



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

Efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenario bajo condiciones controladas

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

Autores

Omar Jeancarlo Chucchu Rumualdo

Jhunion Marcelo Morales Luis

Asesor

Dr. Sergio Eduardo Contreras Liza

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Chucchu Rumualdo, Omar Jeancarlo	71126911	07/07/2026
Morales Luis, Jhunion Marcelo	76443966	07/07/2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Contreras Liza, Sergio Eduardo	08787108	https://orcid.org/0000-0002-6895-4332
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Luis Olivas, Dionicio Belisario	15651224	https://orcid.org/0000-0002-5367-5285
Sanchez Calle, Marco Tulio	02807986	https://orcid.org/0000-0001-9687-2476
Manrique Flores, Saul Robert	30655365	https://orcid.org/0000-0003-2780-3025

103114 Jhunion Marcelo Morales Luis 103165 Omar ...

Efecto de la inoculación de Bacillus endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condi...

UT-FIAIAY PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trmold::1:3596482407

Fecha de entrega

17 jun 2026, 11:02 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 jun 2026, 11:23 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR_DE_TESIS_CHUCCHU-MORALES_FINAL_.pdf

Tamaño del archivo

3.3 MB

92 páginas

19.690 palabras

112.506 caracteres



Página 2 de 100 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trmold::1:3596482407

17% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

15% Fuentes de Internet

4% Publicaciones

10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

Efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenario bajo condiciones controladas



Huacho – Perú

2026

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado en primer lugar a Dios por guiarnos hasta culminar esta etapa, a nuestros padres y familiares por ser nuestro soporte y enseñarnos que los sueños se alcanzan con disciplina y perseverancia. También a quienes fueron inspiración y motivación para alcanzar este logro. ¡Gracias por confiar en nosotros!

AGRADECIMIENTO

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por habernos brindado la formación académica y los recursos necesarios para formarnos como profesionales y culminar con éxito nuestra etapa universitaria.

De manera especial, expresamos el reconocimiento a nuestros asesores, Dr. Sergio Eduardo Contreras Liza y MSc. Mblgo. Renzo Valdez Nuñez, por su valiosa orientación, paciencia y aportes que enriquecieron la presente investigación.

Nuestro agradecimiento se dirige también a la Universidad Nacional de Barranca, por brindarnos el acceso a los recursos e infraestructura del laboratorio de Investigación en Bioprospección y Biotecnología Microbiana, los cuales fueron fundamentales para la ejecución de los ensayos experimentales.

Asimismo, reconocemos y valoramos a los jurados por el tiempo dedicado para la corrección de este trabajo, aportando con observaciones que fortalecieron la calidad científica de la investigación.

Finalmente, nuestro profundo agradecimiento a nuestras familias, amigos y seres queridos por el apoyo incondicional, comprensión y confianza durante todo el tiempo de ejecución de la investigación. Somos conscientes que sin su motivación no habría sido posible alcanzar esta meta.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Delimitación del estudio	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales	6
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	8
2.2 Bases teóricas	9
2.2.1 Origen de la papa cv. Bicentenaria	9
2.2.2 Taxonomía	10
2.2.3 Cultivo de papa cv. Bicentenaria	10

2.2.4	Fenología del cultivo de papa.....	13
2.2.5	Requerimiento climático.....	13
2.2.6	Importancia de la Variedad “Bicentenaria”	15
2.2.7	Mecanismos de promoción de crecimiento vegetal (PGPR)	15
2.2.8	Bacterias endófitas.....	16
2.2.9	Uso de bacterias endófitas como bioinsumos.....	17
2.3	Definición de términos básicos.....	17
2.4	Hipótesis de investigación	18
2.4.1	Hipótesis general	18
2.4.2	Hipótesis específicas.....	18
2.5	Operacionalización de las variables	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		20
3.1	Gestión del experimento	20
3.1.1	Ubicación.....	20
3.1.2	Características del área experimental	21
3.1.3	Tratamientos	23
3.1.4	Diseño experimental.....	24
3.1.5	Variables evaluadas.....	24
3.1.6	Conducción del experimento	26
3.2	Técnicas para el procesamiento de la información.....	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		32
4.1.	Características morfológicas evaluadas en casa malla	32
4.1.1	Altura de planta (cm).....	32
4.1.2	Número de brotes por planta	33

4.1.3	Número de hojas por planta.....	34
4.1.4	Número de tallos por planta.....	35
4.1.5	Área foliar (cm ²).....	37
4.2	Características de producción.....	38
4.2.1	Número de tubérculos por planta.....	38
4.2.2	Peso de tubérculo por planta (transformación a raíz cuadrada).....	39
4.2.3	Aspecto externo del tubérculo (escala 1-9)	40
4.2.4	Diámetro del tubérculo (raíz-cm)	42
4.3	Mecanismos de Promoción de Crecimiento Vegetal	43
4.3.1	Solubilización de fosfatos (mg. L ⁻¹)	43
4.3.2	Producción de auxinas (mg.L ⁻¹).....	44
4.3.3	Producción de sideróforos	46
4.3.4	Fijación de Nitrógeno	47
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....		50
5.1	Mecanismos de Promoción de Crecimiento Vegetal	50
5.2	Características morfológicas.....	51
5.3	Características productivas	52
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
6.1	Conclusiones.....	54
6.2	Recomendaciones	54
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS		56
ANEXOS		65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características distintivas de la papa cv. Bicentenaria.....	10
Tabla 2 Requerimiento climático del cultivo de papa según el periodo fenológico	14
Tabla 3 Operacionalización de las variables.....	19
Tabla 4 <i>Bacillus</i> endófitos.....	23
Tabla 5 Tratamientos formulados con <i>Bacillus</i> endófitos.....	23
Tabla 6 Análisis de varianza para la altura de planta “cv. Bicentenaria”.....	32
Tabla 7 Altura promedio de plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	32
Tabla 8 Análisis de varianza para el número de brotes por planta “cv. Bicentenaria”	33
Tabla 9 Número de brotes promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	34
Tabla 10 Análisis de varianza para el número de hojas por planta “cv. Bicentenaria”.....	34
Tabla 11 Número de hojas promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	35
Tabla 12 Análisis de varianza para el número de tallos por planta “cv. Bicentenaria”.....	36
Tabla 13 Número de tallos promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	36
Tabla 14 Análisis de varianza para el área foliar de plantas “cv. Bicentenaria”.....	37
Tabla 15 Área foliar promedio de plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	37
Tabla 16 Análisis de varianza para el número de tubérculos por planta “cv. Bicentenaria”	38
Tabla 17 Número promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.....	39
Tabla 18 Análisis de varianza para el peso de tubérculos por planta “cv. Bicentenaria” ...	39

Tabla 19 Peso promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas.	40
Tabla 20 Análisis de varianza para el aspecto externo de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”	41
Tabla 21 Aspecto externo con una escala del 1-9 de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas	41
Tabla 22 Análisis de varianza para diámetro de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”	42
Tabla 23 Diámetro promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con <i>Bacillus</i> endófitos bajo condiciones controladas	42
Tabla 24 Análisis de varianza para la solubilización de fosfatos (mg.L^{-1}) de <i>Bacillus</i> endófitos	43
Tabla 25 Prueba de tukey al 5% para la solubilización de fosfatos de <i>Bacillus</i> endófitos .	44
Tabla 26 Análisis de varianza para la producción de auxinas sin triptófano de <i>Bacillus</i> endófitos	44
Tabla 27 Prueba de tukey al 5% para la producción de auxinas de <i>Bacillus</i> endófitos	45
Tabla 28 Análisis de varianza para la producción de auxinas de <i>Bacillus</i> endófitos en presencia de triptófano.....	45
Tabla 29 Prueba de tukey al 5% para la producción de auxinas con triptófano de <i>Bacillus</i> endófitos	46
Tabla 30 Análisis de varianza para la producción de sideróforos de <i>Bacillus</i> endófitos	46
Tabla 31 Prueba de tukey al 5% para la producción de sideróforos de <i>Bacillus</i> endófitos	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estadios fenológicos del cultivo de papa	13
Figura 2 Ubicación geográfica de la primera Fase del experimento en la Universidad de Barranca-Laboratorio.....	20
Figura 3 Ubicación geográfica de la segunda fase del experimento en la Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión – Campo Experimental	21
Figura 4 Distribución de las macetas en el área experimental de la casa malla.	22
Figura 5 Anillo de crecimiento de colonias de <i>Bacillus</i> endófitos y cepa control en medio Burk semisólido para determinación de fijación de N ₂ atmosférico.	48
Figura 6 Crecimiento de colonias de <i>Bacillus</i> endófitos y cepa control en medio MJV para determinación de fijación de N ₂ atmosférico.	49
Figura 7. Criopreservación a -80°C de cepas de <i>Bacillus</i> endófitos aisladas de <i>Nicandra physalodes</i>	65
Figura 8. Electroforesis horizontal de ADN extraído de Cepas de <i>Bacillus</i>	65
Figura 9. Reactivación de <i>Bacillus</i> endófitos en placas con agar TSA, e incubadas por 24 horas a 28°C.	65
Figura 10. Siembra de las cepas en tubos con 10 mL y 100 ml de caldo TSB e incubado a 170 rpm por 24 horas.....	66
Figura 11. A-B) Rotulación y esterilización con rayos UV de envases para la formulación de tratamientos. C) Cosecha de <i>Neobacillus niacini</i> Np 2.2	66
Figura 12. Determinación de cantidades para la producción de inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	67
Figura 13. Estandarización de cepas <i>Bacillus</i> endófitos y formulación de tratamientos para la inoculación en papa Bicentenaria	67
Figura 14. Recuento celular mediante diluciones decimales sucesivas, sembradas en placas de Petri conteniendo agar TSA (1 x 10 ⁸ UFC m.L ⁻¹).....	68
Figura 15. Desinfección de tuberculillos con hipoclorito de sodio al 5%.....	68

Figura 16. Lavado de macetas (4L) y preparación de sustrato compuesta por 288 L arena lavada (45%), 288 L humus de lombriz (45%) y 64 L pajilla de arroz (10%)	69
Figura 17. Llenado de macetas con sustrato preparado y rotulación por tratamiento de macetas	69
Figura 18. Inoculación por inmersión de tuberculillos en caldo microbiano por cada tratamiento y siembra en macetas.....	70
Figura 19. Riegos e inicio de brotación del tratamiento con <i>Neobacillus niacini</i> Np2.2... 70	
Figura 20. Evaluación de características morfológicas de las plantas de papa Bicentenaria	71
Figura 21. Cosecha y evaluación de características productivas papa Bicentenaria	71
Figura 22. Comparativo de la cosecha de tubérculos producidos por tratamiento.....	72
Figura 23. Aspecto de tubérculos producidos en condiciones de invernadero	72
Figura 24. Evaluación de producción de auxinas mediante la técnica colorimétrica con reactivo de Salkowsky	73
Figura 25. Evaluación de fijación de nitrógeno inoculando las cepas en medios Burk y MJV	73
Figura 26. Evaluación de producción de unidades de sideróforos empleando la metodología del CAS-Shuttle Assay	74
Figura 27. Evaluación de solubilización de fosfatos empleando la Técnica de fosfomolibdato.....	74
Figura 28. Modelo de cartilla para evaluación de variables en invernadero	75
Figura 29. Datos de las evaluaciones realizadas en el invernadero.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Identificación y reactivación de cepas en el Laboratorio de Investigación en Bioprospección y Biotecnología Microbiana	65
Anexo 2. Procedimiento de inoculación, siembra y evaluaciones en invernadero	68
Anexo 3. Caracterización de los mecanismos de promoción de crecimiento de <i>Bacillus</i> endófitos	73
Anexo 4. Cartillas y datos de evaluaciones en invernadero	75

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos del cultivo de papa “cv. *Bicentenaria*” bajo condiciones controladas.

Metodología: Se empleó el diseño completamente al azar (DCA) con 10 repeticiones. El estudio evaluó el efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos (*Bacillus* sp. Np9.1, *Cytobacillus solani* Np2.1, *Neobacillus niacini* Np2.2, *Cytobacillus solani* Np2.3), formando un total de 16 tratamientos (4 cepas individuales, 11 consorcios y 1 testigo), sobre parámetros morfológicos y productivos, además se realizaron pruebas in vitro para determinar los mecanismos de promoción de crecimiento de los *Bacillus*. **Resultados:** Los resultados demostraron que los *Bacillus* endófitos presentaron capacidad para producir auxinas, sideróforos, solubilización de fosfatos y fijación biológica de nitrógeno. En la inoculación con las cepas bacterianas no se presentó un efecto estadísticamente significativo ($p>0.05$) en algunos de los parámetros evaluados; sin embargo, sí se observaron incrementos en altura de planta, número de brotes, biomasa y características de los tubérculos respecto al control sin inoculación, destacándose *N. niacini* Np2.2 para promover el incremento en número de brotes, número de hojas y área foliar; asimismo, la cepa *C. solani* Np2.1 indujo hasta un 29% más en el número de tubérculos por planta. En tanto que, para el peso y diámetro de tubérculos todos los tratamientos presentaron mejores efectos respecto al control sin inoculación. **Conclusiones:** Los *Bacillus* endófitos poseen el potencial para promover el crecimiento vegetal e incrementar parámetros agronómicos relevantes del cultivo de papa cv. *Bicentenaria*, bajo condiciones controladas.

