Este resultado evidenció que la respuesta germinativa al lixiviado dependió del tratamiento aplicado al suelo.

Tabla 44

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al índice de germinación de (*Lactuca sativa* L.) *en placas Petri por tratamiento*

Tratamiento	Media± DE	Significancia
T8: 10% Biol sangre + abono	88,00 ± 1,41	a
T6: 10% Biol frutado + abono	85,00 ± 1,41	a b
T7: 5% Biol frutado + abono	80,00 ± 1,41	b c
T5: 5% Biol sangre + abono	78,00 ± 1,41	c
T2: 10% Biol frutado	70,00 ± 1,41	d
T4: 10% Biol sangre	68,00 ± 1,41	d
T1: 5% Biol frutado	65,00 ± 1,41	d e
T3: 5% Biol sangre	62,00 ± 1,41	e
T0: Testigo	55,00 ± 1,41	f

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

En la Tabla 44 se presenta la prueba de Tukey para el índice de germinación de *Lactuca sativa L.* El tratamiento T8 (10 % de biol de sangre + abono) presentó el mayor índice de germinación (88,00 ± 1,41 %; grupo "a"), seguido por el tratamiento T6 (10 % de biol frutado + abono) con 85,00 ± 1,41 % (grupo "ab"). Por el contrario, el tratamiento T0 (testigo) registró el menor valor (55,00 ± 1,41 %; grupo "f"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol en combinación con abono favoreció significativamente la germinación, obteniéndose los mayores porcentajes en los tratamientos combinados.

5.1.3.2 Brotamiento en sustrato

Tabla 45

ANOVA del brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) *por tratamiento*

FV	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamiento	3 848,778	8	481,097	115,463	3,72E-8
Error total	37,500	9	4,166		
Total (corr.)	3 886,278	17			

CV = 7,13 %.

En la Tabla 45 se presenta el ANOVA del brotamiento de lechuga en sustrato. El efecto del tratamiento fue estadísticamente significativo, con un coeficiente de variación de 7,13 %; lo que indicó una variabilidad aceptable para la comparación entre tratamientos. Este resultado confirmó que la

emergencia de plántulas fue diferente según el tipo de biol, la dosis y la incorporación de compost.

Tabla 46

Prueba de rango múltiple de Tukey (p < 0,05) con respecto al brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) *por tratamiento*

Tratamiento	Media± DE	Significancia
T8: 10% Biol sangre + compost	49,00 ± 1,41	a
T6: 10% Biol frutado + compost	43,50 ± 2,12	a
T7: 5% Biol sangre + compost	42,00 ± 2,83	a
T5: 5% Biol frutado + compost	33,50 ± 2,12	b
T2: 10% Biol frutado	29,00 ± 1,41	b
T4: 10% Biol sangre	26,00 ± 1,41	b
T1: 5% Biol frutado	17,50 ± 3,54	c
T3: 5% Biol sangre	17,00 ± 1,41	c
T0: Testigo	0,00 ± 0,00	d

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

En la Tabla 46 se presenta la prueba de Tukey para el brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). El tratamiento T8 (10 % de biol de sangre **+ compost)** presentó el mayor promedio de brotamiento (49,00 ± 1,41; grupo "a"), seguido por los tratamientos T6 (10 % de biol frutado + compost) con 43,50 ± 2,12 y T7 (5 % de biol de sangre + compost) con 42,00 ± 2,83, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. Por el contrario, el tratamiento T0 (testigo) no registró brotamiento (0,00 ± 0,00; grupo "d"). Los resultados evidencian que la aplicación de biol en combinación con compost favoreció el brotamiento de la lechuga, destacando el tratamiento T8 como el de mejor respuesta.

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión del análisis de las características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos (biol de frutas) y desechos de camal (biol de sangre) con las de un abono natural (estiércol)

Los resultados de caracterización evidenciaron que el tipo de matriz orgánica determinó diferencias fisicoquímicas entre el biol frutado, el biol de sangre y el abono natural. En la Tabla 18, el biol frutado presentó 80,10 ± 0,90 % de humedad, el biol de sangre 77,50 ± 0,14 % y el abono 36,70 ± 1,90 %. Esta diferencia fue coherente con la naturaleza líquida de los bioles y con el carácter sólido del abono. En términos de manejo agrícola, la mayor humedad de los bioles favoreció la movilidad de compuestos solubles en el suelo, pero también exigió considerar su conductividad eléctrica y su dilución antes de la aplicación, especialmente en un suelo con restricción salina. Esta precaución coincidió con lo señalado por Ayers & Westcot (1985), quienes indicaron que la calidad salina del agua o de los insumos líquidos debe evaluarse antes de su incorporación a sistemas agrícolas bajo salinidad.

El pH también mostró un contraste definido entre las matrices evaluadas. El biol frutado fue el insumo más ácido, con pH 3,60 ± 0,00,

seguido por el biol de sangre con pH 4,20 ± 0,00; en cambio, el abono presentó pH 7,85 ± 0,07. Esta acidez de los bioles se relacionó con el proceso fermentativo anaeróbico y con la generación de ácidos orgánicos durante la degradación de residuos vegetales y animales. El comportamiento fue distinto al reportado por Ramírez (2023), quien caracterizó un biol con pH de 6,90, y también diferente al biofertilizante líquido de residuos de camal reportado por Samaniego-Vivanco et al. (2024), cuyo pH se ubicó entre 6,75 y 7,25. Por tanto, los bioles obtenidos en la presente investigación presentaron una reacción más ácida que esos antecedentes, lo cual pudo estar asociado a la formulación empleada, al tiempo de fermentación, a la proporción de melaza y a la naturaleza de los residuos utilizados.

La conductividad eléctrica confirmó que los insumos orgánicos no tuvieron la misma carga iónica. El biol frutado registró 330,20 ± 39,95 mS/m, mientras que el biol de sangre alcanzó 478,50 ± 3,53 mS/m y el abono 484,80 ± 7,42 mS/m. Expresado de forma equivalente, el biol de sangre y el abono presentaron una carga salina cercana a 4,8 dS/m, superior a la del biol frutado. Este resultado fue menor que el reportado por Ramírez (2023), quien obtuvo una CE de 16,32 mS/cm en un biol evaluado en la Universidad Nacional de Trujillo, y también menor que la CE de 16,42 dS/m

informada por Samaniego-Vivanco et al. (2024) para un biofertilizante líquido fermentado de residuos de camal. Sin embargo, aunque la CE de los bioles evaluados fue menor que la de dichos antecedentes, su aplicación en un suelo salino exigió un manejo cuidadoso, porque la adición de soluciones con sales solubles puede incrementar el estrés osmótico si no se acompaña de riego y drenaje adecuados (Ayers & Westcot, 1985; Shahid et al., 2018).

La relación C:N mostró una diferencia funcional entre los dos bioles. El biol frutado presentó una relación C:N de 22,35 ± 4,45, mientras que el biol de sangre registró 4,35 ± 0,07. Este resultado indicó que el biol frutado tuvo un perfil más carbonado, asociado a residuos vegetales y carbohidratos fermentables, mientras que el biol de sangre tuvo un carácter marcadamente nitrogenado, compatible con la naturaleza proteica de la sangre y de los subproductos de camal. Este comportamiento fue concordante con Abanto & Ricopa (2021), quienes plantearon que la sangre de camal puede transformarse en biol y actuar como biofertilizante líquido por su aporte de compuestos orgánicos nitrogenados. Asimismo, Cabos et al. (2019) reportaron variaciones importantes de N, P y K durante la fermentación de biol y biosol de estiércol bovino, lo que confirmó que la

composición del biol depende de la matriz de origen y del proceso de fermentación.

En cuanto al contenido de materia orgánica y nitrógeno total, el biol de sangre presentó los valores más altos entre los bioles. La materia orgánica fue de 190,80 ± 28,50 g/kg en el biol de sangre y de 96,40 ± 10,47 g/kg en el biol frutado; además, el nitrógeno total fue de 2,58 ± 0,42 % en el biol de sangre y de 0,25 ± 0,07 % en el biol frutado. Estos datos explicaron por qué los tratamientos con biol de sangre, principalmente cuando se combinaron con compost, mostraron una respuesta superior en el suelo para materia orgánica, nitrógeno y bases intercambiables. No obstante, el nitrógeno del biol de sangre fue menor al intervalo de 4,25 a 6,50 % reportado por Samaniego-Vivanco et al. (2024) en un biofertilizante líquido fermentado de residuos de camal. Esta diferencia indicó que, aunque ambos productos procedieron de residuos animales, la concentración final de nutrientes dependió de la formulación, proporción de insumos, estabilización y método de preparación.

El abono natural presentó el mayor aporte mineral respecto a los bioles líquidos. En la Tabla 18, el abono registró 4918 ± 11,03 mg/kg de fósforo total, 7535 ± 14,64 mg/kg de potasio, 9396 ± 7,07 mg/kg de calcio,

3787 ± 7,63 mg/kg de magnesio, 7539 ± 8,34 mg/kg de hierro, 88,40 ± 0,14 mg/kg de zinc, 25,25 ± 0,35 mg/kg de cobre y 404 ± 2,12 mg/kg de manganeso. En cambio, los bioles presentaron concentraciones menores para la mayoría de estos elementos. Este contraste mostró que el abono cumplió una función complementaria como fuente mineral y como material sólido con potencial de mejorar la retención de nutrientes. Este comportamiento fue coherente con Bot & Benites (2005), quienes señalaron que la materia orgánica mejora la capacidad de intercambio catiónico y la retención de nutrientes, y con FAO (2017), que reconoce el papel de las enmiendas orgánicas en el manejo sostenible del suelo.

En conjunto, la caracterización permitió establecer que los tres insumos no fueron equivalentes. El biol frutado se comportó como un bioinsumo ácido, con menor carga iónica y mayor relación C:N; el biol de sangre se comportó como una fuente más concentrada en materia orgánica y nitrógeno; y el abono natural actuó como fuente mineral sólida, especialmente de P, K, Ca, Mg y micronutrientes. Esta diferenciación explicó la respuesta posterior del suelo: los bioles aplicados solos modificaron la solución edáfica, pero los tratamientos combinados con compost presentaron mayor capacidad para mejorar simultáneamente fertilidad, salinidad y respuesta biológica.

5.2.2 Discusión del análisis del efecto de la aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos

El suelo inicial de La Yarada-Los Palos presentó pH de 6,85 ± 0,07 y conductividad eléctrica de 836,00 ± 24,04 mS/m, equivalente aproximadamente a 8,36 dS/m. Este valor confirmó una condición salina, debido a que los criterios clásicos consideran salino a un suelo con conductividad eléctrica del extracto de saturación mayor de 4 dS/m (Richards, 1954; Shahid et al., 2018). Además, el suelo tuvo sodio intercambiable de 13,21 ± 0,74 cmol(+)/kg, calcio de 47,05 ± 0,21 cmol(+)/kg y magnesio de 5,45 ± 0,27 cmol(+)/kg. Esta composición indicó que la interpretación del mejoramiento no debía limitarse a la CE, sino también al equilibrio entre sodio, calcio y magnesio, porque el exceso relativo de sodio afecta la estructura, dispersa arcillas y reduce la infiltración (Abrol et al., 1988; Shahid et al., 2018).

La textura franco arenosa del suelo, con 74,70 ± 2,97 % de arena, 16,85 ± 1,48 % de limo y 8,50 ± 1,41 % de arcilla, permitió interpretar una respuesta relativamente rápida frente al riego y a la aplicación de enmiendas. Esta condición textural pudo facilitar el movimiento de sales solubles durante el manejo experimental; sin embargo, también implicó baja

retención de agua y nutrientes en comparación con suelos de mayor fracción arcillosa. Por ello, el incremento de materia orgánica observado en los tratamientos con compost fue relevante, ya que la materia orgánica contribuye a mejorar la retención de agua, la agregación y la capacidad de intercambio catiónico (Bot & Benites, 2005; FAO, 2017).