Palabras clave: auxinas, *Bacillus* endófitos, consorcio, sideróforos, inoculación.

**Effect of the inoculation of endophytic *Bacillus* on the agronomic parameters of
potato cv. Bicentenaria under controlled conditions**

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of endophytic *Bacillus* inoculation on the agronomic parameters of the “Bicentenaria” potato crop under controlled conditions. **Methodology:** The study evaluated the effect of endophytic *Bacillus* inoculation (*Bacillus* sp. Np9.1, *Cytobacillus solani* Np2.1, *Neobacillus niacini* Np2.2, *Cytobacillus solani* Np2.3), forming a total of 16 treatments (4 individual strains, 11 consortia, and 1 control), on morphological and productive parameters. In vitro tests were also performed to determine the growth promotion mechanisms of the *Bacillus*. **Results:** The results demonstrated that the endophytic *Bacillus* exhibited the capacity to produce auxins, siderophores, phosphate solubilization, and biological nitrogen fixation. Inoculation with the bacterial strains did not show a statistically significant effect ($p>0.05$) on some of the evaluated parameters; however, increases in plant height, number of shoots, biomass, and tuber characteristics were observed compared to the uninoculated control. *N. niacini* Np2.2 stood out for promoting an increase in the number of shoots, number of leaves, and leaf area; likewise, the *C. solani* Np2.1 strain induced up to 29% more tubers per plant. For tuber weight and diameter, all treatments showed better effects compared to the uninoculated control. **Conclusions:** Endophytic *Bacillus* species have the potential to promote plant growth and increase relevant agronomic parameters of the Bicentenaria potato cultivar under controlled conditions.

Keywords: auxins, *Bacillus* endophytes, consortium, siderophores, inoculation.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria está influenciada por la creciente demanda de la población mundial, el impacto del cambio climático en la producción agrícola y la degradación de los suelos, por ello, se requiere incrementar el rendimiento de los cultivos con prácticas sostenibles y con un bajo impacto ambiental (Meena y Kumar, 2022; Christo et al., 2021; Gautam et al., 2021).

En ese contexto, la producción del cultivo de papa gana protagonismo ya que es uno de los cultivos con mayor importancia para el consumidor a nivel global y representa un componente estratégico para la dieta y economía de millones de familias (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2025). En el Perú el 90% de su producción se concentra en la sierra destacando Puno (1.2 Mt), Huánuco (0.79 Mt), Ayacucho (0.72 Mt) y La Libertad (0.62 Mt) (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, [MIDAGRI], 2025).

El desarrollo y liberación de nuevos cultivares como la papa “Bicentenaria” tiene como principal objetivo aumentar los rendimientos y resistencia a efectos bióticos y abióticos que reducen el potencial de producción. Sin embargo, aún con cultivares mejorados, la producción puede verse limitada por factores como la fertilización excesiva, enfermedades, plagas y condiciones adversas en el lugar de siembra (Zhang et al., 2024). Por lo tanto, se requiere de más alternativas en la producción agrícola que mitiguen los efectos adversos con menores impactos en el ambiente.

En los últimos años, está tomando más interés la utilización de microorganismos endófitos como alternativa innovadora para la producción de alimentos (Madawala, 2021; Bécquer et al., 2021; Cruz-Cárdenas et al., 2021; Álvarez et al., 2018; Creus, 2017). La inoculación con bacterias endófitas surge como una alternativa ecológica prometedora para mejorar la productividad vegetal, a la vez que se fomenta la sostenibilidad agroecológica, estas bacterias pueden presentar características para promover el crecimiento a través de producción de auxinas, fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de nutrientes y producción de sideróforos (Singh y Shyu, 2024).

Estudios recientes relacionadas con la inoculación de microorganismos fueron reportados por Kantar y Uysal (2020) que mencionaron que la inoculación de *B. subtilis* y *B.*

amyloliquefaciens para promover el crecimiento y productividad en el cultivo de papa aceleró la brotación, mejoró las características morfológicas, generó tubérculos con mayor tamaño e incrementó los rendimientos en comparación al control absoluto. Por otro lado, Jabnoun-Khiareddine et al. (2023) realizaron ensayos en campo con aplicaciones de *Bacillus spp.* encontrando un efecto directo sobre altura de planta, raíces y peso de tubérculos. Mientras que Lazarev et al. (2023) reportaron que la aplicación conjunta de estas bacterias elevó el rendimiento de papa hasta en 8,2 t.ha⁻¹, favoreció la formación de tubérculos de mayor tamaño (1,8 veces más grandes) y mejoró el desarrollo vegetativo (longitud de tallos y hojas), confirmando el efecto como bioinoculantes para mejorar la productividad en el cultivo de papa.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los mecanismos de promoción de crecimiento y el efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa “cv. *Bicentenaria*” bajo condiciones controladas, contribuyendo así a la búsqueda de alternativas innovadoras y ecológicas en la producción de alimentos.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Uno de los cultivos con mayor importancia para la seguridad alimentaria es la papa, por su excelente adaptabilidad, valor nutritivo y alta diversidad genética (Devaux et al., 2021). El Perú es el centro de origen, donde se concentran más de 3500 variedades tanto oriundas y mejoradas (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2019; FAO, 2025; de Hann et al., 2010). Este cultivo en el país representa el principal alimento de la agricultura familiar, por su alto valor nutricional y medicinal (FAO, 2025). Además, tiene un rol importante en la economía familiar dado que genera más de 26 millones de jornales a nivel nacional (MIDAGRI, 2025).

Según la FAO (2025) a pesar de la importancia del cultivo de papa, los rendimientos y producción son bajos considerando el alto potencial que tiene este cultivo en otros países. Cabe mencionar que los bajos rendimientos se deben a diversos factores adversos, pero los pequeños agricultores para mejorar frente a estos problemas utilizan de forma intensiva e ineficiente fertilizantes y plaguicidas químicos que ocasionan que sus costos de producción sean elevados (Jabnoun-Khiareddine et al., 2023; Zhang et al., 2024; Arcos y Zuñiga, 2016; Alvarado-Capó et al., 2015). Además, la mala gestión en el uso excesivo de fertilizantes químicos genera pérdidas que desembocan al medio ambiente y está ocasionando desbalances biológicos, desgastes de la biodiversidad, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire atmosférico, pérdida de la calidad del suelo y efectos negativos para la salud humana (Zhang et al., 2024; Gonzáles, 2019; FAO, 2025).

Por ende en los últimos años, se viene buscando alternativas con innovaciones biotecnológicas que puedan reducir los efectos negativos en el ecosistema y reducir costos de producción por el uso excesivo de fertilizantes químicos, una de estas alternativas es la inoculación de bacterias endófitas que promueven el crecimiento vegetal (PGPR) en el cultivo de papa (Kantar y Uysal, 2020; Contreras et al., 2019; Alvarado-Capó et al., 2015). Las bacterias PGPR actúan fijando nitrógeno atmosférico, produciendo fitohormonas (auxinas), solubilizan fósforo y produciendo unidades porcentuales de sideróforos (Singh y Shyu, 2024; Moreno y Moreno, 2020). Sin embargo, estos estudios relacionados con el uso de bacterias PGPR aún son limitados.

Por lo expuesto, el presente trabajo de investigación busca evaluar los mecanismos de promoción de crecimiento y el efecto de la inoculación de bacterias endófitas sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas, buscando contribuir con investigaciones biotecnológicas para el manejo del cultivo de papa y se pueda reducir los impactos negativos por el uso excesivo de fertilizantes.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los mecanismos de promoción de crecimiento y los efectos de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los mecanismos de promoción de crecimiento en cepas de *Bacillus* endófitos bajo condiciones *in vitro*?
- b) ¿Cuál es el efecto de la inoculación de cepas de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros morfológicos y de producción en el cultivo de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas?
- c) ¿Existe interacciones entre las cepas de *Bacillus* endófitos inoculados en el cultivo de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar los mecanismos de promoción de crecimiento y los efectos de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar los mecanismos de promoción de crecimiento en cepas de *Bacillus* endófitas bajo condiciones *in vitro*.

- b) Evaluar el efecto de la inoculación de cepas de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros morfológicos y de producción en el cultivo de papa cv. Bicentenario bajo condiciones controladas.
- c) Identificar si existen interacciones entre las cepas de *Bacillus* endófitos inoculados en el cultivo de papa cv. Bicentenario bajo condiciones controladas.

1.4 Justificación de la investigación

El trabajo de investigación propuesto es de interés social, económico y ambiental debido a que el cultivo de papa presenta gran importancia y demanda en la agricultura familiar, por ser parte de la dieta diaria y generar ingresos para sustentar las canasta básica de diferentes zonas rurales del Perú (Graves, 2006). Sin embargo, ante la preocupación de reducir el efecto negativo de los fertilizantes minerales aplicados en el cultivo de papa en el Perú, se necesitan nuevas alternativas en el manejo nutricional. En ese contexto, la utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal resalta como una estrategia sostenible y eficiente para reducir el efecto del uso excesivo de fertilizantes minerales en la producción del cultivo de papa (Moreno y Moreno, 2020).

La utilización de bacterias PGPR también se traduce en un menor costo de producción con un efecto más sostenido en el largo plazo, asimismo permitirá reducir la contaminación tanto del medio ambiente como del ser humano por la utilización excesiva de fertilizantes minerales en diferentes etapas (Cruz-Cárdenas et al., 2021). Los resultados de esta investigación son relevantes en la zona de estudio para los productores de papa, aportará información novedosa a la comunidad estudiantil, además servirá como antecedente para futuras investigaciones.

1.5 Delimitación del estudio

Esta investigación se llevó a cabo en dos etapas, la etapa en el Laboratorio de Investigación en bioprospección y biotecnología microbiana, Universidad Nacional de Barranca - UNAB, localizada en el distrito de Barranca, provincia de Barranca y la etapa experimental se desarrolló en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en casa malla, durante los meses mayo a setiembre del 2024, localizado en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, región Lima-Perú. La investigación en sus dos etapas abarcó los meses de abril del 2024 hasta enero del 2025.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Kantar y Uysal (2020) evaluando el efecto de la aplicación de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens* en el crecimiento y rendimiento del cultivo de papa, evaluaron la aplicación de fertilización estándar, los *Bacillus* y un control absoluto. Los resultados reportaron que con la aplicación de los *Bacillus* se adelantó la brotación (40 días), aumento de número de tallos (+3) y hojas (+37) por planta, aumentó la biomasa aérea, mayor peso de tubérculos (104.21g) y un aumento significativo en la producción (22.06 t.ha⁻¹) respecto al control absoluto. Asimismo, la producción con aplicación de *Bacillus* fue similar al tratamiento con aplicación de fertilizantes. Los autores concluyen que *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* manifestaron rendimientos similares al fertilizante químico.

Jabnoun-Khiareddine et al. (2023) en su trabajo de investigación con *Bacillus* endófitos (*B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus* y *B. tequilensis*) como agentes de control de patógenos de la raíz y marchitamiento, y para promover el crecimiento de las plantas. En sus resultados obtenidos demostraron que los *Bacillus* spp. controlan significativamente todas las enfermedades fúngicas que se presentan en el cultivo, además mejoraron la altura de planta hasta en un 55%, crecimiento radicular en un 45% y mejoraron el peso de tubérculo en hasta un 50% en comparación al control absoluto. Concluyen que estas cepas de *Bacillus* spp. pueden utilizarse en combinaciones como control suplementario de enfermedades y promover el crecimiento y rendimiento en los sistemas de producción de papa.

Maslennikova et al. (2023) en su investigación con la mezcla de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens* para el control de *Rhizoctonia*, mejorar el crecimiento y rendimiento de la papa, encontraron que con la mezcla de bacterias el índice de *Rhizoctonia solani* disminuyó en hasta un 40%, la longitud de la parte aérea fue mayor (1.3 veces más), mayor número de tallos (1.4 veces mayor) y el rendimiento se incrementó en hasta 8.2 t/ha, con una fracción del 16% de tubérculos más grandes respecto al control absoluto. En conclusión, la mezcla de estos *Bacillus* mitigó el hongo patógeno y mejoró los parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de papa.