El pH final del suelo presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, pero la magnitud del cambio fue reducida. El testigo registró 6,88 ± 0,03, mientras que el menor valor correspondió a 10 % de biol de sangre sin compost, con 6,65 ± 0,03. Los tratamientos con compost se mantuvieron entre 6,78 y 6,82, sin diferenciarse claramente del testigo. Esta respuesta indicó una acidificación leve asociada a los bioles, especialmente cuando se aplicaron sin compost y a la dosis de 10 %. El resultado fue distinto al reportado por Aimituma-Franco et al. (2023), quienes observaron una disminución del pH de 8,05 a 7,30 en suelos salinos tratados con estiércol de cuy y vacuno. La diferencia se explicó porque el suelo de esta investigación partió de un pH cercano a la neutralidad, mientras que el antecedente trabajó con un suelo más alcalino, con mayor margen de corrección.

La conductividad eléctrica final fue la variable que expresó con mayor claridad el efecto de los tratamientos. El testigo mantuvo la CE más alta, con 7,80 ± 0,07 mS/cm, mientras que 10 % de biol de sangre + compost registró 5,50 ± 0,07 mS/cm, lo que representó una reducción aproximada de 29,5 %. Los tratamientos con biol solo presentaron reducciones intermedias, entre 7,20 ± 0,07 mS/cm para 5 % de biol de sangre y 6,60 ± 0,07 mS/cm para 10 % de biol frutado; en cambio, los tratamientos con compost redujeron la CE a valores entre 6,20 ± 0,07 y 5,50 ± 0,07 mS/cm. Esta tendencia mostró que la incorporación de compost reforzó el efecto de los bioles sobre la salinidad del suelo. El comportamiento coincidió parcialmente con Santana & Turpo (2021), quienes redujeron la CE de un suelo de La Yarada-Los Palos de 16,6 dS/m a 6,5 dS/m mediante vermicompost, con una eficiencia promedio de 60,84 %. Aunque la reducción obtenida en la presente investigación fue menor, ambos estudios coincidieron en que las enmiendas orgánicas pueden disminuir la salinidad en suelos de la misma zona agrícola.

La reducción de CE también fue coherente con Chura (2025), quien reportó que el hidrolizado de pescado redujo la CE de un suelo salino de La Yarada-Los Palos de 20,30 dS/m a 3,84 dS/m. La magnitud de dicho antecedente fue superior a la obtenida en esta investigación, donde el

mejor tratamiento redujo la CE a 5,50 ± 0,07 mS/cm. Esta diferencia pudo relacionarse con el tipo de bioinsumo, la dosis, el manejo del lavado, la duración del ensayo y las condiciones iniciales del suelo. Sin embargo, el patrón general fue comparable, porque los bioinsumos orgánicos líquidos, cuando fueron manejados con una estrategia de enmienda, disminuyeron la salinidad y mejoraron la respuesta biológica del sustrato.

La materia orgánica final aumentó en todos los tratamientos respecto al testigo. El suelo inicial y el testigo registraron 3,70 ± 0,26 g/kg, mientras que 10 % de biol de sangre + compost alcanzó 8,63 ± 0,26 g/kg y 10 % de biol frutado + compost alcanzó 8,02 ± 0,26 g/kg. El incremento máximo fue de 4,93 g/kg respecto al testigo. Esta respuesta coincidió con Guo et al. (2022), quienes reportaron incrementos de materia orgánica entre 5,3 y 7,4 g/kg en un suelo salino-sódico tratado con enmiendas orgánicas. La similitud en la magnitud del cambio indicó que la incorporación de fuentes orgánicas puede incrementar rápidamente la reserva orgánica del suelo, aunque el efecto depende del material aplicado y de las condiciones de manejo.

El nitrógeno total también aumentó con los tratamientos orgánicos. El testigo presentó 0,03 ± 0,01 %, mientras que 10 % de biol de sangre +

compost y 5 % de biol de sangre + compost alcanzaron 0,13 %. Los tratamientos con biol frutado sin compost se ubicaron en los valores más bajos entre los tratamientos aplicados, con 0,07 ± 0,01 % para 5 % y 0,08 ± 0,01 % para 10 %. Esta diferencia fue coherente con la composición del biol de sangre, que presentó 2,58 ± 0,42 % de N total, frente a 0,25 ± 0,07 % en el biol frutado. La respuesta coincidió con Samaniego-Vivanco et al. (2024), quienes reportaron que un biofertilizante líquido de residuos de camal presentó una composición nitrogenada elevada y pudo complementar la fertilización del maíz. En esta investigación, el efecto nitrogenado no se evaluó sobre rendimiento de cultivo, pero sí se expresó en el contenido final de N del suelo.

El fósforo disponible mostró un incremento marcado respecto al testigo. El menor valor correspondió al testigo con 258,65 ± 45,72 mg/kg, mientras que el tratamiento con 10 % de biol de sangre + compost alcanzó 711,29 ± 45,72 mg/kg. También fueron altos los valores de 10 % de biol frutado + compost (646,62 ± 45,72 mg/kg), 5 % de biol de sangre + compost (614,29 ± 45,72 mg/kg) y 5 % de biol frutado + compost (581,96 ± 45,72 mg/kg). Esta tendencia indicó que el compost fue determinante para elevar el P disponible, lo cual fue consistente con la caracterización del abono, que registró 4918 ± 11,03 mg/kg de P total. Guo et al. (2022) también

reportaron aumentos de fósforo disponible bajo tratamientos con enmiendas orgánicas en un suelo salino-sódico, lo que respalda que el aporte orgánico puede modificar la disponibilidad de P mediante mineralización y cambios en la dinámica de adsorción.

El potasio disponible final siguió una tendencia similar. El testigo registró 194,00 ± 11,43 mg/kg, mientras que los mayores valores correspondieron a 10 % de biol frutado + compost (355,67 ± 11,43 mg/kg), 10 % de biol de sangre + compost (339,50 ± 11,43 mg/kg) y 5 % de biol frutado + compost (315,25 ± 11,43 mg/kg). La ligera superioridad del biol frutado en K pudo relacionarse con su composición vegetal y con el aporte del abono sólido, que presentó 7535 ± 14,64 mg/kg de K. Esta respuesta fue coherente con Cabos et al. (2019), quienes reportaron que el K fue uno de los nutrientes predominantes en bioles y biosoles derivados de estiércol bovino, aunque sus concentraciones variaron durante el proceso de fermentación.

Los cationes intercambiables Ca y Mg aumentaron principalmente en los tratamientos combinados. El magnesio pasó de 5,45 ± 0,39 cmol(+)/kg en el testigo a 8,72 ± 0,39 cmol(+)/kg en 10 % de biol de sangre + compost. El calcio aumentó de 47,05 ± 1,66 cmol(+)/kg en el testigo a 84,69 ± 1,66 cmol(+)/kg en 10 % de biol de sangre + compost. Este patrón

fue relevante porque el calcio y el magnesio contribuyen a contrarrestar los efectos del sodio en el complejo de intercambio. Andrade et al. (2020) señalaron que la recuperación de suelos salino-sódicos requiere una fuente efectiva de calcio y lavado para desplazar Na+. Aunque en esta investigación no se aplicó yeso agrícola, el aumento de Ca y Mg en los tratamientos con compost pudo contribuir al desplazamiento relativo de sodio.

El sodio intercambiable disminuyó en los tratamientos con biol y compost. El testigo presentó 13,21 ± 0,52 cmol(+)/kg, mientras que 10 % de biol de sangre + compost registró 8,07 ± 0,52 cmol(+)/kg y 10 % de biol frutado + compost registró 8,81 ± 0,52 cmol(+)/kg. La reducción máxima fue cercana a 38,9 % respecto al testigo. Este resultado fue consistente con Aimituma-Franco et al. (2023), quienes reportaron disminución del porcentaje de sodio intercambiable hasta 7 % después de aplicar enmiendas orgánicas de cuy y vacuno. En ambos casos, el uso de enmiendas orgánicas se asoció con menor sodicidad relativa, aunque la magnitud del efecto dependió del tipo de material, del contenido de cationes bivalentes y del manejo del lavado.

Los resultados del lixiviado reforzaron la interpretación de la salinidad final del suelo. La CE del lixiviado fue mayor en el testigo, con 3,12 ± 0,03 mS/cm, y menor en 10 % de biol de sangre + compost, con 2,20 ± 0,03 mS/cm. Esta reducción del 29,5 % coincidió con la disminución observada en la CE final del suelo. El patrón sugirió que los tratamientos combinados redujeron la carga de sales solubles movilizadas durante el lavado, posiblemente por menor concentración salina residual en el suelo y por una mejora en el intercambio catiónico. De acuerdo con Abrol et al. (1988), la recuperación de suelos afectados por sales depende de la remoción de sales solubles y del desplazamiento del sodio intercambiable; por tanto, la respuesta observada indicó una mejora parcial, pero aún no una recuperación completa del suelo.

En síntesis, la aplicación de biol modificó las propiedades fisicoquímicas del suelo salino, pero el efecto fue más consistente cuando se combinó con compost. El tratamiento 10 % de biol de sangre + compost presentó la mejor respuesta global: redujo la CE de 7,80 ± 0,07 a 5,50 ± 0,07 mS/cm, incrementó la materia orgánica a 8,63 ± 0,26 g/kg, aumentó el N total a 0,13 ± 0,02 %, elevó el P disponible a 711,29 ± 45,72 mg/kg y redujo el Na intercambiable a 8,07 ± 0,52 cmol(+)/kg. Sin embargo, el suelo permaneció en condición salina, ya que la CE final siguió por encima de 4

dS/m. Por ello, los resultados evidenciaron un mejoramiento parcial y experimental del suelo, no una rehabilitación completa.

5.2.3 Discusión de la evaluación de la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de frutas y biol de sangre)

La respuesta biológica de *Lactuca sativa* L. confirmó que las modificaciones químicas del suelo tuvieron efecto funcional sobre la fitocompatibilidad del medio. El índice de germinación presentó diferencias estadísticas entre tratamientos y el testigo registró el menor valor, con 55,00 ± 1,41 %. En cambio, los mayores valores correspondieron a 10 % de biol de sangre + compost (88,00 ± 1,41 %) y 10 % de biol frutado + compost (85,00 ± 1,41 %). De acuerdo con los criterios usados en bioensayos de fitotoxicidad, valores de IG superiores a 80 % indican baja o nula fitotoxicidad, mientras que valores menores reflejan inhibición del crecimiento inicial (Varnero et al., 2007; Huerta Muñoz et al., 2015). Por tanto, el testigo expresó una condición restrictiva para la germinación, mientras que los tratamientos combinados con compost mostraron mayor compatibilidad biológica.

Los bioles aplicados sin compost mejoraron el IG respecto al testigo, pero no alcanzaron los valores más altos del ensayo. El 5 % de biol de sangre registró 62,00 ± 1,41 %; el 5 % de biol frutado 65,00 ± 1,41 %; el 10 % de biol de sangre 68,00 ± 1,41 % y el 10 % de biol frutado 70,00 ± 1,41 %. Estos resultados indicaron una mejora parcial frente al testigo, pero también mostraron que el biol líquido aplicado solo no fue suficiente para eliminar la restricción salina del medio. La tendencia fue diferente a lo reportado por Alcalán-López et al. (2023), quienes indicaron que biofertilizantes líquidos de halófitas al 5 % y 10 % mantuvieron IG superiores a 80 % en varias hortalizas, mientras que dosis superiores al 10 % redujeron el IG por debajo de 80 %. En la presente investigación, el biol al 5 % y 10 % solo no alcanzó el umbral de 80 %; probablemente porque se aplicó sobre un suelo inicialmente salino y no en un medio menos restrictivo.

El efecto positivo del compost fue evidente en los tratamientos combinados. El 5 % de biol frutado + compost alcanzó 80,00 ± 1,41 %; el 5 % de biol de sangre + compost 78,00 ± 1,41 %; el 10 % de biol frutado + compost 85,00 ± 1,41 % y el 10 % de biol de sangre + compost 88,00 ± 1,41 %. Estos valores coincidieron con la reducción de la CE del suelo y del lixiviado, así como con el incremento de materia orgánica, fósforo, calcio y

magnesio. Por tanto, la mejora del IG no se atribuyó únicamente al aporte nutricional del biol, sino a la acción combinada del compost sobre la salinidad, la retención de nutrientes y el balance catiónico. Este resultado fue coherente con Rezapour et al. (2023), quienes señalaron que las estrategias combinadas de recuperación con tratamientos orgánicos y químicos pueden mejorar la salud del suelo más que la aplicación aislada de una enmienda.

La comparación con Chura (2025) permitió contextualizar la magnitud de la respuesta biológica en suelos de La Yarada-Los Palos. Dicho antecedente reportó un índice de germinación de 96,4 % con hidrolizado de pescado, frente a 12,4 % en el suelo sin tratamiento. En la presente investigación, el mayor IG fue de 88,00 ± 1,41 % con 10 % de biol de sangre + compost, mientras que el testigo alcanzó 55,00 ± 1,41 %. Aunque el valor máximo fue menor que el reportado por Chura, ambos estudios coincidieron en que los bioinsumos orgánicos pueden mejorar la respuesta biológica de suelos salinos. La diferencia de magnitud pudo deberse al tipo de bioinsumo, la composición química, la dosis, el tiempo de aplicación y el manejo de la salinidad durante el ensayo.

El brotamiento en sustrato mostró una respuesta más restrictiva que el índice de germinación en placas Petri. El testigo no registró brotamiento (0,00 ± 0,00), mientras que los tratamientos con biol solo presentaron valores de 17,00 ± 1,41 a 29,00 ± 1,41. Los mayores promedios correspondieron a 10 % de biol de sangre + compost (49,00 ± 1,41), 10 % de biol frutado + compost (43,50 ± 2,12) y 5 % de biol de sangre + compost (42,00 ± 2,83). Esta diferencia entre el bioensayo en placas y el brotamiento en sustrato se explicó porque la germinación directa en suelo integra más factores de restricción, como salinidad residual, disponibilidad de agua, resistencia física del sustrato, aireación y contacto semilla-suelo. Munns & Tester (2008) señalaron que la salinidad afecta la absorción de agua por estrés osmótico y puede limitar el crecimiento inicial, lo que fue consistente con la ausencia de brotamiento en el testigo.

Los resultados también mostraron un patrón dosis-respuesta dentro de los tratamientos con compost. En el biol frutado, el brotamiento aumentó de 33,50 ± 2,12 con 5 % + compost a 43,50 ± 2,12 con 10 % + compost. En el biol de sangre, el valor fue alto tanto a 5 % + compost (42,00 ± 2,83) como a 10 % + compost (49,00 ± 1,41). Esta tendencia fue coherente con el mayor aporte de materia orgánica y nitrógeno del biol de sangre, pero también con la función del compost como enmienda sólida. No obstante, el

incremento de dosis debe interpretarse con cautela, porque los bioles presentaron conductividad eléctrica propia y, en condiciones de campo sin lavado adecuado, dosis mayores podrían aumentar la carga salina del sistema.

La relación entre las variables químicas y biológicas fue consistente. Los tratamientos con mayor IG y brotamiento fueron los mismos que registraron menor CE, menor Na intercambiable y mayores valores de MO, P, Ca y Mg. El tratamiento 10 % de biol de sangre + compost redujo la CE del suelo a 5,50 ± 0,07 mS/cm, redujo el Na a 8,07 ± 0,52 cmol(+)/kg, elevó el Ca a 84,69 ± 1,66 cmol(+)/kg y alcanzó el mayor IG y brotamiento. Esta correspondencia indicó que la respuesta de lechuga no dependió de una sola variable, sino de la mejora conjunta de la salinidad, el balance catiónico y la disponibilidad de nutrientes. Wichern et al. (2020) señalaron que las enmiendas orgánicas pueden atenuar los efectos de la salinidad sobre la funcionalidad biológica del suelo al aportar carbono disponible y favorecer procesos de mineralización, lo que permitió interpretar la respuesta biológica observada.

En conjunto, el tercer objetivo demostró que la mejora fisicoquímica del suelo se tradujo en mayor fitocompatibilidad y emergencia inicial de lechuga. Sin embargo, el brotamiento máximo de 49,00 ± 1,41 % indicó que

aún existieron restricciones para el establecimiento vegetal, probablemente asociadas a la salinidad residual del suelo. Por tanto, los tratamientos con biol y compost mejoraron la respuesta biológica, pero no eliminaron completamente las limitaciones edáficas. Esta condición justificó la necesidad de evaluar en futuras investigaciones combinaciones con fuentes cálcicas, mayor control del lavado y ensayos de mayor duración para determinar si la mejora inicial se mantiene durante el crecimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

Se evaluó la aplicación del biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal en el suelo salino de La Yarada–Los Palos, demostrándose que los tratamientos modificaron las propiedades fisicoquímicas del suelo y la respuesta biológica de la lechuga. La aplicación conjunta de biol y compost presentó el comportamiento más favorable, principalmente el tratamiento con 10 % de biol de sangre + compost, que redujo la conductividad eléctrica, incrementó la materia orgánica y nutrientes disponibles, elevó los cationes beneficiosos y desencadenó un mejoramiento parcial el índice de germinación y el brotamiento. Por tanto, el biol evaluado mostró potencial como enmienda orgánica complementaria para el manejo experimental de suelos salinos; sin embargo, su uso fue más consistente cuando se aplicó asociado a compost y no como insumo líquido aislado.

Se analizaron y contrastaron las características fisicoquímicas del biol frutado, biol de sangre y abono natural, evidenciándose diferencias entre los insumos. El biol frutado presentó pH más ácido (3,60), menor conductividad eléctrica (330,20 ± 39,95 mS/m) y mayor relación C: N (22,35 ± 4,45), lo que indicó un perfil más carbonado y de menor carga

iónica. El biol de sangre presentó mayor materia orgánica (190,8 ± 28,5 g/kg), mayor nitrógeno total (2,58 ± 0,42 %) y relación C:N baja (4,35 ± 0,07), por lo que se caracterizó como un insumo de mayor aporte orgánico y nitrogenado, aunque con mayor carga salina. El abono natural concentró los mayores valores de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, cobre y manganeso, por lo que su función fue predominantemente mineral y complementaria frente a los bioles líquidos.

Se analizó el efecto de la aplicación del biol frutado y del biol de sangre en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino. El pH final presentó diferencias estadísticas, pero se mantuvo próximo a la neutralidad, con valores entre 6,65 y 6,88; por lo que los tratamientos no generaron una modificación extrema de la reacción del suelo. La conductividad eléctrica disminuyó de 7,80 ± 0,07 mS/cm en el testigo a 5,50 ± 0,07 mS/cm en el tratamiento con 10 % de biol de sangre + compost, lo que representó la mayor reducción de salinidad. Además, este tratamiento registró los mayores valores de materia orgánica (8,63 ± 0,26 g/kg), nitrógeno total (0,13 ± 0,02 %), fósforo disponible (711,29 ± 45,72 mg/kg), magnesio (8,72 ± 0,39 cmol(+)/kg), calcio (84,69 ± 1,66 cmol(+)/kg) y uno de los menores valores de sodio intercambiable (8,07 ± 0,52 cmol(+)/kg). Estos resultados indicaron que el

efecto de los bioles fue más favorable cuando se combinó con compost y se aplicó a la dosis de 10 %.

Se evaluó la germinación y el brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con biol, evidenciándose diferencias estadísticas entre tratamientos. El índice de germinación fue menor en el testigo (55,00 ± 1,41 %) y aumentó en los tratamientos con biol, especialmente cuando se incorporó compost. El tratamiento con 10 % de biol de sangre + compost presentó el mayor índice de germinación (88,00 ± 1,41 %) y el mayor brotamiento (49,00 ± 1,41 %), seguido por 10 % de biol frutado + compost. En consecuencia, la respuesta biológica confirmó que la reducción de la salinidad y el incremento de materia orgánica y nutrientes favorecieron la germinación y emergencia inicial de la lechuga, siendo la combinación biol + compost más efectivo que la aplicación individual de biol.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que futuras investigaciones incorporen un control microbiológico del biol antes de su aplicación agrícola, considerando coliformes totales y fecales, *Escherichia coli, Salmonella* spp. y otros indicadores sanitarios. Esta evaluación permitiría cerrar la brecha relacionada con la inocuidad del bioinsumo, especialmente cuando se utilicen desechos de camal como sangre, rumen o estiércol fresco.

Se recomienda evaluar la aplicación conjunta de biol, compost y una fuente cálcica técnicamente dosificada, como yeso agrícola u otra enmienda cálcica compatible, debido a que el manejo de suelos salinos con sodio intercambiable requiere favorecer el desplazamiento del Na+ del complejo de cambio. Esta evaluación permitiría determinar si el biol mejora su efecto cuando se combina con una estrategia específica de corrección de sodicidad.

Se recomienda realizar ensayos de mayor duración y en condiciones de campo o semicampo, con monitoreo de temperatura, humedad relativa, radiación, drenaje y evaporación. Esto permitiría validar si los cambios

observados en maceta se mantienen bajo condiciones agrícolas reales de La Yarada–Los Palos, donde la dinámica de sales depende del riego, evaporación, textura, profundidad efectiva y manejo del drenaje.

Se recomienda evaluar la viabilidad técnica, ambiental y económica del aprovechamiento de residuos orgánicos y desechos de camal para elaborar biol a escala piloto. Esta línea futura permitiría estimar costos, requerimientos operativos, riesgos sanitarios, manejo de olores, generación de residuos secundarios y posibilidad de transferencia hacia productores locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, J., & Ricopa, D. J. E. (2021). *Producción de biol, en base a sangre de Sus scrofa domesticus, camal municipal, Lamas, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://hdl.handle.net/20.500.12692/85526

Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., & Massoud, F. I. (1988). Salt-affected soils and their management (FAO Soils Bulletin No. 39). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/x5871e/x5871e00.htm

Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E., & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. R*evista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas,* *2*(1), e388. https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388

Alcalán-López, L. Á., Lastiri-Hernández, M. A., & Álvarez-Bernal, D. (2023). Efecto de biofertilizantes líquidos, obtenidos a partir de halófitas, en la germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas. *Biotecnia, 25*(3), 197-207. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.2127

Andrade, D., De Froidmont, C., & Colinet, G. (2020). Yeso agrícola y azufre para la remediación de un suelo salino-sódico del Valle Alto de Cochabamba. *Revista de Agricultura, 62*, 65-72. https://cifumss.agro.bo/rev-agric/pdf/rev62/rev62-8.pdf

Andrade, D., & Colinet, G. (2022). Combined application of organic amendments and gypsum to reclaim saline-alkali soil. *Agriculture, 12*(7), 1049. https://doi.org/10.3390/agriculture12071049

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/t0234e/t0234e00.htm

Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. https://repositorio.inia.gob.pe/items/3e246861-3056-46b4-9464-f8a175f77fe3

Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production* (FAO Soils Bulletin

No. 80). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/a0100e/a0100e.pdf

Cabos, J., Bardales, C. B., León, C. A., & Gil, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa, 26*(3), 1165-1176. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321

Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). *Methods of analysis for soils, plants, and waters.* University of California, Division of Agricultural Sciences. https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65dde56f7c7033e84be8a9f2

Chura, W. E. (2025). Efecto de la aplicación de biochar e hidrolizado de pescado para el mejoramiento de suelos salinos de La Yarada Los Palos en Tacna, Perú. *Sciencevolution, 4*(2), 123-132. https://doi.org/10.61325/ser.v4i2.196

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Management of salt-affected soils*. FAO Soils Portal.

https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/en/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Voluntary guidelines for sustainable soil management*. FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6874en

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Global status of salt-affected soils*. FAO. https://doi.org/10.4060/cd3044en

Food and Agriculture Organization of the United Nations & Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2025). *Global map of salt-affected soils*. FAO. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/