Alvarado-Capó et al. (2015) en su investigación sobre el efecto de bacterias PGPR del género *Bacillus spp.* en la producción de minitubérculos cv. “Romano” en casa malla, inoculadas por inmersión de las raíces en suspensión bacteriana, encontró diferencias significativas en la variable altura de planta respecto a un control sin fertilizante, siendo el CCIBP-C5 superior con 40.29 cm en promedio, por otro lado, el tratamiento que se inoculó con CCIBP-W13 indujo mayor formación de tubérculos por planta, las variables de masa fresca y masa seca, fueron mejores con la inoculación de las bacterias en comparación con el control con y sin fertilizante. Refieren también que, la inoculación de las cepas bacterianas en el momento de la siembra favorece en el crecimiento inicial y desarrollo de las plantas in vitro de papa, por lo que concluyeron que la inoculación de cepas bacterianas en plantas in vitro tuvo influencia sobre las variables evaluadas y dependen del tipo de cepa, además puede favorecer en la reducción del uso de fertilizantes químicos en la obtención de mini tubérculos.

Rocha et al. (2019) evaluando bacterias endófitas aisladas de papas nativas de tipo *Bacillus* como promotores de crecimiento vegetal en cultivos de papa Huaycha. Encontró que dos aislados del género *Bacillus* cumplieron con tres mecanismos de promoción (fijación de N₂, solubilización de fosfatos y producción de AIA). Comparando los aislados con *B. subtilis* en invernadero, obtuvieron que la inoculación con el aislado presentó un mayor desarrollo de tubérculo con un rendimiento de 3 t.ha⁻¹. En tanto que, para el peso de tubérculos destacó el aislado comercial con un peso promedio de 72.74 g, seguido del *Bacillus spp.* con 71.63 g. y para la altura de planta presentaron resultados similares.

Moreno y Moreno (2020) con el objetivo de evaluar microorganismos nativos PGPR sobre el desarrollo de plantas de papa en invernadero, seleccionó tres cepas aisladas (*Bacillus simplex*, *Pseudomonas poae* y *Pseudomonas fluorescens*) y una levadura, de los cuales demostraron una mayor capacidad para mineralizar el nitrógeno, solubilizar fósforo inorgánico y producir fitohormonas tipo ácido indol acético en condiciones in vitro, destacando las cepas *B. simplex* (QA23) y *P. fluorescens* (QA44) en la producción de AIA frente a la cepa control *B. pumilus* ATCC 14884, mientras que la cepa de *P. poae* (QA8) proporcionó mayor desarrollo radicular en las plantas de papa, al igual que la cepa control *B. pumilus* ATCC 14884. Asimismo, la cepa QA8 indujo un mejor desarrollo radicular de las plantas de papa, resultado similar que la cepa control *B. pumilus* ATCC 14884.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Contreras et al. (2019) evaluando el efecto de cuatro cepas bacterianas (*Azotobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Pantoea sp.*, *Bacillus amyloliquefaciens* y un control) sobre las características agronómicas de tres cultivares de papa (Canchan, Perricholi y Única) en Cañete, encontraron que, la inoculación con las cepas bacterianas tuvieron efectos significativos en las variables de vigor vegetativo, porcentaje de inflorescencia, peso de parte aérea, peso total de la biomasa, en las tres variedades comerciales, destacando *Azotobacter sp.*, como promotor en el incremento del peso de follaje (3kg/planta) y de la biomasa total (120.5 kg/ha), así mismo, estimular la floración en la variedad Perricholi. En tanto que, *Bacillus sp.* tuvo efecto en la regulación de senescencia del follaje de la variedad Canchan, así concluyeron que las cepas inoculadas en las variedades de papa influyeron en ciertos caracteres agronómicos, aunque su efecto depende de cada variedad de papa.

Arcos y Zúñiga (2016) evaluando ocho cepas de rizobacterias nativas con el objetivo de mejorar la producción del cultivo de papa y el control de fitopatógenos en Puno, reportaron que para las variables altura de planta y rendimiento de tubérculos en peso y número, el tratamiento inoculado con microorganismos PGPR fue estadísticamente superior respecto al control absoluto (sin inoculación); presentando a la variedad Compis con un incremento en 125,79% en el rendimiento y un incremento del 141,41% en el número de tubérculos por planta. Además, destacan que los campos inoculados con rizobacterias presentaron menor porcentaje de infestación de tubérculos con *Spongospora subterranea* y *Rhizoctonia solani*.

Camacho y La Torre (2015) evaluando tres géneros de bacterias (PGPR) *Actinomicetos*, *Bacillus* y *Pseudomonas* sobre en el crecimiento del cultivo papa en sustratos con diferentes combinaciones de arena, musgo y tierra de cultivo. Reportan que la inoculación con las cepas de *Bacillus* mejoraron las características morfológicas del cultivo en todos los sustratos, pero las cepas de *Actinomicetos* presentaron los mejores resultados en las variables evaluadas. Los autores concluyen que hubo promoción de crecimiento mediante la inoculación de estos tres géneros de bacterias en el cultivo de papa en todos los sustratos.

Mauricio (2022) evaluando el consorcio de rizobacterias (*Azotobacter sp.* + *B. subtilis* + *B. simplex*, *Azotobacter sp.* + *Bacillus subtilis*, *Azotobacter sp.* + *Bacillus simplex* y un control con fertilización) con la finalidad de promover el crecimiento del cultivo de papa, obtuvo como resultados que la inoculación con el consorcio de *Azotobacter sp.* + *B. simplex* + *B.*

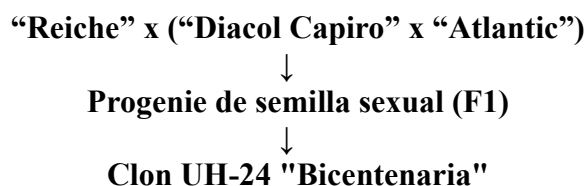
subtilis promovieron con alta significancia el crecimiento de la papa en las variables altura de planta (38.45 cm), número de brotes (1.39) y número de hojas por planta (44). Concluyendo que un consorcio de rizobacterias mejora el crecimiento y la producción del cultivo de papa, esto se traduce en una alternativa eficaz para producir tubérculos semilla en invernadero.

Calvo (2008) con el objetivo de investigar sobre las mejores bacterias del género *Bacillus* aislado de la rizosfera del cultivo de papa, demostró que estas son capaces inhibir el desarrollo de *Rizoctonia solani* (69-91%) y *Fusarium solani* (58-86%). Además, fueron capaces de producir grados ácido indol acético (AIA) y solubilizar de fosfatos. En campo inocularon los *Bacillus* en cultivares de papa (Yungay, Canchan, Desiree y Única) hallando como resultados diferencias significativas respecto a controles positivos para las variables agronómicas; peso seco de planta y tubérculos, número de tubérculos y el área de las hojas. Finalmente mencionan que existe una alta correlación entre el peso de la parte aérea, el número y peso de tubérculos, lo que significa que un buen desarrollo de la parte aérea tiene un efecto mayor en la producción de tubérculos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Origen de la papa cv. Bicentenaria

Contreras – Liza et al. (2023) menciona que esta variedad es el clon UH-24, conocido como “Bicentenaria”, la cual se originó mediante selección clonal, por el cruzamiento entre variedades:



- Reiche, es una variedad peruana que ha sido originada por el Centro Internacional de la Papa para procesamiento y fue desarrollado por la Universidad de Ica.
- Capiro, es una variedad colombiana que es usada para la industria de fritura.
- Atlantic, es una variedad norteamericana para la industria.

2.2.2 Taxonomía

Según Trujillo (2004) y Rodríguez (2010) el cultivo de papa presenta la siguiente clasificación.

Reino : Vegetal
División : Fanérogama
Clase : Dicotiledonea
Subclase : Simpétala
Orden : Tubifloríneas
Familia : Solanáceae
Género : Solanum
Especie : Tuberosum

2.2.3 Cultivo de papa cv. Bicentenaria

Contreras-Liza et al. (2023) menciona las características distintivas del nuevo cultivar Bicentenaria en la Tabla 1.

Tabla 1
Características distintivas de la papa cv. Bicentenaria

Órgano vegetal	Descriptor	Característica distintiva
Brote	Forma	Cilíndrico estrecho
	Número de radículas	Alto
	Proporción de azul en la pigmentación antociánica de la base	Fuerte
	Pubescencia de la base	Intermedia
Tallo	Pigmentación antociánica	Débil
Botón floral	Pigmentación antocianina	Media
Planta	Frecuencia de flores	Elevada
Corola de la flor	Proporción de azul en la pigmentación antociánica de la cara interna	Ausente
	Extensión de la pigmentación antociánica de la cara interna	Ausente

Planta	Época de madurez	Semiprecoz
Tubérculo	Forma	Esférica
	Color de la pulpa	Blanco
	Color de la piel	Crema

Asimismo, menciona las características generales de la variedad:

- Presenta respuestas favorables para la producción en entornos con las condiciones adecuadas, obteniendo un alto rendimiento y uniformidad de tubérculos.
- Presenta un corto periodo vegetativo y buena estabilidad fenotípica.
- Presenta baja incidencia frente a enfermedades; como el tizón tardío.
- Presenta sólidos solubles y tipo de tubérculo adecuados para la industrialización, en cuanto al procesamiento en frituras en bastones y hojuelas.

2.2.3.1 Descripción morfológica

Según Contreras - Liza (2020) las características morfológicas del varietal son las siguiente:

- Crecimiento de forma erecta, determinada.
- El follaje presenta un color verde intenso.
- Presenta de 4 a 5 tallos por planta.
- El tallo principal presenta un color lila con forma cilíndrica y levemente pubescente.
- Las hojas presentan intercalación de foliolos, con forma oval agrandada en la base.
- La floración es intensa, la fecha de inicio de la floración es 45 días después de la siembra.
- La corola es de forma pentagonal y de color blanco.
- Las anteras presentan un color amarillo y se encuentran debajo del estigma.

2.2.3.2 Característica agronómica e industrial

Según Contreras – Liza (2020) las características agronómicas e industriales del varietal fueron descritas en función a las evaluaciones desarrolladas en forma paralela a ensayos de rendimiento, presentando los siguientes resultados:

Aptitud agronómica

- Duración que presenta el ciclo vegetativo: 120-130 días.
- Presenta una moderada resistencia en campo a la enfermedad conocida como racha.
- Presenta tolerancia a los virus comunes de la papa, entre ellos PVY, PVX, PVS y PLRV.
- Los tubérculos son característicos porque presentan uniformidad en tamaño, forma redondeada, ojos superficiales, pulpa blanca y piel lisa, de tono crema.
- El periodo de dormancia del cultivo es de tres a cuatro meses.
- Posee buena adaptación a las condiciones de la Costa central y la región Sierra hasta una altitud de 2500 m.s.n.m.
- El rendimiento promedio que alcanza esta variedad ronda las 35 toneladas por hectárea.

Aptitud de procesamiento

- El contenido de sólidos solubles en el tubérculo ronda en promedio los 18.4%.
- Presenta un color de hojuelas adecuado, con un valor de $b = 22.98$ dado por el método Hunter Lab.
- Posee niveles bajos de glicoalcaloides (ensayo TGA), con valores comprendidos entre 1.73-1.82 mg/100 g.
- Presenta un porcentaje reducido de defectos por fritura en hojuelas equivalente a 8,14 %.
- La Calidad para elaboración de “chips” y “tiras” destinadas para pollerías es muy buena.

Aptitud productiva

Según Contreras et al. (2019) y Vargas et al. (2021) mencionan algunas características productivas de la papa Bicentenaria:

- Capacidad para producir hasta 8 tubérculos por planta.
- Capacidad de obtener un rendimiento promedio de $44,8 \text{ t ha}^{-1}$, con un buen manejo.
- Capacidad del tubérculo para presentar en promedio 18,4% de sólidos solubles.