Gómez-Brandón, M., Juárez, M. F. D., Domínguez, J., & Insam, H. (2016). Effects of digestate on soil chemical and microbiological properties: A comparative study with compost and vermicompost. *Journal of Hazardous Materials, 302*, 267-274. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.10.011

Guo, L., Li, H., Cao, X., Cao, A., & Huang, M. (2022). Effects of different organic amendments on soil improvement, bacterial composition, and functional diversity in saline-sodic soil. *Agronomy, 12*(10), 2294. https://doi.org/10.3390/agronomy12102294

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education. https://www.worldcat.org/title/953689725

Huerta Muñoz, E., Cruz Hernández, J., Aguirre Álvarez, L., Caballero Mata, R., & Pérez Hidalgo, L. F. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana, 33*(2), 179-185. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792015000200179&script=sci_arttext

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 201.207:2020. *Fertilizantes orgánicos: Determinación del contenido de humedad.* INACAL. https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe/

Instituto Nacional de Calidad. (2023a). NTP 214.029:2023. *Calidad de agua: Determinación de pH en agua. Método electrométrico*. INACAL. https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe/

Instituto Nacional de Calidad. (2023b). NTP 214.049:2023. *Calidad de agua: Conductividad electrolítica en agua. Método de ensayo.* INACAL. https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe/

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2008). *Preparación y utilización del biol. Ministerio de Agricultura del Perú.* https://repositorio.inia.gob.pe/bitstreams/d8a5c936-d223-4374-a88b-8a3380d2fc0d/download

International Organization for Standardization. (1994). ISO 11265:1994. *Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.* https://www.iso.org/standard/19243.html

International Organization for Standardization. (1995). ISO 10694:1995. *Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis).* https://www.iso.org/standard/18782.html

International Organization for Standardization. (1998). ISO 13878:1998. *Soil quality - Determination of total nitrogen content by dry combustion ('elemental analysis').* https://www.iso.org/standard/23117.html

Lakhal, E. K., Ezzariai, A., Houot, S., Hafidi, M., & Ouhdouch, Y. (2017). Mixture experimental design in the development of a bio-fertilizer from fish waste, molasses and scum. *International Journal of Engineering Research & Technology, 6*(6), 588-594. https://www.ijert.org/mixture-experimental-design-in-the-development-of-a-bio-fertilizer-from-fish-waste-molasses-and-scum

Liu, X., Shi, Y., Zhang, H., Wang, J., & Wang, Q. (2023). Positive effects of organic amendments on soil microbes and their functionality in agro-ecosystems. *Plants, 12*(22), 3790. https://doi.org/10.3390/plants12223790

López-Rubio, J. F., Cebrián-Tarancón, C., Alonso, G. L., & Salinas, M. R. (2025). Preparation and characterization of liquid fertilizers produced by anaerobic fermentation. *Agriculture, 15*(11), 1225. https://doi.org/10.3390/agriculture15111225

Martín-Sanz-Garrido, A., Cerdán-Navarro, J. R., Ruiz-Pulpon, Á., & Juárez, J. M. (2025). A review on anaerobic digestate as a biofertilizer: Characteristics, production, and environmental impacts. *Applied Sciences, 15*(15), 8635. https://doi.org/10.3390/app15158635

Ministerio de Agricultura y Riego. (2012). *Reglamento sanitario del faenado de animales de abasto (Decreto Supremo N.° 015-2012-AG).* https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/jer/NORMA_LEGAL/DS_015_2012_AG.pdf

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*, 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Norma Oficial Mexicana. (2002). NOM-021-RECNAT-2000. *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.* Diario Oficial de la Federación. https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf

Ramírez, L. A., Leiva, F. A., Lezama, M. K., Bardales Vásquez, C. B., & León Torres, C. A. (2023). Biofertilizante 'biol': caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa,* *7*(20), 336-345. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219

Rezapour, S., Nouri, A., Jalali, M., & Moghimi, A. (2023). Combining chemical and organic treatments enhances remediation performance and soil health in saline-sodic soils. *Communications Earth & Environment, 4*, 285. https://doi.org/10.1038/s43247-023-00948-6

Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (USDA Agriculture Handbook No. 60). United States Department of Agriculture. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf

Samaniego-Vivanco, T. D., Pérez-Porras, W. E., Lastra-Paúcar, S., Verme-Mustiga, E., & Solórzano-Acosta, R. A. (2024). El biofertilizante líquido fermentado de residuos de camal mejora el rendimiento del cultivo de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* *27*(3), 105. https://doi.org/10.56369/tsaes.5469

Santana Flor, M. L., & Turpo Carcausto, G. A. (2021). *Remediación de suelos salinos con vermicompost elaborado a partir de residuos industriales del olivo en un fundo del distrito de La Yarada-Los Palos, Tacna, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT. http://hdl.handle.net/20.500.12969/2105

Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). *Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques.* E. M. Zaman, S. A. Shahid, & L. Heng (Eds.), Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques (pp. 1-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_1

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2024). *Soil health*. https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health

U.S. Composting Council. (2002). *Test methods for the examination of composting and compost: Method 03.09, Total solids and moisture*. Compost Research & Education Foundation. https://compostfoundation.org/tmecc/

U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils (Revision 2).* https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Method 9045D: Soil and waste pH (Revision 4).* https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (2018). *Method 6010D: Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (Revision 5).* https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/6010d.pdf

Van, C., Harris, J., Shaw, L. J., Sizmur, T., & Pawlett, M. (2023). The impact of anaerobic digestate on soil life: A review. *Applied Soil Ecology, 191*, 105066. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105066

Varnero, M. T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del*

Suelo y Nutrición Vegetal, 7(1), 28-37. https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003

Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson. https://www.worldcat.org/title/936361981

Wichern, F., Islam, M. R., Hemkemeyer, M., Watson, C., & Joergensen, R. G. (2020). Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 30. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00030

Xu, J., Li, Y., & Li, L. (2025). A comprehensive review of the effects of organic amendments on soil health and fertility: Mechanisms, greenhouse gas emissions, and implications for sustainable agriculture. *Agronomy, 15*(12), 2705. https://doi.org/10.3390/agronomy15122705

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Título: Evaluación de la aplicación de biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal para el mejoramiento del suelo salino de La Yarada – Los Palos

Formulación del problema	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Dimensión	Indicadores	Prueba estadística
¿Qué similitudes y diferencias presentan las características fisicoquímicas del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) con un abono natural (estiércol)?	El biol elaborado a partir de residuos orgánicos (biol de fruta) y de desechos de camal (biol de sangre) difieren en sus características fisicoquímicas medidas en comparación a un abono natural (estiércol) como biofertilizante.	Analizar y contrastar las características fisicoquímicas del biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal.	**Independiente** X_1: Biol a base de residuos orgánicos X_2: Biol a base de desechos de camal X_3: Abono **Dependiente** Y: Características fisicoquímicas y biológicas	Física Fisicoquímicas	Proporciones (%) pH Conductividad eléctrica Humedad Materia orgánica Carbono Nitrógeno Fósforo Potasio Relación C/N	Mediante prueba de ANOVA de un factor a un 95 % de confianza utilizando el software R Studio.
¿Cómo varían las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada–Los Palos tras la aplicación del biol a base de residuos orgánicos y desechos de camal?	La aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) tiene efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos.	Analizar el efecto de la aplicación del biol elaborado a base de residuos orgánicos y desechos de camal en las propiedades fisicoquímicas del suelo salino de La Yarada – Los Palos.	**Independiente** X_1: Tipo de biol (a base de residuos orgánicos o de desechos de camal) X_2: Dosis X_3: Adición de abono **Dependiente** Y: Propiedades fisicoquímicas	Físicas Fisicoquímicas	Clasificación Porcentaje Clasificación pH Conductividad Materia Orgánica Nitrógeno Fósforo Potasio	Mediante DCA de 8 tratamientos analizando los resultados empleando un ANOVA y prueba post hoc (análisis de contraste múltiple de Tukey) ambos a un 95 % de confianza

¿Qué cambios se observan en la germinación y brotamiento de *Lactuca sativa* L. en suelos salinos tratados con bioles a base de residuos orgánicos y desechos de camal?	La aplicación del biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre) mejora la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino de La Yarada – Los Palos.	Evaluar la germinación y brotamiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo salino tratado con el biol elaborado (biol de fruta y biol de sangre).	**Independiente** X_1: Tipo de biol (a base de residuos orgánicos o de desechos de camal) X_2: Dosis **Dependiente** Y_1: Índice de germinación Y_2: Brotamiento	Físicas Físicas	Clasificación Porcentaje Longitud de raíz Semilla germinada Brotamiento	Mediante un DCA de 8 tratamientos analizando los resultados empleando un ANOVA y prueba post hoc (análisis de contraste múltiple de Tukey) ambos a un 95 % de confianza

Anexo 2

Resultados de análisis de laboratorio

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 090006-25 / AB / LABSAF - MOQUEGUA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706	
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)	
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA	
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO	
Muestreado por	: Cliente	
Producto declarado	: Abonos	
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente	
Fecha(s) de muestreo	: 2025-07-17	(***)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17	
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA	
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-07-24 al 2025-08-11	
Cotización del servicio	: 0238-25-MQA	
Fecha de emisión	: 2025-09-02	

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Código de Laboratorio			AB012-MQA-25	AB013-MQA-25	AB014-MQA-25	AB015-MQA-25	AB016-MQA-25	-
Matriz Analizada			Abonos	Abonos	Abonos	Abonos	Abonos	-
Fecha de Muestreo			2025-07-17	2025-07-17	2025-07-17	2025-07-17	2025-07-17	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	-
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	-
Código/Identificación de la Muestra por el			BFRU 1	BFRU 2	BSAN 1	BSAN 2	ABONO 1	-
Ensayos (*)	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Conductividad Electrica	mS/m	-	358,5	302,0	481,0	476,0	490,0	-
pH.	unid. pH	-	3,6	3,6	4,2	4,2	7,9	-
Materia Orgánica	g/kg	-	89,0	103,8	210,9	170,6	75,5	-
Nitrógeno total	%	-	0,20	0,31	2,88	2,28	0,31	-
Fosforo total	mg/Kg		1045,6	1063,0	659,3	1279,7	4909,9	
Metales	-	-		-	-	-	-	-
Zinc	mg/Kg		12,0	15,0	11,3	11,8	88,3	
Magnesio	mg/Kg		389,6	379,6	289,2	299,3	3792,4	
Calcio	mg/Kg		820,0	853,1	947,3	987,6	9401,2	
Fierro	mg/Kg		114,1	114,1	113,9	113,9	10688,6	
Potasio	mg/Kg		3415,9	3106,9	3071,4	3192,3	7544,9	
Cobre	mg/Kg	-	4,8	5,9	4,6	4,5	25,5	-
Manganeso	mg/Kg	-	21,5	22,1	6,2	6,9	405,5	-

Instituto Nacional de Innovación Agraria

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
CE	ISO 11265:1994 First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Carbono Total / Carbono Orgánico / Materia Orgánica	ISO 10694:1995, First Edition 1995 Soil Quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)
Nitrógeno Total	ISO 13878:1998, First Edition 1998 Soil Quality - Determination of total nitrogen by dry combustion (elemental analysis)
Potasio Total	EPA 3050B /EPA 6010 D. Revision 5.2018. Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). 2023 .Determinación de metales en suelos // Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry.
Fósforo Total	EPA 3050B /EPA 6010 D. Revision 5.2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). 2023 .Determinación de metales en suelos // Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002).
Calcio Total	EPA 3050B /EPA 6010 D. Revision 5.2018. Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). 2023 .Determinación de metales en suelos // Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry.
Magnesio Total	EPA 3050B /EPA 6010 D. Revision 5.2018. Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). 2023 .Determinación de metales en suelos // Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Conservadas, Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C. con dilución de (1:5)
- Medición de Conductividad Electrica realizada a 25 °C. con dilución de (1:5)

(*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.
(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del Laboratorio del LABSAF - MOQUEGUA

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LAYME QUISPE Susy Paola FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/09/2025 09:38:32-0500

Firma

_____FIN DE INFORME DE ENSAYO_____

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 090022-25 / AG / MQA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO
Muestreado por	: Cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: TACNA - TACNA - TACNA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-07-17
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-07-17 al 2025-08-05
Cotización del servicio	: 0240-25-MQA
Fecha de emisión	: 2025-09-02

Pro Suelos y Aguas LABSAF

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AG064-MQA-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada			Agua Superficial	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-07-17	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			7:48	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			AGUA DE RIEGO D1 - POZO	-	-	-	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Conductividad Electrica	uS/cm	0,1	1273,0	-	-	-	-	-

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 090022-25 / AG / MQA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Conductividad Electrica	NTP 214.049:2023 2023 CALIDAD DE AGUA. Conductividad electrolítica en agua. Metodo de ensayo

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de Conductividad Electrica realizada a 25 °C.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del LABSAF - MOQUEGUA

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por:
LAYME QUISPE Susy Paola
FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02/09/2025 15:50:51-0500

Firma

_____FIN DE INFORME DE ENSAYO_____

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO

LABSAF MOQUEGUA

N° 090022-25NA / AG / MQA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO
Muestreado por	: Cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: TACNA - TACNA - TACNA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-07-17
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-07-17 al 2025-08-05
Cotización del servicio	: 0240-25-MQA
Fecha de emisión	: 2025-09-02

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AG064-MQA-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada			Agua Superficial	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-07-17	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			7:48	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			AGUA DE RIEGO D1 - POZO	-	-	-	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH (**)	unid. pH	0,1	3,9	-	-	-	-	-
Cloruros	mg/L	-	57,0	-	-	-	-	-
Nitratos	mg/L	-	5,01	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	-	26,9	-	-	-	-	-
Carbonatos	mg CaCO3/L	-	0,0	-	-	-	-	-
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	-	0,0	-	-	-	-	-
RAS	-	-	2,24	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	-	2,05	-	-	-	-	-
Magnesio	meq/L	-	0,86	-	-	-	-	-
Potasio	meq/L	-	0,23	-	-	-	-	-
Sodio	meq/L	-	2,70	-	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	0,04	-	-	-	-	-
Fierro	mg/L	-	0,08	-	-	-	-	-
Zinc	mg/L	-	0,23	-	-	-	-	-

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 090022-25NA / AG / MQA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	NTP 214.029: 2023 CALIDAD DE AGUA. Determinación de pH en agua. Método electrométrico
Determinación de Metales Fe, Cd, Mn,Cu y Zn y cationes (Calcio,Magnesio,Sodio y Potasio)	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA.Ed.1era 2017.item 6.4.1. Pag.83-84. Determinación de cationes (Ca, Mg,Na, K,Fe.Mn,Cu y Zn) // Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.
Determinación de aniones (Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos)	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA.Ed.1era 2017.item 6.4.2. Pag.84-88.Determinación de aniones.
R.A.S	Methods of análysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, octubre 1988. 195p.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del LABSAF - MOQUEGUA

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LAYME QUISPE Susy Paola FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02/09/2025 15:51:01-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 091573-25 / SU / MQA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO
Muestreado por	: Cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: TACNA - TACNA - TACNA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-06-16
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-08-05 al 2025-08-19
Cotización del servicio	: 0236-25-MQA
Fecha de emisión	: 2025-09-02

Pro Suelos y Aguas
LABSAF

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU5632-MQA-25	SU5633-MQA-25	SU5634-MQA-25	SU5635-MQA-25	-	-
Matriz Analizada			Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-06-16	2025-06-16	2025-06-16	2025-06-18	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			8:30	9:00	9:30	10:00	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			SUELO1 - rpa	SUELO1 - rpb	SUELO 2 - bma	SUELO 2 - bmb	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH	unid. pH	0,1	6,9	7,0	6,8	6,9	-	-
Conductividad Electrica	mS/m	1,0	180,9	204,0	853,0	819,0	-	-
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,5	2,2	2,3	1,3	2,7	-	-
Textura	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	%	-	32,8	30,8	76,8	72,6	-	-
Arcilla	%	-	3,5	3,5	7,5	9,5	-	-
Limo	%	-	63,8	65,8	15,8	17,9	-	-
Clase Textural	-	-	Franco Limosa	Franco Limosa	Franco Arenosa	Franco Arenosa	-	-

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 091573-25 / SU / MQA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH.
Conductividad Electrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996 1994 Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity
Carbonato De Calcio Equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25, AS-29 2002 Determinación de los carbonatos de calcio equivalente (AS-29 Método de neutralización ácida).
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).

Pro Suelos y Aguas LABSAF

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Electrica realizada a 25 °C.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del LABSAF - MOQUEGUA

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por:
LAYME QUISPE Susy Paola
FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/09/2025 14:52:39-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO

LABSAF MOQUEGUA

N° 091573-25NA / SU / MQA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO
Muestreado por	: Cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: TACNA - TACNA - TACNA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-06-16
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-08-05 al 2025-08-19
Cotización del servicio	: 0236-25-MQA
Fecha de emisión	: 2025-09-02

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU5632-MQA-25	SU5633-MQA-25	SU5634-MQA-25	SU5635-MQA-25	-	-
Matriz Analizada			Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-06-16	2025-06-16	2025-06-16	2025-06-18	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			8:30	9:00	9:30	10:00	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			SUELO1 - rpa	SUELO1 - rpb	SUELO 2 - bma	SUELO 2 - bmb	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Fósforo Disponible	mg/kg	-	326,7	66,0	265,8	251,5	-	-
Nitrógeno Total	%	-	0,12	0,12	0,02	0,03	-	-
Potasio Disponible	mg/kg	-	48,4	50,8	261,2	126,8	-	-
Materia Orgánica	g/kg	-	18,1	19,0	3,2	4,2	-	-
Bases Intercambiables (Ca, Mg, Na y K Intercambiable)	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	cmol (+)/Kg	-	16,26	17,46	47,20	46,90	-	-
Magnesio (Mg)	cmol (+)/Kg	-	3,22	3,88	5,26	5,64	-	-
Sodio (Na)	cmol (+)/Kg	-	1,74	2,52	13,74	12,69	-	-
Potasio (K)	cmol (+)/Kg	-	1,78	1,71	1,55	1,67	-	-

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 091573-25NA / SU / MQA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10, AS-10 2002 Determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos (AS-10 Método de Olsen y colaboradores).
Nitrógeno Total	ISO 13878:1998, First Edition 1998 Soil Quality - Determination of total nitrogen by dry combustion (elemental analysis)
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revision 5. 2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Carbono Total / Carbono Orgánico / Materia Orgánica	ISO 10694:1995, First Edition 1995 Soil Quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)
Bases Intercambiables (Ca, Mg, Na y K Intercambiable)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revisión 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo (AS-12 Método de acetato de amonio para bases intercambiables: Ca, Mg, Na y K)) // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del LABSAF - MOQUEGUA

REPÚBLICA DEL PERÚ FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LAYME QUISPE Susy Paola FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/09/2025 14:53:21-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO

LABSAF MOQUEGUA

N° 091572-25NA / SU / MQA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO / 10044115706
Propietario / Productor	: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)
Dirección del cliente	: AV. MIRAFLORES S/N TACNA-TACNA-TACNA
Solicitado por	: MEJIA PACO BRUNO FABRICIO
Muestreado por	: Cliente
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s) (***)	: TACNA - TACNA - TACNA
Fecha(s) de muestreo (***)	: 2025-06-16
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2025-07-17
Lugar de ensayo	: LABSAF MOQUEGUA
Fecha(s) de análisis	: Del 2025-07-24 al 2025-08-11
Cotización del servicio	: 0237-25-MQA
Fecha de emisión	: 2025-09-02

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU5636-MQA-25	SU5637-MQA-26	-	-	-	-
Matriz Analizada			Suelo	Suelo	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-06-16	2025-06-16	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			8:30	9:00	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			SUELO1 - rpa	SUELO1 - bma	-	-	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
Cromo (Cr)	mg/kg	-	23,97	14,97	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/kg	-	75,90	61,89	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/kg	-	11,99	5,99	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/kg	-	3,00	1,00	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/kg	-	1637,9	553,0	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/kg	-	21222,4	11352,6	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/kg	-	164,8	63,9	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/kg	-	0,91	0,00	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/kg	-	188,76	68,88	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/kg	-	29,96	14,97	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/kg	-	32957,2	19365,1	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/kg	-	57,9	29,0	-	-	-	-

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
LABSAF MOQUEGUA
N° 091572-25NA / SU / MQA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales	EPA Method 3050B. Revision 2. 1996// EPA 6010 D. Revision 5. 2018. Validado (aplicado fuera del alcance) 2023 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Susy Layme - Responsable del LABSAF - MOQUEGUA

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LAYME QUISPE Susy Paola FAU 20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02/09/2025 15:50:09-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Anexo 3

Panel fotográfico

Fotografía 1

Muestreo del suelo



Nota. a) Identificación del punto de muestreo del suelo en La Yarada-Los Palos; b) recolección y embolsado del suelo salino para su traslado y acondicionamiento.

Fotografía 2

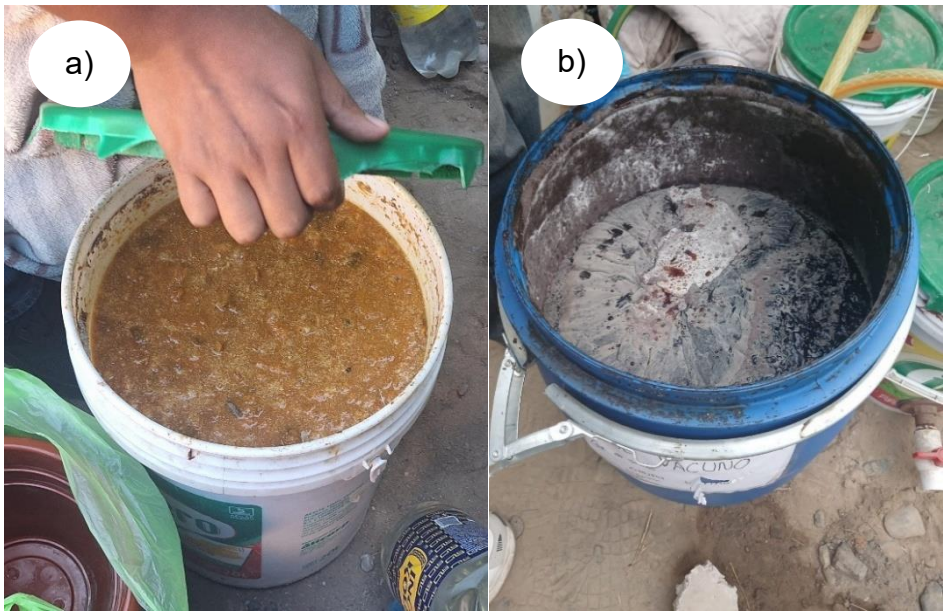
Recolección de materiales para el biol



Nota. a) Obtención de sangre proveniente del Centro de Beneficio (Camal Municipal); b) Recolección de residuos orgánicos proveniente del mercado Grau.

Fotografía 3

Proceso de digestión del biol de fruta y biol de sangre



Nota. a) Mezcla y fermentación del sustrato orgánico empleado para el biol frutado (BFRU); b) Mezcla y fermentación del sustrato orgánico empleado para el biol de sangre (BSAN).