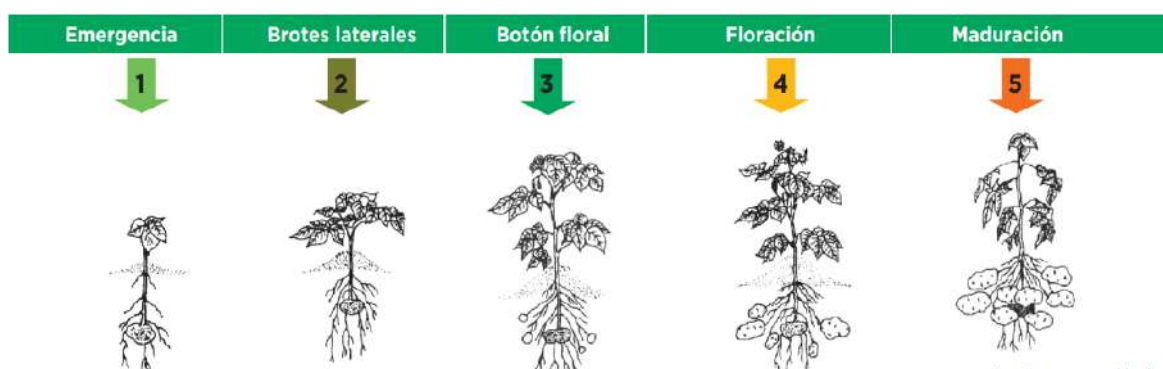
2.2.4 Fenología del cultivo de papa

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2019) precisa las siguientes fases fenológicas del cultivo de papa:

- 1) **Emergencia:** Alargamiento y desplazamiento de las hojas del tallo principal sobre la superficie del suelo.
- 2) **Brotos laterales:** Ramificación del tallo. Crecimiento longitudinal de las ramas nuevas. Los brotes aéreos forman el follaje de la planta y los subterráneos a los rizomas, siendo estas la consecuencia de la formación de tubérculos.
- 3) **Botón floral:** Visualización del botón floral de la primera inflorescencia del tallo principal
- 4) **Floración:** Se abren las primeras flores.
- 5) **Maduración:** Variación del color de la hoja y está relacionado de forma directa con la maduración del tubérculo. Visualización de la piel de la papa de la base de la planta si está bien adherida y no se desprende; además, la madurez de la papa es cuando al ser presionada con los dedos no pierde su cáscara.

Figura 1

Estadios fenológicos del cultivo de papa



MIDAGRI (2019): <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/228>

2.2.5 Requerimiento climático

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2019) describe el requerimiento de las condiciones climáticas del cultivo de papa:

- Temperaturas óptimas para la emergencia del cultivo de papa está en rangos de 17 °C a 25 °C.
- En la etapa vegetativa, temperatura favorables oscilan entre los 15°C a 25°C, mientras que la tuberización depende directamente de la traslocación y acumulación de fotosintatos en los tubérculos, siendo los valores más apropiados de 14°C a 20°C.

Asimismo, se menciona que temperaturas inferiores a 15°C pueden reducir la velocidad de crecimiento de los brotes y retrasar la emergencia de los tallos. Por otro lado, temperaturas por encima de 28°C impiden una correcta tuberización, lo que causa una ausencia de tubérculos y crecimiento engrosado de estolones.

- La papa es un cultivo que presenta fotoperiodo corto, por lo que necesita entre 10 a 12 horas de luz solar diaria para un óptimo desarrollo.
- La humedad relativa no debe exceder el 80%, porque incrementa la incidencia de enfermedades fúngicas como alternaria, rancha y otras.

Tabla 2

Requerimiento climático del cultivo de papa según el periodo fenológico

PERIODO FENOLÓGICO	CRECIMIENTO VEGETATIVO					MADURACIÓN	
	CRECIMIENTO REPRODUCTIVO						
Parte aérea	Brotamiento	Emergencia (1)	Brotes laterales (2)	Botón floral (3)	Floración (4)	Maduración de bayas (5)	Senescencia
Parte radicular	Formación de raíces y tallos	Desarrollo y crecimiento de raíces		Emisión y crecimiento de estolones	Crecimiento y llenado de estolones	Maduración de tubérculos	
Ocurrencia de la fase (dds)							
Variedad precoz		15-20	25-35	60-70	80-95	100-120	
Variedad semitardía		20-25	35-45	75-90	100-120	130-160	
Variedad tardía		25-30	45-55	95-105	135-150	180-200	
Temperatura óptima	17°C a 25°C	17°C a 25°C	15°C a 25°C	15°C a 25°C	15°C a 25°C	14°C a 20°C	
Temperatura crítica	< 5°C a 30°C >	< 5°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 5°C a 28°C >	
Humedad óptima	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	
Déficit hídrico	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Tolerante	

MIDAGRI (2019): <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/228>

2.2.6 Importancia de la Variedad “Bicentenaria”

Torres (2021) menciona la importancia del Clon UH-24:

- Disminuir la importación, de 35 000 t anuales de papas procesadas.
- Presenta características muy apreciadas por pollerías y restaurantes, pulpa cremosa, liviana, pocos ojos, demanda poco aceite y presenta un nivel bajo de azúcar, evitando la oxidación rápida.
- Una alternativa en la rentabilidad, para mejorar la calidad de vida del productor.
- Factor importante en la seguridad alimentaria.
- Presenta características únicas frente a otras variedades del país.
- Garantiza a la industria una producción durante todo el año, porque presenta una capacidad alta de adaptación a diferentes condiciones climáticas.

2.2.7 Mecanismos de promoción de crecimiento vegetal (PGPR)

La utilización *Bacillus* endófitos como bacterias que promueven el crecimiento vegetal se viene investigando en las últimas décadas, introduciendo el término "rizobacterias" denominadas como PGPR (Plant growth-promoting rhizobacteria) (Benjumeda, 2017). Las bacterias utilizan diversos mecanismos ya sea directos o indirectos que pueden brindar ventajas al cultivo, los mecanismos directos más relevantes suelen ser la solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas (auxinas) y fijación biológica del N₂ atmosférico que contribuirán a la nutrición y mejora del sistema radicular (Lugtenberg y Kamilova, 2009; Compant et al., 2019). Camelo et al. (2011) menciona que entre los mecanismos indirectos se pueden presentar síntesis de sideróforos que promueven la disponibilidad de hierro, producción de antibióticos e inducción a una mayor resistencia sistémica en las plantas.

Ogata et al. (2016) refiere que en las últimas décadas, las investigaciones en microbiología aplicada al área agrícola han tomado mayor relevancia, debido al desempeño y efectividad que presentan las rizobacterias como promotoras de crecimiento en diferentes especies vegetales que permiten acelerar la emergencia, promover mayor altura de planta, aumentar el peso y tamaño de tubérculos. Sin embargo, las investigaciones aún son limitadas sobre el uso y efectividad de diferentes especies de microorganismos que mejoran características de producción de los cultivos.

Algunos géneros de bacterias pertenecientes a PGPR son; *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* y *Serratia* (Benjumeda, 2017).

2.2.8 Bacterias endófitas

Este grupo representa a los microorganismos que colonizan de forma natural tejidos internos de las plantas sin provocar enfermedades, sino más bien establecen relaciones de mutualismo para mejorar la adaptación frente a condiciones adversas que se presenten en el ambiente (Hardoim et al., 2015). Estas bacterias se pueden localizar en las raíces, los tallos, las hojas e inclusive en órganos productivos, generando una mejor optimización de los recursos metabólicos, es por lo que son una alternativa viable para aplicaciones biotecnológicas en la agricultura.

2.2.8.1 *Bacillus* sp.

Los géneros *Bacillus* son microorganismos sobresalientes en el suelo, aislados de la rizosfera de diferentes cultivos, investigaciones reportan efectos favorables de estos géneros con capacidad de promover el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno, solubilización de los fosfatos y la producción de fitohormonas, además como enzimas hidrolíticas, sideróforos y una amplia gama de antibióticos (Huerta, 2019; Rojas-Sánchez et al., 2022).

Bacillus sp. en condiciones óptimas produce efectos significativos sobre parámetros agronómicos y productivos de plantas de papa como; tuberización anticipada, aumento de altura, rápido desarrollo foliar y un probable incremento de tasa de fotosintética (Contreras et al., 2019).

2.2.8.2 *Cytobacillus solani*

Una nueva bacteria formadora de endosporas con tinción Gram positiva, denominada cepa FJAT-18043^T, se aisló de una muestra de suelo de un campo de patatas en la Región Autónoma de Xinjiang, China. Las propiedades fenotípicas, quimiotaxonómicas y genotípicas indicaron claramente que el aislado FJAT-18043^T representa una especie novedosa dentro del género *Bacillus*, sin embargo el nombre *Bacillus solani* sp. nov. aún no está propuesto (Liu et al., 2015).

2.2.8.3 *Neobacillus niacini*

Bacillus sp. la cepa DSM 2923^T (T = cepa tipo) y otras cinco cepas de *Bacillus* aisladas del suelo pudieron crecer con nicotinato (niacina) como principal fuente de carbono, nitrógeno y energía y producir un pigmento azul. El contenido de guanina más citosina de los ADN de cuatro cepas osciló entre 37 y 39% en moles. Sobre la base de los resultados de las pruebas fisiológicas comunes, no fue posible la asignación a una especie de *Bacillus* previamente descrita. Por lo tanto, estas cepas estrechamente relacionadas se describen como una nueva especie, *B. niacini* (Nagel y Andrews, 1991).

2.2.9 Uso de bacterias endófitas como bioinsumos

En estos últimos años, el uso de bacterias endófitas del género *Bacillus* ha ganado protagonismo para desarrollar bioinsumos agrícolas, teniendo formulaciones que se comercializan para el biocontrol de patógenos o para mejorar la asimilación de nutrientes denominados fertilizantes (Compant et al., 2019; Pérez-García et al., 2011). El interés por estos microorganismos radica en una alternativa más eficaz y sostenible que se integren en la producción para reducir los usos excesivos de agroquímicos.

2.3 Definición de términos básicos

- **Consorcio:** es una asociación que se da entre especies que buscan sobrevivir conjuntamente beneficiándose ambas partes, beneficiando también de forma indirecta al hospedero (Custodio, 2016).
- **Auxinas:** fitohormona que controla diversos procesos del desarrollo de las plantas, entre los que se tienen; elongación celular, dominancia apical, formación de raíces, diferenciación vascular etc. La auxina más representativa es el ácido indol acético (AIA) (Benjumeda, 2017).
- **Sideróforos:** son compuestos que producen las bacterias y hongos que tienen afinidad por el Fe^{+3} , lo que les permite tomar el hierro del ambiente, hacerlos disponible y utilizarlos en sus procesos metabólicos e indirectamente también las plantas aprovechan este hierro disponible (Jabnoun-Khiareddine et al., 2023).
- **Solubilización de fosfatos:** proceso microbiano que permite transformar el fósforo insoluble (fosfato de calcio, fosfato de hierro, etc.) en compuestos disponibles que la planta aprovecha. Este mecanismo se lleva a cabo debido a la secreción de ácidos

orgánicos y enzimas fosfatasas, que liberan iones ortofosfato aprovechables por las raíces (Sharma et al., 2013).

- **Bioinoculantes:** formulados a partir de microorganismos benéficos (bacterias, hongos, etc.) son aplicados directamente en las semillas, suelo o tejidos vegetales, su uso permite promover el crecimiento, proteger contra patógenos, solubilizar y fijar nutrientes. Los bioinoculantes constituyen una alternativa sostenible en la producción agrícola (Pérez-García et al., 2011).
- **Cepas:** son el conjunto de células de una misma especie obtenidas de una sola célula (Custodio, 2016).
- **Promoción del crecimiento:** aplicación de sustancia o compuesto a las plantas que estimula y modifica de alguna forma su crecimiento (Rocha et al., 2019).
- **Agricultura sostenible:** producción agrícola que protege la seguridad alimentaria sin comprometer ni impactar negativamente los recursos naturales (Sharma et al., 2013).

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

La inoculación de *Bacillus* endófitos produce efectos significativos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas.

2.4.2 Hipótesis específicas

- a) Los mecanismos de promoción de crecimiento difieren entre las cepas de *Bacillus* endófitos bajo condiciones in vitro.
- b) La inoculación de cepas de *Bacillus* endófitos influye significativamente sobre los parámetros morfológicos y de producción en el cultivo de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas.
- c) Existen diferencias significativas en las interacciones entre las cepas de *Bacillus* endófitos inoculados en el cultivo de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas.