Fotografía 4

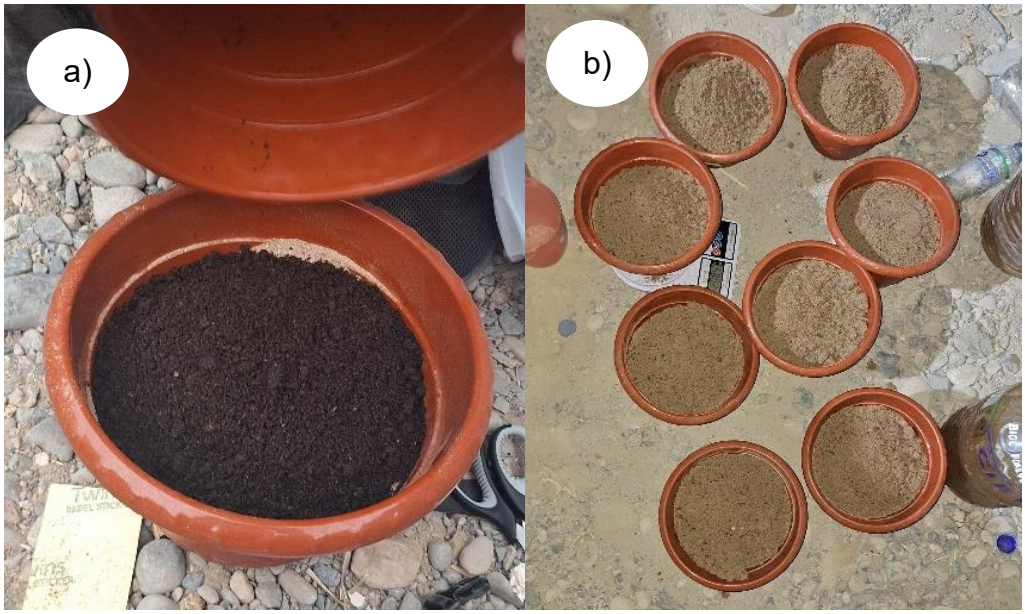
Seguimiento del biol de fruta y sangre y recolección de agua de riego



Nota. a) Seguimiento del proceso de fermentación del biol de fruta (BFRU) y biol de sangre (BSAN); b) Recolección del agua de riego en la UNJBG.

Fotografía 5

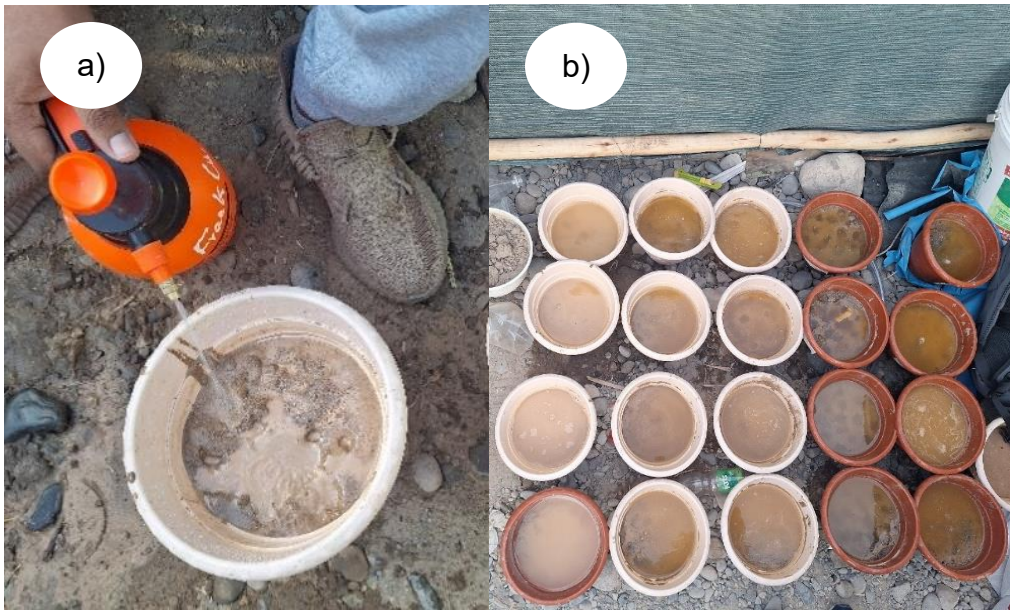
Preparación de macetas



Nota. a) Incorporación del abono en cada maceta según los tratamientos establecidos; b) distribución de las unidades experimentales para la aplicación de cada tratamiento.

Fotografía 6

Riego



Nota. a) Aplicación del riego en las unidades experimentales según las condiciones establecidas; b) monitoreo y seguimiento de los tratamientos durante el desarrollo del experimento.

Fotografía 7

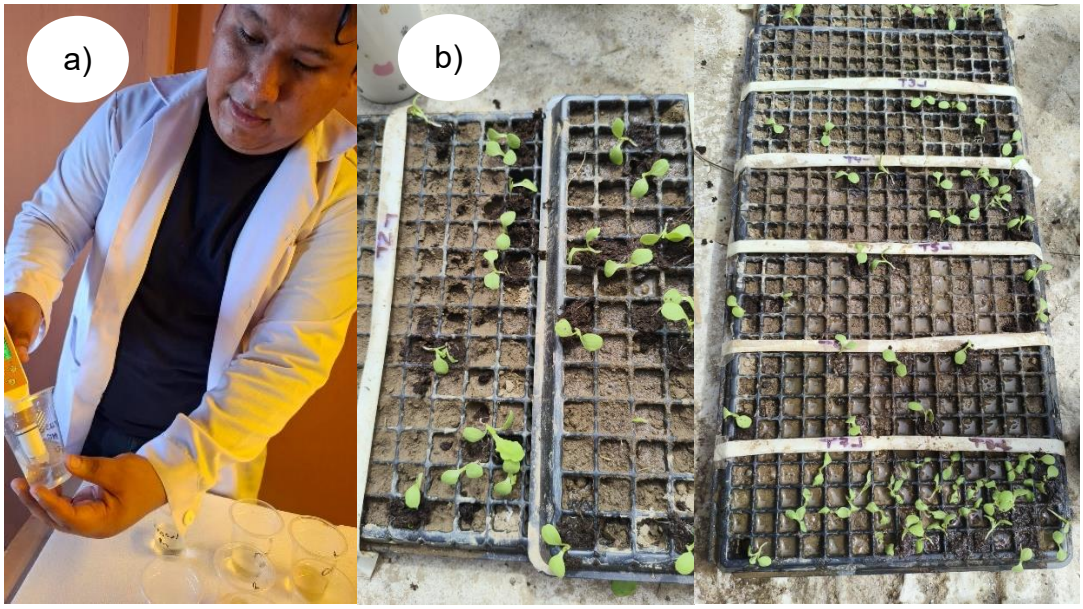
Envío de muestras del biol de fruta (BFRU) y biol de sangre (BSAN) para análisis fisicoquímico



Nota. BFRU se refiere al biol de frutas y BSAN se refiere al biol de sangre; la numeración 1 y 2 se refiere a la repetición realizara durante el muestreo.

Fotografía 8

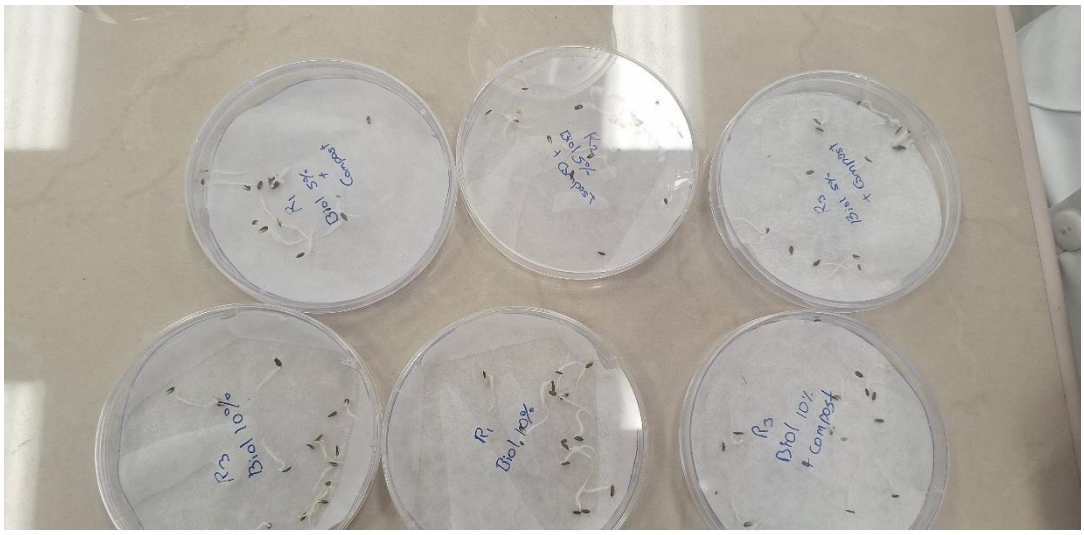
Evaluaciones finales de la experimentación



Nota. a) Evaluación de los parámetros finales en las bandejas almacigueras de cada tratamiento; b) evaluación visual de la germinación y brotamiento de las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Fotografía 9

Prueba de germinación en placas Petri (bioensayo de índice de germinación)



Nota. Se observa la prueba de germinación en placas Petri con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) expuestas a extractos de suelo provenientes de cada tratamiento. Posteriormente, se registró el número de semillas germinadas y se midió la longitud de la radícula para calcular el índice de germinación.

Anexo 4

Tablas de datos de la experimentación

Tabla 47

Resultados de los tratamientos

T	Dosis	Tratamiento	REP	pH final	CE final
T0	0	Testigo	REP1	6,90	7,85
T0	0	Testigo	REP2	6,86	7,75
T1	5	Biol frutado	REP1	6,80	7,05
T1	5	Biol frutado	REP2	6,76	6,95
T2	10	Biol frutado	REP1	6,74	6,65
T2	10	Biol frutado	REP2	6,70	6,55
T3	5	Biol sangre	REP1	6,77	7,25
T3	5	Biol sangre	REP2	6,73	7,15
T4	10	Biol sangre	REP1	6,67	6,85
T4	10	Biol sangre	REP2	6,63	6,75
T5	5	Biol frutado + compost	REP1	6,84	6,25
T5	5	Biol frutado + compost	REP2	6,80	6,15
T6	10	Biol frutado + compost	REP1	6,82	5,85
T6	10	Biol frutado + compost	REP2	6,78	5,75
T7	5	Biol sangre + compost	REP1	6,83	6,05
T7	5	Biol sangre + compost	REP2	6,79	5,95
T8	10	Biol sangre + compost	REP1	6,80	5,55
T8	10	Biol sangre + compost	REP2	6,76	5,45

Tabla 48

Resultados finales de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio del suelo por tratamiento

Dosis	Tratamiento	REP	MO (%)	N total (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
0	Testigo	REP1	3,89	0,04	290,98	202,08
0	Testigo	REP2	3,52	0,02	226,32	185,92
5	Biol frutado	REP1	5,43	0,07	420,31	258,67
5	Biol frutado	REP2	5,06	0,06	355,64	242,50
10	Biol frutado	REP1	6,35	0,08	484,97	299,08
10	Biol frutado	REP2	5,98	0,07	420,31	282,92
5	Biol sangre	REP1	5,12	0,10	452,64	234,42
5	Biol sangre	REP2	4,75	0,08	387,98	218,25
10	Biol sangre	REP1	5,74	0,12	549,63	266,75
10	Biol sangre	REP2	5,37	0,10	484,97	250,58
5	Biol frutado + compost	REP1	7,59	0,11	614,29	323,33
5	Biol frutado + compost	REP2	7,22	0,08	549,63	307,17
10	Biol frutado + compost	REP1	8,20	0,12	678,96	363,75
10	Biol frutado + compost	REP2	7,83	0,10	614,29	347,58
5	Biol sangre + compost	REP1	7,59	0,13	646,63	315,25
5	Biol sangre + compost	REP2	7,22	0,12	581,96	299,08
10	Biol sangre + compost	REP1	8,82	0,14	743,62	347,58
10	Biol sangre + compost	REP2	8,45	0,12	678,96	331,42

Tabla 49

Resultado del lavado de las macetas con agua destilada

Tratamiento	REP	pH	CE (mS·cm⁻¹)
Testigo	REP1	6,78	3,14
Testigo	REP2	6,74	3,10
5% Biol frutado	REP1	6,68	2,82
5% Biol frutado	REP2	6,64	2,78
10% Biol frutado	REP1	6,62	2,66
10% Biol frutado	REP2	6,58	2,62
5% Biol sangre	REP1	6,65	2,90
5% Biol sangre	REP2	6,61	2,86
10% Biol sangre	REP1	6,55	2,74
10% Biol sangre	REP2	6,51	2,70
5% Biol frutado + compost	REP1	6,72	2,50
5% Biol frutado + compost	REP2	6,68	2,46
10% Biol frutado + compost	REP1	6,70	2,34
10% Biol frutado + compost	REP2	6,66	2,30
5% Biol sangre + compost	REP1	6,71	2,42
5% Biol sangre + compost	REP2	6,67	2,38
10% Biol sangre + compost	REP1	6,68	2,22
10% Biol sangre + compost	REP2	6,64	2,18

Tabla 50

Resultados finales de magnesio, calcio y sodio intercambiable del suelo por tratamiento

Dosis	Tratamiento	REP	Mg (cmol(+)/kg)	Ca (cmol(+)/kg)	Na (cmol(+)/kg)
0	Testigo	REP1	5,72	48,23	13,58
0	Testigo	REP2	5,18	45,87	12,84
5	Biol frutado	REP1	6,27	55,28	12,84
5	Biol frutado	REP2	5,72	52,93	12,11
10	Biol frutado	REP1	6,27	57,64	12,11
10	Biol frutado	REP2	5,72	55,28	11,38
5	Biol sangre	REP1	6,81	67,05	12,84
5	Biol sangre	REP2	6,27	64,69	12,11
10	Biol sangre	REP1	7,36	76,46	11,38
10	Biol sangre	REP2	6,81	74,10	10,64
5	Biol frutado + compost	REP1	7,90	69,40	10,64
5	Biol frutado + compost	REP2	7,36	67,05	9,91
10	Biol frutado + compost	REP1	8,45	71,75	9,17
10	Biol frutado + compost	REP2	7,90	69,40	8,44
5	Biol sangre + compost	REP1	8,45	81,16	9,91
5	Biol sangre + compost	REP2	7,90	78,81	9,17
10	Biol sangre + compost	REP1	8,99	85,87	8,44

Tabla 51

Resultados del crecimiento de lechuga en placa Petri usando agua del lixiviado de los tratamientos

Dosis	Tratamiento	REP	IG final (%)
0	Testigo	REP1	56
0	Testigo	REP2	54
5	Biol frutado	REP1	66
5	Biol frutado	REP2	64
10	Biol frutado	REP1	71
10	Biol frutado	REP2	69
5	Biol sangre	REP1	63
5	Biol sangre	REP2	61
10	Biol sangre	REP1	69
10	Biol sangre	REP2	67
5	Biol frutado + compost	REP1	81
5	Biol frutado + compost	REP2	79
10	Biol frutado + compost	REP1	86
10	Biol frutado + compost	REP2	84
5	Biol sangre + compost	REP1	79
5	Biol sangre + compost	REP2	77
10	Biol sangre + compost	REP1	89
10	Biol sangre + compost	REP2	87

Tabla 52

Resultados del brotamiento de lechuga en macetas por repetición

Tratamiento	REP	Semillas sembradas	Semillas brotadas	Brotamiento (%)
Testigo	REP1	100	0	0,00
Testigo	REP2	100	0	0,00
5% Biol frutado	REP1	100	15	15,00
5% Biol frutado	REP2	100	20	20,00
10% Biol frutado	REP1	100	28	28,00
10% Biol frutado	REP2	100	30	30,00
5% Biol sangre	REP1	100	16	16,00
5% Biol sangre	REP2	100	18	18,00
10% Biol sangre	REP1	100	25	25,00
10% Biol sangre	REP2	100	27	27,00
5% Biol frutado + compost	REP1	100	32	32,00
5% Biol frutado + compost	REP2	100	35	35,00
10% Biol frutado + compost	REP1	100	42	42,00
10% Biol frutado + compost	REP2	100	45	45,00
5% Biol sangre + compost	REP1	100	40	40,00
5% Biol sangre + compost	REP2	100	44	44,00
10% Biol sangre + compost	REP1	100	48	48,00
10% Biol sangre + compost	REP2	100	50	50,00

Tabla 53

Resultados del brotamiento de la lechuga en el sustrato de los tratamientos

Tratamiento	Media ± DE
Biol sangre + compost 10%	49,00 ± 1,41
Biol frutado + compost 10%	43,50 ± 2,12
Biol sangre + compost 5%	42,00 ± 2,83
Biol frutado + compost 5%	33,50 ± 2,12
Biol frutado 10%	29,00 ± 1,41
Biol sangre 10%	26,00 ± 1,41
Biol frutado 5%	17,50 ± 3,54
Biol sangre 5%	17,00 ± 1,41
Testigo	0,00 ± 0,00

Anexo 5

Gráficas de los resultados de la experimentación

Ilustración 1

Comparación de resultados del pH por tratamiento experimental

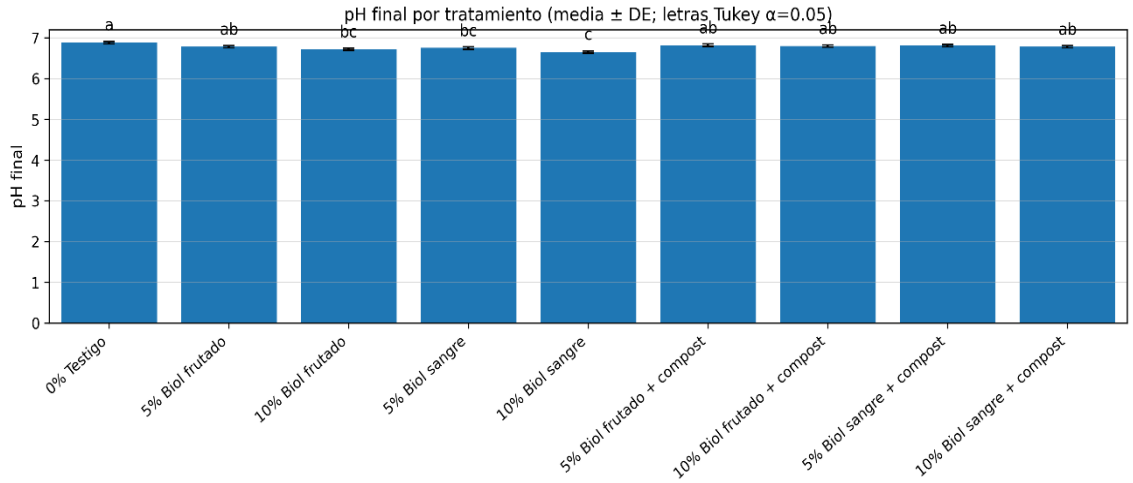


Ilustración 2

Comparación de resultados de la conductividad eléctrica (CE) por tratamiento experimental

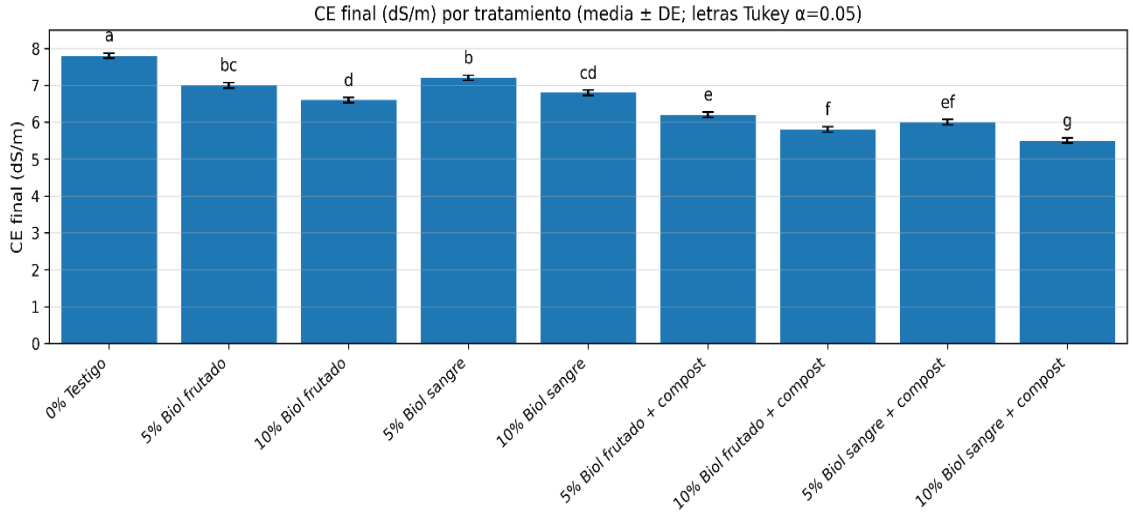


Ilustración 3

Comparación de resultados del contenido de materia orgánica (MO) por tratamiento experimental

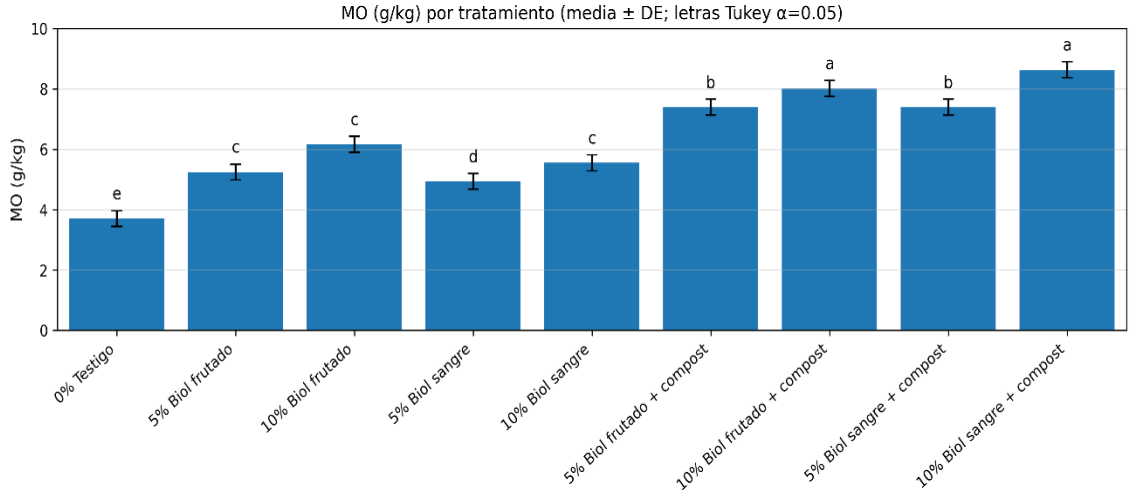


Ilustración 4

Comparación de resultados del contenido de nitrógeno total (N total) por tratamiento experimental

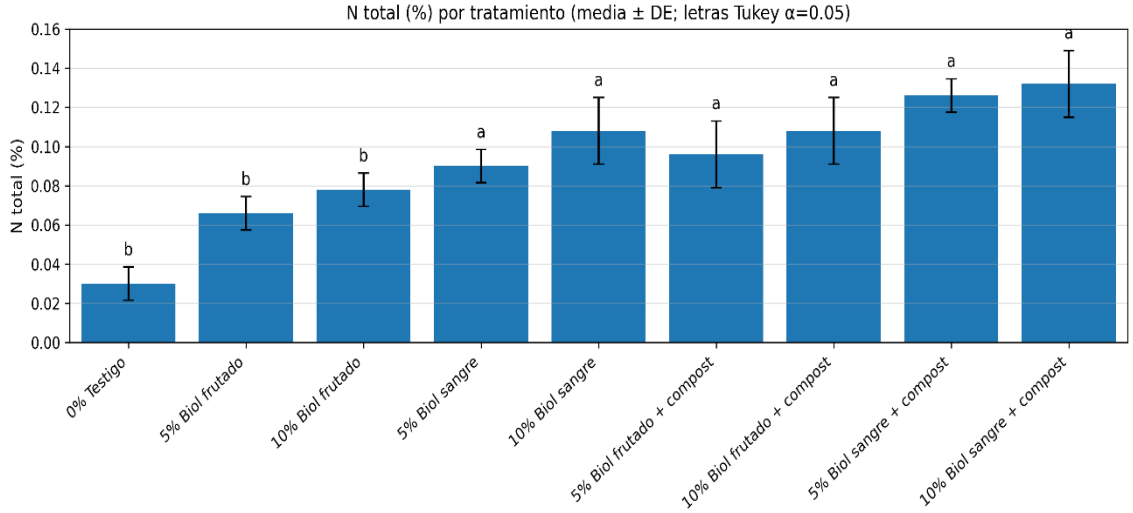


Ilustración 5

Comparación de resultados del contenido de fósforo (P) disponible por tratamiento experimental