2.5 Operacionalización de las variables

Tabla 3
Operacionalización de las variables

VARIABLE	FUNCIÓN	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
X: <i>Bacillus</i> endófitos	Independiente	Continua	<i>Bacillus</i> endófitos:	1 x 10 ⁻⁸ UFC mL ⁻¹
			<i>Bacillus</i> sp. Np9.1	
			<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	
			<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	
			<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	
Y:				
<u>Y1: Mecanismos de promoción de crecimiento</u>				
Y1.1: Producción de auxinas			Curva patrón (AIA)	mg.L ⁻¹
Y1.2: Solubilización de fosfatos			Curva estándar (KH ₂ PO ₄)	
Y1.3: Producción de sideróforos		Continua	Porcentaje de unidades sideróforos	
Y1.4: Fijación de nitrógeno			Subpelículas en medios MJV y Burk	
<u>Y2: Parámetros morfológicos y de producción</u>				
Y2.1: Altura de planta	Dependiente	Continua	Promedio de altura de planta	cm
Y2.2: Número de brotes		Discreta	Promedio de brotes por planta	Unidad
Y2.3: Número de tallos por planta		Discreta	Promedio de tallos por planta	Unidad
Y2.4: Número de hojas por planta		Discreta	Promedio de hojas por planta	Unidad
Y2.5: Área foliar por planta		Discreta	Promedio de área foliar por planta	cm ²
Y2.6: Aspecto externo de tubérculo		Discreta	Escala del aspecto del tubérculo	Escala de uniformidad
Y2.7: Número de tubérculos por planta		Discreta	Promedio de tubérculos por planta	Unidad
Y2.8: Peso de tubérculos/planta		Continua	Promedio de peso de tubérculos	g
Y2.9: Diámetro medio de tubérculo		Continua	Promedio de diámetro de tubérculo	mm

Nota: Se modificaron variables morfológicas y se añadieron variables de PGPR respecto al plan original, manteniendo la coherencia metodológica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Gestión del experimento

3.1.1 Ubicación

La **primera fase** del trabajo de investigación se ejecutó en el Laboratorio de Investigación en bioprospección y biotecnología microbiana de la facultad de ingeniería (Universidad Nacional de Barranca), ubicado en el departamento de Lima, provincia de Barranca, distrito de Barranca, ubicado según sus coordenadas geográficas UTM -10.7567 -77.7606, a una altura de 74 msnm.

Figura 2

Ubicación geográfica de la primera Fase del experimento en la Universidad de Barranca-Laboratorio



Tomada de Google Earth Pro.

La **segunda fase** del trabajo de investigación se ejecutó en el campo experimental - casa malla de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental (Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión) en el departamento de Lima, provincia de Huaura, distrito de Huacho, ubicado según sus coordenadas geográficas UTM -11.125665 -77.60861, a una altura de 60 msnm.

Figura 3

Ubicación geográfica de la segunda fase del experimento en la Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión – Campo Experimental



Tomada de Google Earth Pro

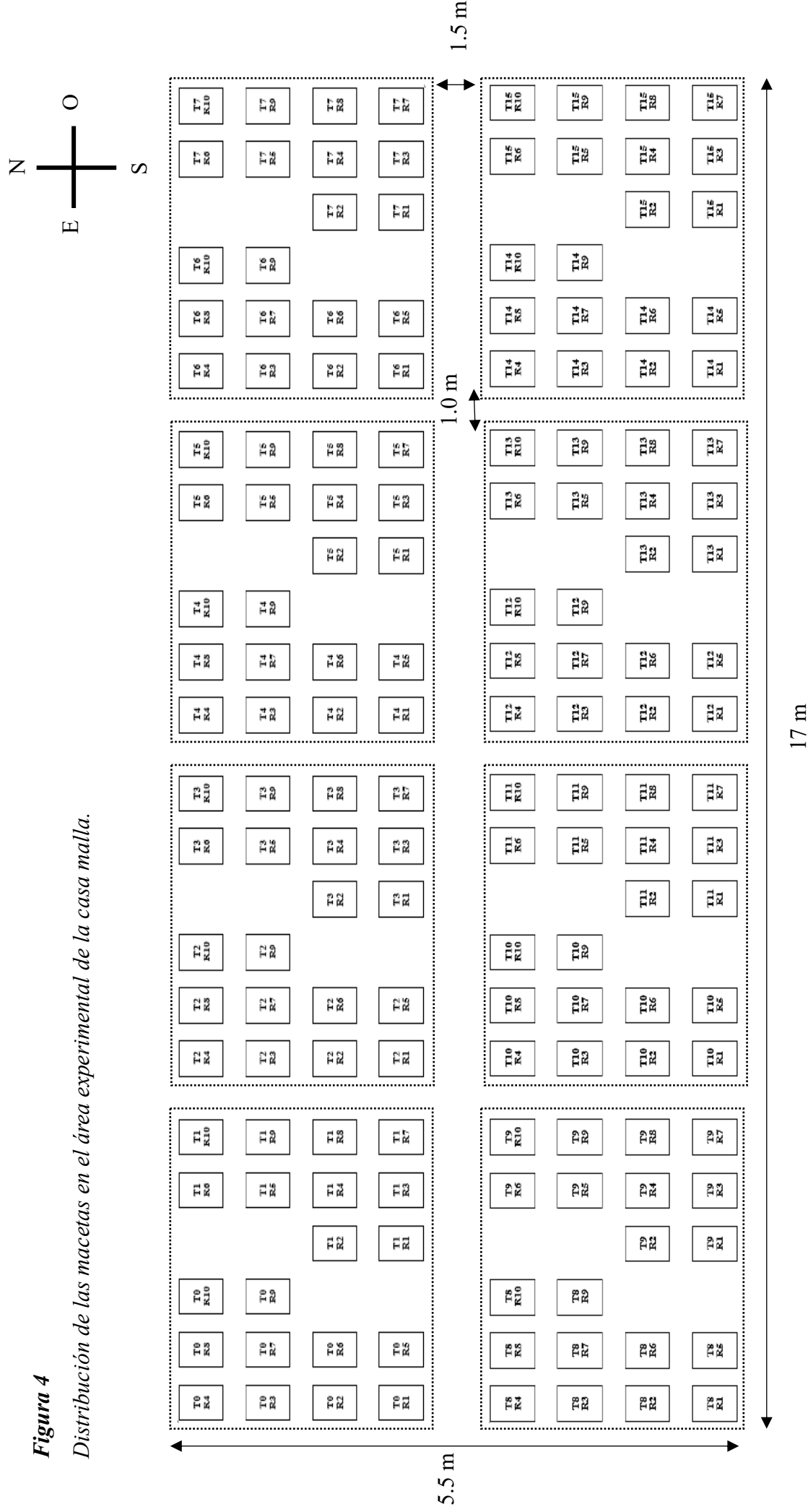
3.1.2 Características del área experimental

Los experimentos de la primera fase se realizaron en el Laboratorio de Investigación en bioprospección y biotecnología microbiana, de la UNAB. El Laboratorio estaba equipado para la producción adecuada de inoculantes microbianos. Entre los equipos usados: Cámara de flujo laminar, Agitador orbital, Incubadora, horno o estufa, Autoclave y espectrofotómetro.

El experimento en la segunda fase se llevó a cabo en la casa malla del campo experimental, en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. La área experimental estuvo cubierta con malla antiáfida y techada con malla raschell celeste al 50% de sombra. El sustrato utilizado para las macetas estuvo constituido por una mezcla (v/v) de arena lavada (45%), humus de lombriz (45%) y pajilla de arroz (10%). Antes de la siembra, el sustrato estuvo regado para proceder con la siembra e inoculación de las cepas de *Bacillus* endófitos.

Figura 4

Distribución de las macetas en el área experimental de la casa malla.



CROQUIS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.3 Tratamientos

El género, especie y código de las cuatro cepas de *Bacillus* endófitos empleada para la preparación de inoculantes se describen en la Tabla 4 y los tratamientos formulados individuales y en consorcios inoculados en el experimento se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4

Bacillus endófitos

Género y especie	Código de cepa
<i>Bacillus</i> sp.	Np9.1
<i>Cytobacillus solani</i>	Np2.1
<i>Neobacillus niacini</i>	Np2.2
<i>Cytobacillus solani</i>	Np2.3

Tabla 5

Tratamientos formulados con Bacillus endófitos

Clave	Tratamientos
T.1	Np2.1
T.2	Np2.2
T.3	Np2.3
T.4	Np9.1
T.5	Np2.1 + Np2.2
T.6	Np2.1 + Np2.3
T.7	Np2.1 + Np9.1
T.8	Np2.2 + Np2.3
T.9	Np2.2 + Np9.1
T.10	Np2.3 + Np9.1
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1
T.0	Control absoluto (sin inoculación)

3.1.4 Diseño experimental

Este trabajo de investigación se planteó utilizando un diseño completamente al azar (DCA) que conformó de un total de 160 macetas distribuidas aleatoriamente, cada tratamiento se conformó de 10 repeticiones, considerándose 15 tratamientos con inoculación de *Bacillus* endófitos más un tratamiento control sin inoculación (T.0) (**Tabla 5**).

3.1.5 Variables evaluadas

Variables de la primera fase

Las variables fueron evaluadas en el Laboratorio de Investigación en Bioprospección y Biotecnología Microbiana siguiendo los procedimientos aprobados por la Universidad Nacional de Barranca.

Mecanismos de promoción de crecimiento

Y_{1.1}: Producción de auxinas

La producción de ácido indo acético (AIA) fue evaluada empleando la técnica colorimétrica y cuantitativa, en que se utilizó el reactivo de Salkowsky de acuerdo con Gravel et al. (2007). Se expresó en mg.L⁻¹.

Y_{1.2}: Solubilización de fosfatos

La prueba de solubilización de fosfatos se evaluó de forma cuantitativa empleando la técnica del fosfomolibdato (Murphy y Riley, 1962).

Y_{1.3}: Producción de sideróforos

La producción de unidades de sideróforos se evaluó de forma cuantitativa empleando la metodología del CAS-Shuttle Assay (Sayyed et al., 2005).

Y_{1.4}: Fijación de nitrógeno

La capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas se determinó inoculando en medios MJV y Burk, medios minerales sin fuente de nitrógeno (Baldani et al., 2014).

Variables de la segunda Fase

Las variables agronómicas evaluadas en el área experimental de casa malla siguieron la metodología propuesta por Bonierbale et al. (2010).

Parámetros morfológicos

Estos parámetros se evaluaron y anotaron en cartillas de evaluación para su posterior análisis, por cada parámetro se menciona los días después de la siembra.

Y2.1: Altura de planta (cm): 45 días

La altura de la planta se midió con una regla milimetrada desde la base del tallo hasta el ápice de las hojas y se registró los datos en centímetros.

Y2.2: Número de brotes (n°): 30 días

El número de brotes por planta fue evaluado a los 30 días después de la siembra de forma manual contando los brotes. Se registró en unidades enteras.

Y2.3: Número de tallos por planta (n°): 65 días

El número de tallos se evaluó a los 65 días después del primer aporque, contando de forma manual la cantidad de tallos. Se registro en unidades enteras.

Y2.4: Número de hojas por planta (n°): 45 días

El número de hojas fue evaluado a los 45 días después de la siembra contando las hojas y se registró en unidades enteras.

Y2.5: Área foliar por planta (cm²): 45 días

El área foliar se determinó con la aplicación móvil “Easy Leaf Area” (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.heaslon.EasyLeafArea&hl=es_PE&pli=1), sombrea el área de la biomasa foliar y nos brinda el área en cm² (Easlon y Bloom, 2014).

Parámetros de producción

Estos parámetros fueron evaluados a la cosecha 120 días después de la siembra, durante el mes de setiembre.

Y2.6: Aspecto externo (escala 1 al 9)

El aspecto externo de los tubérculos fue evaluado con una escala del 1 al 9. Siendo 1 un aspecto poco agradable y con daños, en tanto que una escala cerca al 9 tuvimos un aspecto muy bueno.

Y2.7: Número de tubérculos por planta (n°)

El número de tubérculos por planta fue evaluado contando los tubérculos por planta y los datos fueron registrados en unidades enteras.

Y2.8: Peso de tubérculo por planta (g)

El peso de tubérculo por planta fue evaluado pesando los tubérculos cosechados, se utilizó una balanza analítica y los datos encontrados fueron registrados en gramos.

Y2.9: Diámetro medio de tubérculo (mm)

El diámetro medio de tubérculo fue evaluado midiendo el ancho del tubérculo. Se utilizó un vernier digital y los datos encontrados fueron registrados en milímetros.

3.1.6 Conducción del experimento

Fase 1: Reactivación y mecanismos de promoción de crecimiento de cepas de *Bacillus* endófitos

Reactivación de cepario:

Para el estudio se emplearon cepas de *Bacillus* endófitos aisladas de *Nicandra physalodes* depositadas y conservadas en la Colección de Microorganismos Benéficos para la agricultura y pecuaria-UNAB (ColMiBAP-UNAB). La colección de endosimbiontes está formada por cuatro cepas, dos del género *Cytobacillus* (*Np2.1* y *Np2.3*), un *Neobacillus* (*Np2.2*) y un *Bacillus* sp. (*Np9.1*), provenientes de la provincia de Barranca. Las cepas fueron reactivadas desde criopreservación a -80°C en una placa conteniendo agar TSA, e incubadas por 24 horas

a 28°C. Las cepas fueron cultivadas antes de alcanzar la fase estacionaria y la D.O fue estandarizada a 1.0 (600 nm). El recuento celular fue confirmado mediante diluciones decimales sucesivas y sembradas en placas de Petri conteniendo agar TSA (1×10^8 UFC mL⁻¹). Para la preparación del inóculo, se realizó una dilución (1:10) empleando agua destilada estéril a utilizar. Esta dilución sirvió para inocular los tubérculos semilla de papa.

Caracterización de los mecanismos de promoción de crecimiento

Las cepas de *Bacillus* fueron sembradas en tubos conteniendo 10 mL de caldo TSB e incubado a 170 rpm por 24 horas. Los inóculos fueron cosechados a 10000 rpm por 3 minutos, el pellet lavado con solución salina estéril (0,89%) y resuspendido a una suspensión bacteriana de $DO_{600\text{ nm}} = 1,0$. El inóculo fue empleado para los ensayos de evaluación de promoción de crecimiento.

Producción de auxinas

La producción de fitohormonas fue evaluada empleando la técnica colorimétrica usando el reactivo de Salkowsky de acuerdo con Gravel et al. (2007) que cuantifica la producción de compuestos indólicos, entre ellos la auxina, por el método espectrofotométrico a 535 nm en la presencia o ausencia de L-triptófano. La producción de auxinas se realizó en caldo LB, ambos suplementados con 100, 250, 500 ppm de triptófano. Las cepas fueron inoculadas (10%) en tubos conteniendo 5 mL los medios de cultivo en estudio. Las cepas fueron cultivadas de acuerdo a la velocidad de crecimiento de la cepa y el sobrenadante obtenido a 8000 rpm por 10 minutos. La producción de auxinas se determinó empleando una curva patrón empleando diferentes concentraciones de AIA.

Solubilización de fosfatos

La solubilización se realizó en una primera etapa en agar NBRIP y su capacidad de producir halos de solubilización de fosfatos a nivel de placa. De acuerdo al resultado, fue cuantificada la producción de fosfato soluble por las cepas en medio líquido PVK. Se empleó la técnica del fosfomolibdato (Murphy & Riley, 1962) para evaluar fosfato soluble. Se realizó una curva estándar a base de KH_2PO_4 . Las fuentes de fósforo a evaluar fue fosfato tricálcico.

Producción de sideróforos

Se evaluó de manera cuantitativa. Las cepas bacterianas se cultivaron en caldo SM, inoculando a razón de 0,1% (v/v), es decir, 100 µL en 10 ml de medio SM contenidos en frascos Erlenmeyer de 125 ml. Seguidamente estas muestras fueron incubadas a una temperatura de 28°C con agitación constante de por 170 rpm, que se fue ajustando según la velocidad de crecimiento de las cepas. Posterior a ello, una vez que las muestras alcanzaron el crecimiento adecuado fueron centrifugadas a 10000 rpm durante 15 minutos y el sobrenadante libre de célula se utilizó para la cuantificación de unidades de sideróforos. Para la determinación de sideróforos se llevó a cabo bajo la metodología del CAS-Shuttle Assay, que consiste en combinar 0,5 ml del sobrenadante del cultivo y 0,5 ml de reactivo CAS. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 630 nm, utilizando como control el caldo de una muestra no inoculada + 0.5 ml de reactivo CAS.

El porcentaje de unidades de sideróforos se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$((Ar - As)/Ar)*100$$

donde, Ar: Absorbancia de la referencia; As: Absorbancia de la muestra (Sayyed et al., 2005).

Fijación de Nitrógeno

La capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas en estudio se determinó en los medios MJV y Burk un medio mineral sin nitrógeno (Baldani et al., 2014), suplementado con 1,6 g (semisólido) o 16 g (sólido) de agar-agar, 0,5 mL de solución de azul de bromotimol (0,5% en etanol al 70%), pH $7,0 \pm 0,2$. Los inóculos estandarizados se sembraron en la superficie de los medios de cultivo MJV y Burk semisólido a razón del 10% (150 µL por tubo). La formación de una subpelícula bajo los medios de cultivo MJV y Burk semisólido y la aparición de colonias en ambos medios sólidos, así como el cambio del indicador azul de bromotimol, indican la actividad fijadora de nitrógeno.

Fase 2: Siembra e inoculación de papa cv. Bicentenario en casa malla

Habilitación del área experimental

- Se realizó la limpieza y el cambio completo de la malla antiáfida del área experimental, en el techo también se colocó una malla rashell al 50% de sombra.

- Se dispuso de 8 mesas en la casa malla, se colocaron 2 tratamientos por cada mesa (Figura 4).
- Las macetas utilizadas fueron de una capacidad de 4 L que se desinfectaron con detergente, se ordenaron y se rotularon según tratamiento y repetición (Figura 4).

Tubérculo semilla

Los tubérculos semilla de papa cv. Bicentenario producidos en invernadero, provistos por el Laboratorio de Biotecnología para la Producción (Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). Se seleccionaron los mejores tubérculos semilla, distribuidos con características similares en tamaño y forma.

Desinfección de los tubérculos semilla

Se desinfectaron los tubérculos semilla con hipoclorito de sodio al 5% durante 3 min, luego se realizó tres enjuagues con solo agua. Se dejó orear por aproximadamente 1 hora.

Preparación de sustrato

El sustrato preparado para las macetas fue constituido por una mezcla (v/v) de 288 L de arena lavada (45%), 288 L humus de lombriz (45%) y 64 L pajilla de arroz (10%). Del sustrato preparado se agregó 2,75 L a cada maceta.

Preparación y traslado de inóculos

La preparación del inóculo se realizó en una dilución (1:10), se determinó 50 ml por cada semilla, por ende se preparó un total de 600 ml de inoculantes bacterianos individuales y en consorcio según la Tabla 5 de tratamientos. Estos inoculantes se prepararon a nivel de laboratorio con agua destilada estéril consiguiendo una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹ en una cámara de flujo laminar para evitar contaminaciones del ambiente, los inoculantes preparados fueron depositados en botellas de primer uso de capacidad de 1L esterilizados con rayos UV por 15 min, se rotularon en total 16 botellas (tratamientos). Para el traslado desde Barranca (UNAB) a la ciudad de Huacho (UNJFSC) las botellas con inoculantes se depositaron en un cooler de capacidad de 20 L.

Inoculación y siembra de los tubérculos

En el laboratorio de suelo de la UNJFSC los tubérculos semilla desinfectados fueron inoculados por inmersión, en un envase de primer uso de 1.5 L se agregó los 600 ml de caldo bacteriano sumergiendo los tubérculos por aproximadamente 5 minutos, luego se dejaron orear por 30 min. Este paso se repitió en un envase diferente para cada tratamiento.

Posteriormente, los tubérculos semilla fueron distribuidos y sembrados a 3 cm de profundidad en cada maceta según tratamiento y repetición. La siembra se realizó en el mes de **mayo del 2024**.

Después de 60 días se realizó una segunda inoculación tanto foliar como radicular, utilizando la misma concentración y la metodología de preparación de caldo bacteriano.

Riegos

El primer riego se realizó un día anterior a la siembra con 250 ml de agua en reposo por 24 horas, posteriormente se realizó los riegos cada dos a tres días o según necesidad de cultivo con 250 ml de agua para cada tratamiento y repetición.

Control de plagas

Después de 40 días de siembra se realizó aplicaciones preventivas de Imidacloprid y Benomyl para el control de plagas y enfermedades respectivamente.

Evaluaciones de parámetros morfológicos

Las evaluaciones se realizaron por los investigadores según días establecidos para cada variable.

Cosecha

La cosecha se realizó después de los 120 días de la siembra, se realizó de forma manual por cada maceta según repetición y tratamiento. Se evaluaron los parámetros productivos.

3.2 Técnicas para el procesamiento de la información

Los resultados de las evaluaciones tomados en campo se transcribieron en hojas del programa Excel, luego se sometieron a la rigurosa prueba de normalidad y prueba de homogeneidad de varianza, con los datos transformados se procedió con el análisis de varianza (ANOVA) que permitió evidenciar diferencias significativas. Asimismo, para la comparación de medias se utilizó la prueba estadística Tukey con nivel de significación del 5% de probabilidad. El software estadístico utilizado fue el Infostat para el procesamiento de los datos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Características morfológicas evaluadas en casa malla

4.1.1 Altura de planta (cm)

Según el análisis de varianza, Tabla 6, se observa que existe diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p < 0.05$) para la altura promedio plantas, lo que indica variabilidad entre los resultados para esta variable. El coeficiente de variación es de un 11.00% lo que indica buena precisión entre los resultados de los tratamientos.

Tabla 6

Análisis de varianza para la altura de planta “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	9,39	15	0,63	3,31	0,001	**
Error	24,78	131	0,19			
Total	34,17	146				
CV%	11,00					

ns: no significativo, * significativo.

La Tabla 7 muestra la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% se observa diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). El consorcio con cepas Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1 (T15) presentó el mejor efecto con 19,08 cm de altura de planta, sin embargo este valor no difirió significativamente del control absoluto (14,46 cm) aunque el incremento fue de un 32% en la altura. Cabe mencionar que el T15 si fue superior significativamente a los tratamientos T8 y T4 que presentaron los valores más bajos de la Tabla con 12,97 y 11,87 cm respectivamente.

Tabla 7

*Altura promedio de plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Altura de planta (cm)
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	19,08 a
T.9	Np2.2 + Np9.1	18,52 ab
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	18,41 ab
T.10	Np2.3 + Np9.1	17,02 abc

T.3	Np2.3	17,01 abc
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	16,80 abc
T.6	Np2.1 + Np2.3	16,67 abc
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	16,62 abc
T.1	Np2.1	15,49 abc
T.2	Np2.2	15,19 abc
T.0	Control absoluto	14,46 abc
T.7	Np2.1 + Np9.1	14,42 abc
T.5	Np2.1 + Np2.2	13,94 abc
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	13,76 abc
T.8	Np2.2 + Np2.3	12,97 bc
T.4	Np9.1	11,87 c

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

4.1.2 Número de brotes por planta

En la Tabla 8 se observa el análisis de varianza que evidencia que se observa diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p < 0.05$) para el número de brotes por planta. El coeficiente de variación fue de 23.32%, con un promedio general de 1,67 brotes por planta.

Tabla 8

Análisis de varianza para el número de brotes por planta “cv. Bicentenario”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	3,98	15	0,3	2,6 1	0,0023	*
Error	10,58	104	0,1			
Total	14,56	119				
CV%	23,32					

ns: no significativo, * significativo.

Según la Tabla 9 comparando el número promedio de brotes por planta entre los diferentes tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey al 5%, se puede evidenciar que respecto al control absoluto (sin inoculación) no existe diferencias significativas. Cabe mencionar que la cepa Np2.2 fue superior significativamente a los consorcios Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 (T.11), Np2.2 + Np9.1 (T.9) y Np2.3 + Np9.1 (T.10).

Tabla 9

*Número de brotes promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Número de brotes
T.2	Np2.2	1,81 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	1,66 ab
T.6	Np2.1 + Np2.3	1,49 ab
T.8	Np2.2 + Np2.3	1,49 ab
T.4	Np9.1	1,46 ab
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	1,42 ab
T.1	Np2.1	1,41 ab
T.0	Control absoluto	1,41 ab
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	1,39 ab
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	1,38 ab
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	1,31 ab
T.3	Np2.3	1,30 ab
T.7	Np2.1 + Np9.1	1,23 ab
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	1,17 b
T.9	Np2.2 + Np9.1	1,10 b
T.10	Np2.3 + Np9.1	1,09 b

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

4.1.3 Número de hojas por planta

En la Tabla 10 según el análisis de varianza, se observa diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p < 0.05$) para la variable número de hojas por planta. El coeficiente de variación resultó en un 15.92% lo que indica una variabilidad aceptable entre los tratamientos, el promedio general para esta variable fue de 17,85 hojas por planta.

Tabla 10

Análisis de varianza para el número de hojas por planta “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	13,23	15	0,9	2,00	0,02	*
Error	57,69	131	0,4			
Total	70,93	146				
CV%	15,92					

ns: no significativo, * significativo.

La Tabla 11 evidencia que comparando el número promedio de hojas por planta entre los diferentes tratamientos, de acuerdo a la prueba de Tukey al 5%, se puede apreciar que respecto al control absoluto no existe diferencias significativas, sin embargo, la inoculación con la cepa Np2.2 (T2) indujo hasta 5 hojas más que el control absoluto. Además cabe recalcar que los consorcios Np2.1 + Np2.2 + Np9.1 y Np2.3 + Np9.1 fueron los que menor efecto tuvieron sobre esta variable con promedios de 13 y 12 hojas por planta respectivamente.