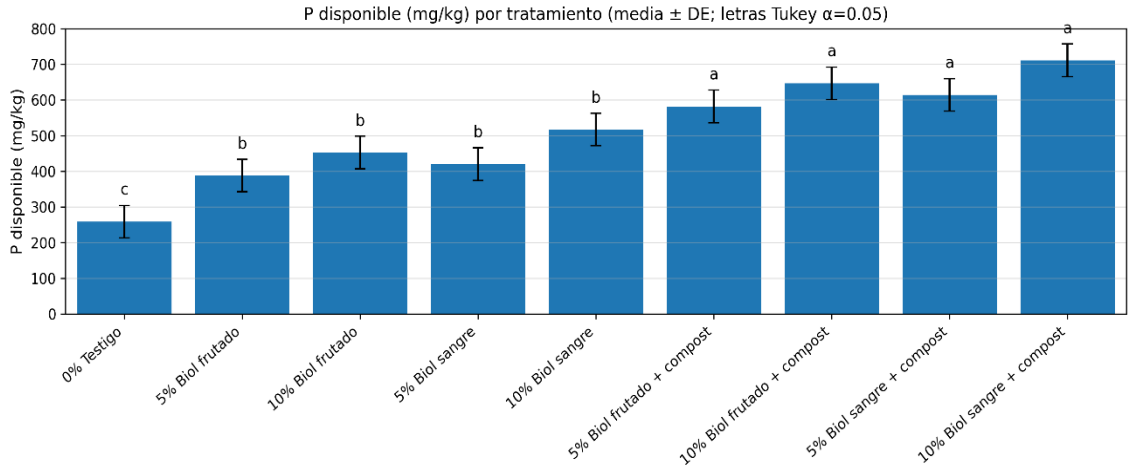


Ilustración 6

Comparación de resultados del contenido de potasio (K) por tratamiento experimental

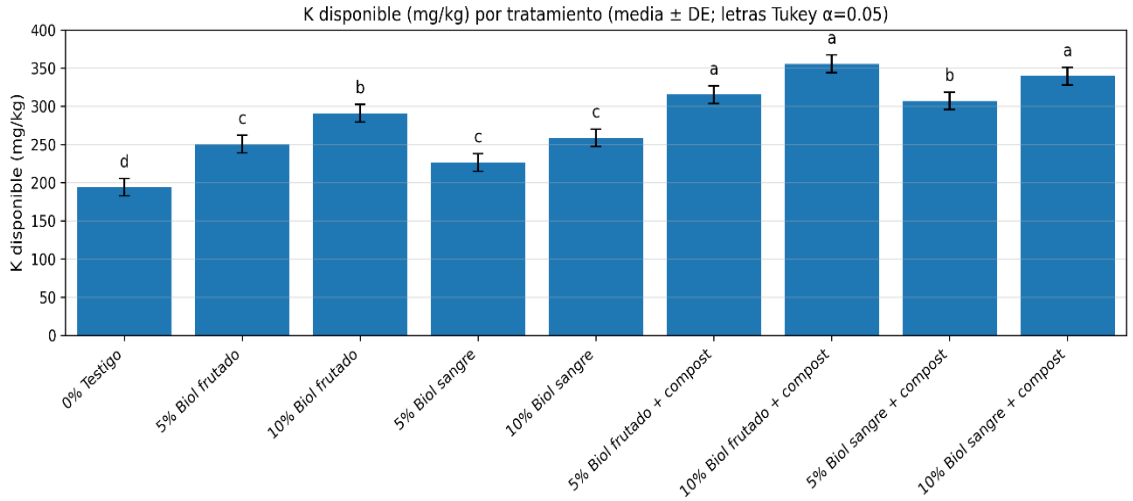


Ilustración 7

Comparación de resultados del contenido de sodio (Na) por tratamiento experimental

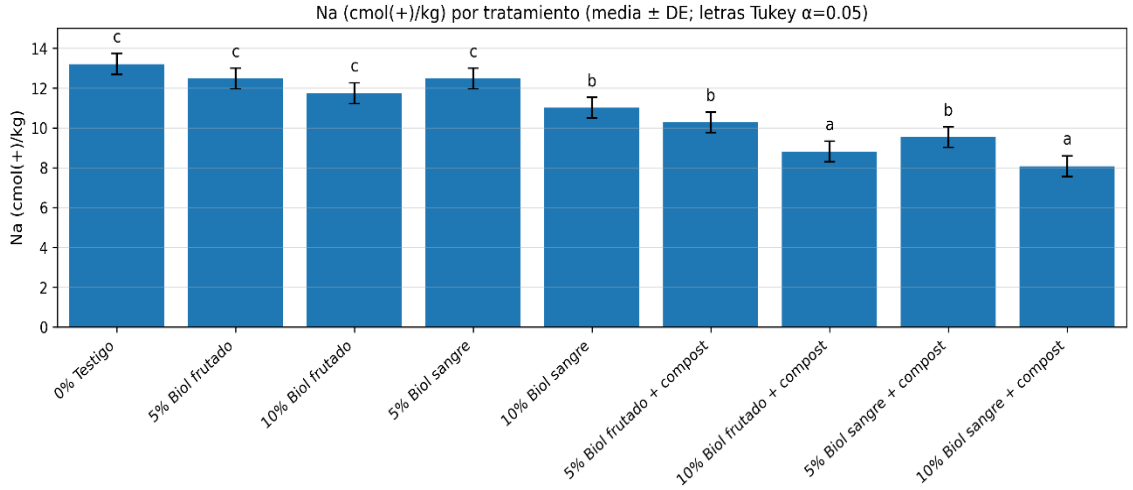


Ilustración 8

Comparación de resultados del contenido de magnesio (Mg) por tratamiento experimental

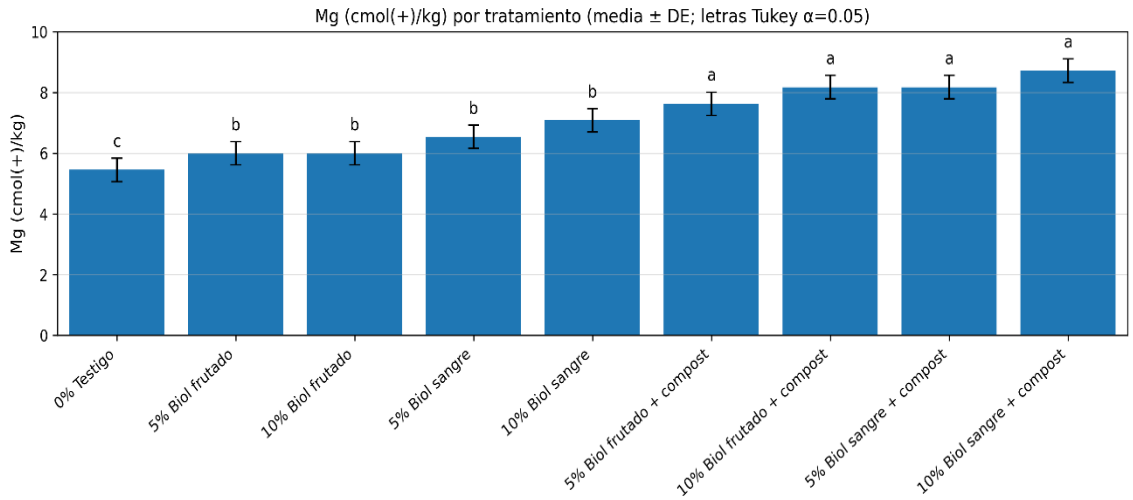


Ilustración 9

Comparación de resultados del contenido de calcio (Ca) por tratamiento experimental

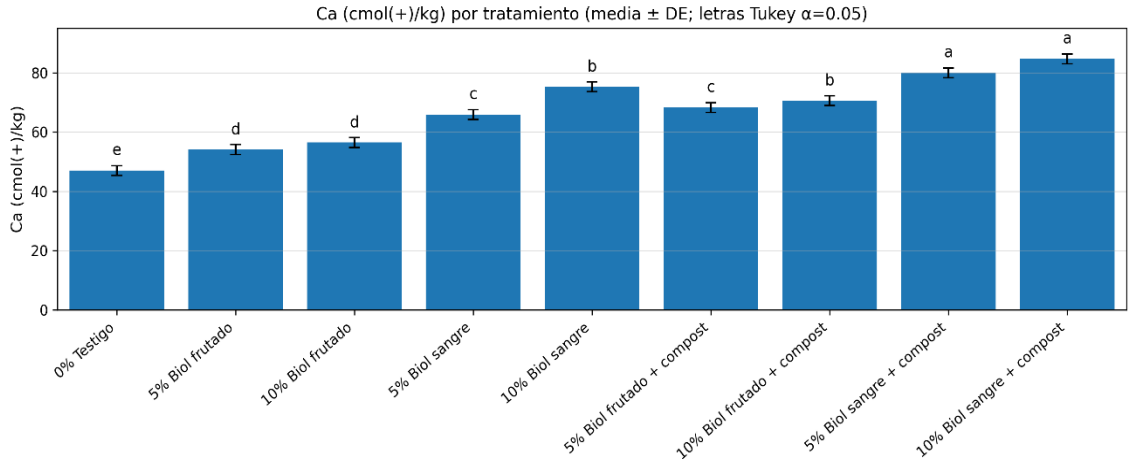


Ilustración 10

Comparación de resultados del índice de germinación (IG) por tratamiento experimental

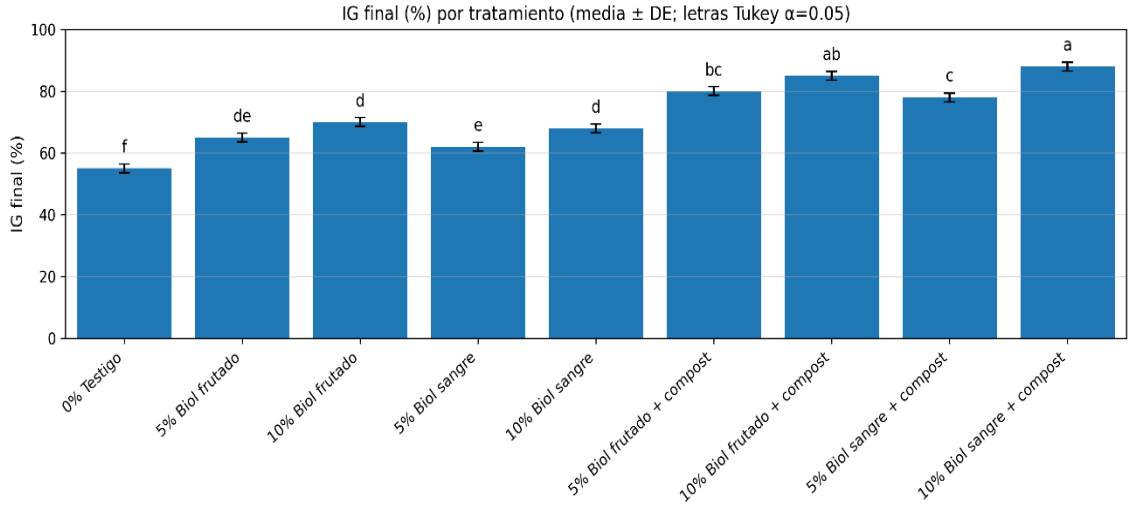


Ilustración 11

Comparación de resultados del brotamiento por tratamiento experimental