Tabla 11

Número de hojas promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con Bacillus endófitos bajo condiciones controladas

Tratamiento	Cepas	Número de hojas/planta
T.2	Np2.2	23,11 a
T.3	Np2.3	21,00 ab
T.1	Np2.1	20,44 ab
T.5	Np2.1 + Np2.2	19,56 ab
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	19,40 ab
T.0	Control absoluto	18,38 ab
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	18,00 ab
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	17,60 ab
T.9	Np2.2 + Np9.1	17,60 ab
T.8	Np2.2 + Np2.3	17,11 ab
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	16,89 ab
T.4	Np9.1	16,56 ab
T.6	Np2.1 + Np2.3	16,70 ab
T.7	Np2.1 + Np9.1	16,00 ab
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	13,57 b
T.10	Np2.3 + Np9.1	12,67 b

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

4.1.4 Número de tallos por planta

El análisis de varianza de la Tabla 12, evidencia que no se observa diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p < 0.05$) para el número de tallos por planta, lo que indica que existe un comportamiento homogéneo sobre esta variable. El coeficiente de variación es de un 22,97% lo que indica la precisión entre los tratamientos.

Tabla 12

Análisis de varianza para el número de tallos por planta “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	<i>p</i> > <i>Fc</i>	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	3,07	15	0,20	1,70	0,06	ns
Error	15,76	131	0,12			
Total	18,83	146				
CV %	22,97					

ns: no significativo, * significativo.

En la prueba de tukey al 5% para el número de tallos promedio por planta (Tabla 13), se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, la cepa Np2.2 (T2) mostro una tendencia de inducir por lo menos un tallo más por planta respecto al control absoluto que presento un promedio similar a los tratamientos T15, T14 y T8. Asimismo el T2 induce un efecto superior estadísticamente significativo que el consorcio de Np2.3 + Np9.1.

Tabla 13

*Número de tallos promedio por plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Número de tallos/planta
T.2	Np2.2	3,56 a
T.1	Np2.1	2,78 ab
T.3	Np2.3	2,70 ab
T.5	Np2.1 + Np2.2	2,67 ab
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	2,67 ab
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	2,50 ab
T.0	Control absoluto	2,50 ab
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	2,50 ab
T.8	Np2.2 + Np2.3	2,50 ab
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	2,43 ab
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	2,22 ab
T.6	Np2.1 + Np2.3	2,20 ab
T.4	Np9.1	2,11 ab
T.7	Np2.1 + Np9.1	2,10 ab
T.9	Np2.2 + Np9.1	2,00 ab
T.10	Np2.3 + Np9.1	1,33 b

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

4.1.5 Área foliar (cm²)

En el análisis de varianza (Tabla 14) reporta que no existe diferencias significativas entre los inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p > 0.05$) para el área foliar promedio de plantas de papa, lo que indica que existe un comportamiento similar sobre esta variable. El coeficiente de variación fue 14,06% lo que indica buena precisión de los valores.

Tabla 14

Análisis de varianza para el área foliar de plantas “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	21,99	15	1,47	1,13	0,33	ns
Error	165,63	128	1,29			
Total	187,62	143				
CV%	14,06					

ns: no significativo, * significativo.

La Tabla 15 reporta la prueba de comparación de medias de tukey al 5% del área foliar de plantas de papa, donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), sin embargo numéricamente se observa incrementos de hasta un 21% más en área foliar con la cepa Np2.2 (75,32 cm²) respecto al control absoluto (62,13 cm²). Asimismo, numéricamente se observa que los valores más bajos se reportan con los consorcios de los tratamiento T14 y T12.

Tabla 15

*Área foliar promedio de plantas de papa “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Área foliar (cm ²)
T.2	Np2.2	75,32 a
T.1	Np2.1	73,48 a
T.7	Np2.1 + Np9.1	73,47 a
T.4	Np9.1	72,18 a
T.8	Np2.2 + Np2.3	69,09 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	69,40 a

T.9	Np2.2 + Np9.1	68,09 a
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	66,85 a
T.6	Np2.1 + Np2.3	66,53 a
T.3	Np2.3	64,62 a
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	63,69 a
T.10	Np2.3 + Np9.1	63,00 a
T.0	Control absoluto	62,13 a
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	62,13 a
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	61,63 a
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	51,08 a

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

4.2 Características de producción

4.2.1 Número de tubérculos por planta

En el ANVA de la Tabla 16 no se detectaron diferencias significativas entre los inoculantes de *Bacillus* endófitos para el número de tubérculos por planta ($p > 0.05$). Esto indica que el efecto obtenido por los *Bacillus* endófitos fueron estadísticamente similares, el coeficiente de variación fue de un 24,7%.

Tabla 16

Análisis de varianza para el número de tubérculos por planta “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	6,04	15	0,40	1,51	0,11	ns
Error	34,96	131	0,27			
Total	41,00	146				
CV%	24,7					

ns: no significativo, * significativo.

Según la Tabla 17 la comparación de medias mediante la prueba de tukey ($p < 0.05$) evidenció que no existe diferencias significativas para el número de tubérculos por planta; no obstante, en términos numéricos respecto al control absoluto se observa tendencia creciente desde un 4% hasta un 27% en el número de tubérculos por planta, siendo la cepa *Cytobacillus solani* Np2.1 (T1) con el mejor efecto.

Tabla 17

Número promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con Bacillus endófitos bajo condiciones controladas

Tratamiento	Cepas	Número de tubérculos/planta
T.1	Np2.1	6,11 a
T.3	Np2.3	5,80 a
T.6	Np2.1 + Np2.3	5,50 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	5,44 a
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	5,30 a
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	5,00 a
T.0	Control absoluto	4,75 a
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	4,71 a
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	4,50 a
T.9	Np2.2 + Np9.1	4,40 a
T.4	Np9.1	4,22 a
T.7	Np2.1 + Np9.1	4,10 a
T.10	Np2.3 + Np9.1	4,00 a
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	3,89 a
T.8	Np2.2 + Np2.3	3,33 a
T.2	Np2.2	3,22 a

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

4.2.2 Peso de tubérculo por planta (transformación a raíz cuadrada - g)

Los tratamientos de inoculantes de *Bacillus* endófitos no evidenció diferencias significativas ($p>0.05$) en el análisis de varianza (Tabla 18), para la variable de peso de tubérculos por planta.

Tabla 18

Análisis de varianza para el peso de tubérculos por planta “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	67,95	15	4,53	1,20	0,28	ns
Error	493,04	131	3,76			
Total	561,00	146				
CV%	17,07					

ns: no significativo, * significativo.

Según la prueba de tukey al 5% (Tabla 19) para el peso de tubérculos por plantas no se reportaron diferencias significativas ($p>0.05$), sin embargo, se observa que todos los tratamientos en términos numéricos fueron superiores al testigo (105,63 g) con valores superiores desde un 12% hasta un 50% más en el peso de tubérculos, siendo la cepa Np2.1 (T1) con el mayor peso de tubérculos (158,33 g).

Tabla 19

Peso promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con Bacillus endófitos bajo condiciones controladas.

Tratamiento	Cepas	Peso de tubérculos (g)/planta
T.1	Np2.1	158,33 a
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	156,60 a
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	147,50 a
T.2	Np2.2	145,56 a
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	144,78 a
T.6	Np2.1 + Np2.3	138,80 a
T.7	Np2.1 + Np9.1	136,90 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	132,22 a
T.9	Np2.2 + Np9.1	129,20 a
T.4	Np9.1	126,00 a
T.10	Np2.3 + Np9.1	120,67 a
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	120,44 a
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	118,71 a
T.8	Np2.2 + Np2.3	118,67 a
T.3	Np2.3	118,60 a
T.0	Control absoluto	105,63 a

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

4.2.3 Aspecto externo del tubérculo (escala 1-9)

En la Tabla 20 según el análisis de varianza, no se reporta diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p>0.05$) para la variable aspecto externo de tubérculos. El coeficiente de variación fue de un 25,28% lo que indica una variabilidad aceptable entre los tratamientos.

Tabla 20

Análisis de varianza para el aspecto externo de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	66,29	15	4,42	1,23	0,26	ns
Error	468,21	130	3,60			
Total	534,49	145				
CV%	25,28					

ns: no significativo, * significativo.

En la comparación de medias del aspecto externo del tubérculo con la prueba de tukey al 5% (Tabla 21) no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) lo que indica características similares entre tratamientos, cabe mencionar que el 86,66% de los tratamientos con inoculación presentaron mejores características con una puntuación promedio de 8,22 en una escala de puntuación del 1 al 9.

Tabla 21

*Aspecto externo con una escala del 1-9 de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Aspecto externo del tubérculo
		(escala 1-9)
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	8,22 a
T.8	Np2.2 + Np2.3	8,22 a
T.6	Np2.1 + Np2.3	8,20 a
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	8,14 a
T.1	Np2.1	8,11 a
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	8,00 a
T.9	Np2.2 + Np9.1	8,00 a
T.7	Np2.1 + Np9.1	7,80 a
T.4	Np9.1	7,63 a
T.10	Np2.3 + Np9.1	7,56 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	7,00 a
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	7,00 a
T.2	Np2.2	6,89 a
T.0	Control absoluto	6,63 a

T.3	Np2.3	6,60 a
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	6,11 a

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

4.2.4 Diámetro del tubérculo (raíz-cm)

En análisis de varianza que se muestra en la Tabla 22, reporta que no existe diferencias significativas entre los Inoculantes de *Bacillus* endófitos ($p > 0.05$) para la variable diámetro del tubérculo. El promedio general para la variable en estudio fue de 39,5 cm y un coeficiente de variación de 17,40% lo que indica una variabilidad aceptable entre los tratamientos.

Tabla 22

Análisis de varianza para diámetro de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”

FV	SC	GL	CM	Fc	$p > Fc$	Significancia
Inoculantes de <i>Bacillus</i> endófitos	1003,35	15	66,89	1,41	0,15	ns
Error	6195,81	131	47,30			
Total	7199,16	146				
CV%	17,40					

ns: no significativo, * significativo.

En la Tabla 23 según la prueba de tukey al 5% no se evidenció diferencias estadísticamente significativas para el diámetro de tubérculos, sin embargo, numéricamente todos los tratamientos presentaron un efecto creciente respecto al control absoluto (37,05 mm), siendo el T2 (Np2.2) con el mejor efecto sobre esta variable superando al control hasta en un 23% (45,66 mm) seguidos de los consorcios T8 (Np2.2 + Np2.3) y T13 (Np2.1 + Np2.3 + Np9.1).

Tabla 23

*Diámetro promedio de tubérculos de plantas “cv. Bicentenaria”, inoculadas con *Bacillus* endófitos bajo condiciones controladas*

Tratamiento	Cepas	Diámetro del tubérculo (mm)
T.2	Np2.2	45,66 a
T.8	Np2.2 + Np2.3	44,01 a
T.13	Np2.1 + Np2.3 + Np9.1	43,99 a
T.12	Np2.1 + Np2.2 + Np9.1	41,21 a
T.15	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	39,72 a

T.6	Np2.1 + Np2.3	39,43 a
T.7	Np2.1 + Np9.1	39,13 a
T.4	Np9.1	39,02 a
T.9	Np2.2 + Np9.1	38,24 a
T.14	Np2.2 + Np2.3 + Np9.1	37,82 a
T.5	Np2.1 + Np2.2	37,76 a
T.10	Np2.3 + Np9.1	37,74 a
T.11	Np2.1 + Np2.2 + Np2.3	37,56 a
T.1	Np2.1	37,38 a
T.3	Np2.3	37,23 a
T.0	Control absoluto	37,05 a

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

4.3 Mecanismos de Promoción de Crecimiento Vegetal

4.3.1 Solubilización de fosfatos (mg. L⁻¹)

El análisis de varianza de la Tabla 24, reporta que existe diferencias altamente significativas entre *Bacillus* endófitos ($p < 0.01$) para la solubilización de fosfatos (mg.L⁻¹). El promedio general de solubilización de fosfatos fue de 4,88 mg.L⁻¹ con un coeficiente de variación del 15,01%.

Tabla 24

Análisis de varianza para la solubilización de fosfatos (mg.L⁻¹) de Bacillus endófitos

FV	SC	gl	CM	Fc	p>Fc	Significancia
<i>Bacillus</i> endófitos	104,67	3	34,89	65,11	<0,0001	**
Error	4,29	8	0,54			
Total	108,96	11				
CV%	15,01					

ns: no significativo, * significativo.

La prueba de comparación de medias de tukey al 5% reporta que existe diferencias significativas en la capacidad para solubilizar fosfatos entre las cepas de *Bacillus* endófitos (Tabla 25). *Cytobacillus solani* Np2.1 y *Bacillus sp.* Np9.1 son las cepas que reportan las mayores concentraciones de fósforo soluble con valores 8,03 y 7,12 mg.L⁻¹ respectivamente, valores superiores significativamente a las demás cepas en estudio. Asimismo, la cepa

Neobacillus niacini Np2.2 demuestra la capacidad más baja para solubilizar fosfatos (0,54 mg.L⁻¹).

Tabla 25

Prueba de tukey al 5% para la solubilización de fosfatos de Bacillus endófitos

Tratamientos	Solubilización de Fosfatos	
	pH	(mg.L ⁻¹)
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	6,46	8,03 a
<i>Bacillus</i> sp. Np9.1	6,30	7,12 a
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	6,29	3,81 b
<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	6,33	0,54 c

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

4.3.2 Producción de auxinas (mg.L⁻¹)

En la Tabla 26 el análisis de varianza evidenció un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) de los *Bacillus* endófitos para la producción de auxinas (AIA) sin triptófano (Tryp). El promedio general de la producción de auxinas (AIA) fue de 4,40 mg.L⁻¹ con un coeficiente de variación del 20,08%.

Tabla 26

Análisis de varianza para la producción de auxinas sin triptófano de Bacillus endófitos

FV	SC	gl	CM	Fc	p>Fc	Significancia
<i>Bacillus</i> endófitos	100,44	4	25,11	32,08	<0,0001	**
Error	11,74	15	0,78			
Total	112,18	19				
CV%	20,08					

ns: no significativo, * significativo.

En la Tabla 27 se observa la prueba de tukey al 5% de probabilidad que evidencia diferencias significativas en la producción de AIA sin triptófano. La cepa control *Burkholderia vietnamiensis* 12LB alcanzó la mayor producción de auxinas (8,22 mg.L⁻¹) en ausencia de triptófano, siendo este valor superior significativamente a las cepas de *Bacillus* endófitos. Sin embargo en las mismas condiciones, se observa que las cepas Np9.1, Np2.2, y Np2.3

reportan valores estadísticamente similares en la producción de auxinas con 5.02, 3.76 y 3.66 mg.L⁻¹ respectivamente.

Tabla 27

Prueba de tukey al 5% para la producción de auxinas de Bacillus endófitos

Tratamientos	Producción de auxinas (mg.L ⁻¹)
<i>Burkholderia vietnamiensis</i> 12LB*	8,22 a
<i>Bacillus sp.</i> Np9.1	5,02 b
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	3,76 b
<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	3,66 b
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	1,37 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). *:Cepa control.

De acuerdo con la Tabla 28, el análisis de varianza evidenció también diferencias altamente significativas (<0.01) de los *Bacillus* endófitos para la producción de AIA en presencia de triptófano. El promedio general de la producción de auxinas (AIA) fue de 8,74 mg.L⁻¹.

Tabla 28

Análisis de varianza para la producción de auxinas de Bacillus endófitos en presencia de triptófano

FV	SC	gl	CM	Fc	p>Fc	Significancia
<i>Bacillus</i> endófitos	1290,33	4	322,58	357,05	<0,0001	**
Error	13,55	15	0,9			
Total	1303,88	19				
CV%	10,88					

ns: no significativo, * significativo.

La prueba de comparación de medias reporta evidencias de diferencias significativas ($p < 0.05$) para la producción de auxinas con adición de triptófano (Tabla 29). Destacando nuevamente con diferencias significativas la cepa control de *Burkholderia vietnamiensis* 12LB con un valor que con la presencia de triptófano la producción de auxinas se triplicó en 24,58 mg.L⁻¹ superior estadísticamente a las cepas de *Bacillus* endófitos. En contraste,

Bacillus sp. Np9.1 (6,89 mg.L⁻¹) y *Cytobacillus solani* Np2.1 (5,51 mg.L⁻¹) también reportaron un ligero incremento en la producción de AIA en presencia de triptófano siendo superiores significativamente a las demás cepas evaluadas.

Tabla 29

Prueba de tukey al 5% para la producción de auxinas con triptófano de Bacillus endófitos

Tratamientos	Producción de auxinas + Tryp (mg.L ⁻¹)
<i>Burkholderia vietnamiensis</i> 12LB*	24,58 a
<i>Bacillus sp.</i> Np9.1	6,89 b
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	5,51 b
<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	3,37 c
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	3,34 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). *:Cepa control.

4.3.3 Producción de sideróforos

En la Tabla 30 no se reportaron diferencias significativas según el análisis de varianza ($p > 0.05$) de los *Bacillus* endófitos para la capacidad de producción de sideróforos. El promedio general de la producción de sideróforos fue de 20,84 unidades.

Tabla 30

Análisis de varianza para la producción de sideróforos de Bacillus endófitos

FV	SC	gl	CM	F	p>Fc	Significancia
<i>Bacillus</i> endófitos	30,57	2	15,29	0,78	0,4868	ns
Error	176,21	9	19,58			
Total	206,78	11				
CV%	21,23					

ns: no significativo, * significativo.

Según la prueba de tukey al 5% se observa que no existe diferencias significativas para la producción de sideróforos, las cepas *Neobacillus niacini* Np2.2, *Cytobacillus solani* Np2.1 y *Cytobacillus solani* Np2.3 reportan resultados similares, lo que refleja un potencial similar

para movilizar el hierro, en tanto que para *Bacillus sp.* Np9.1 no fue posible determinar la capacidad de producción de sideróforos.

Tabla 31

Prueba de tukey al 5% para la producción de sideróforos de Bacillus endófitos

Tratamientos	Sideróforos (und.)
<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	22,63 a
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	21,15 a
<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	18,76 a
<i>Bacillus sp.</i> Np9.1	ND

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

4.3.4 Fijación de Nitrógeno

En la figura 5 se observa los resultados obtenidos del crecimiento de los *Bacillus* endófitos y una cepa control (*Burkholderia vietnamiensis* 12LB) en medio Burk semisólido con dos rangos de pH (5.0-5.4 y 6.8), con la finalidad de determinar la capacidad de fijación de N₂ atmosférico.

En el medio Burk semisólido ácido (5.0-5.4) se observa la formación del anillo de crecimiento en la interfase superior del medio para las cepas *Neobacillus niacini* Np2.2, *Cytobacillus solani* Np2.3 y en la cepa control (*Burkholderia vietnamiensis* 12LB) con un anillo más marcado. Asimismo, en el medio de pH neutro (6.8) se observa patrones más resaltantes de crecimiento en anillo para las mismas cepas, este suceso deja en evidencia que dichas bacterias tienen la capacidad de desarrollarse en condiciones microaerófilas, utilizando el N₂ atmosférico como fuente de nitrógeno. En contraste, *Cytobacillus solani* Np2.1 y *Cytobacillus solani* Np 2.3 no se observa evidencia clara de fijación de N₂, ya que no se presentó el anillo característico en la zona superior del medio Burk semisólido.

Según la figura 6 al evaluar las cepas de *Bacillus* endófitos y la cepa control (*Burkholderia vietnamiensis* 12LB) en medio MJV se presentaron resultados similares que los obtenidos en el medio Burk semisólido. *Neobacillus niacini* Np2.2, *Cytobacillus solani* Np2.3 y *Burkholderia vietnamiensis* 12LB presentan crecimiento evidente lo que respalda que estas cepas se pueden desarrollar en ausencia de fuentes de nitrógeno, utilizando el N₂ atmosférico como su principal fuente.

Figura 5

Anillo de crecimiento de colonias de *Bacillus endófitos* y cepa control en medio Burk semisólido para determinación de fijación de N_2 atmosférico.

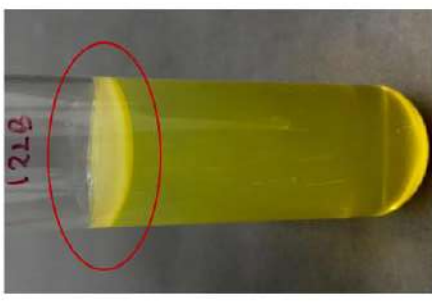
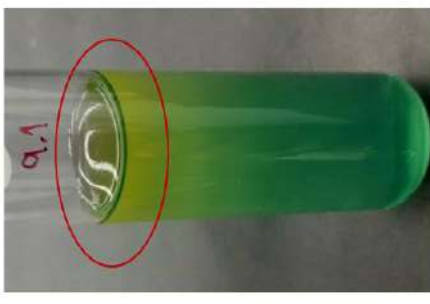
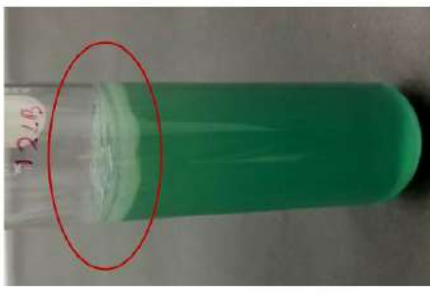
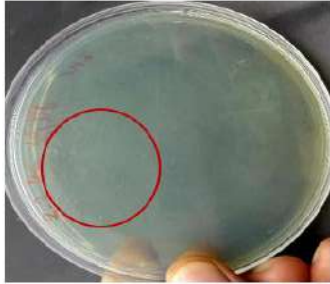
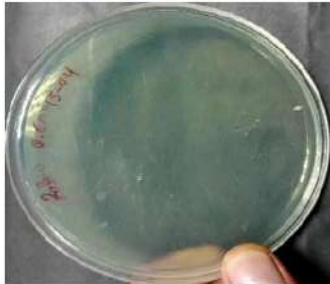
Medio de Cultivo	Bacillus endófitos				Cepa control	
	Cytobacillus solani Np2.1	Neobacillus niacini Np2.2	Cytobacillus solani Np2.3	Bacillus sp. Np9.1	Burkholderia vietnamiensis 12LB	
Burk Semisólido (pH: 5 a 5.4)						
Burk Semisólido (pH: 6.8)						

Figura 6

Crecimiento de colonias de *Bacillus* endófitos y cepa control en medio MJV para determinación de fijación de N₂ atmosférico.

Medio de Cultivo	<i>Bacillus</i> endófitos				Cepa control	
	<i>Cytobacillus solani</i> Np2.1	<i>Neobacillus niacini</i> Np2.2	<i>Cytobacillus solani</i> Np2.3	<i>Bacillus</i> sp. Np9.1	<i>Burkholderia vietnamiensis</i> 12LB	
Jenson y Volesky (MJV)						

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1 Mecanismos de Promoción de Crecimiento Vegetal

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que las cepas evaluadas de *Bacillus* endófitos evidencian características de promoción de crecimiento, lo que sustenta su uso como bioinoculantes en el cultivo de papa; para la producción de auxinas se demostró que la cepa patrón *Burkholderia vietnamiensis* 12LB presentó un elevado potencial auxínico mejorando considerablemente en presencia de triptófano, similar comportamiento que tuvieron *Bacillus* sp. Np9.1 y *Cytobacillus solani* Np2.1 que además combinaron una alta capacidad de solubilización de fosfatos; mientras que *Neobacillus niacini* Np2.2 se distinguió por su destacada capacidad productora de sideróforos y fijación biológica de nitrógeno característica que *Bacillus* sp. Np9.1 también reflejó en las pruebas con medios MJV y Burk. Estos resultados son coherentes con los estudios previos de Moreno y Moreno (2020), Rocha et al. (2019) y Calvo (2008) que han reportado patrones similares; cepas con mayor producción de AIA, mejor solubilizadores de P y con diferencias en la producción de sideróforos. Cabe mencionar que en sus estudios y en esta investigación la capacidad de producir estas fitohormonas influye directamente sobre parámetros agronómicos y productivos (crecimiento radicular, altura de planta, área de hojas, aspecto de tubérculos y rendimiento).

Asimismo, cabe recalcar que la traducción del potencial bioquímico de los inoculantes a efecto agronómico depende directamente de la capacidad de las cepas de colonización endofítica, la compatibilidad con el microbioma nativo y las condiciones edáficas (Kantar y Uysal, 2020). En esta lógica la estrategia de usar consorcios bacterianos (combinaciones capaces de aportar auxinas, solubilización de P, fijación de nitrógeno y sideróforos) es coherente (Jabnoun-Khiareddine et al., 2023; Mauricio, 2022). En ese contexto, en el presente estudio también se comprobó que un consorcio completo de las cuatro especies Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1 (T15) mostró tendencias numéricas positivas en altura de planta (+32%), lo que respalda la hipótesis de una sinergia funcional, aunque la interacción de cepa a cepa también puede generar antagonismos que reduzcan colonización y expresión de las especies (Bashan et al., 2014).

5.2 Características morfológicas

En los parámetros morfológicos medidos (número de hojas, número de tallos, número de brotes, altura de planta y área foliar) los análisis estadísticos post hoc evidenciaron que existe ausencia de diferencias significativas según la prueba de comparación de medias de Tukey; sin embargo, las diferencias numéricas que se observaron son agrónomicamente relevantes y consistentes con los mecanismos que se detectaron in vitro, por ejemplo, *Neobacillus niacini* Np2.2 indujo hasta cinco hojas adicionales, ~21% más de área foliar, un tallos más por planta e incluso tendencia en aumentar el número de brotes respecto al control absoluto. Resulta fundamental considerar que estas magnitudes pueden traducirse en mayor superficie fotosintética y vigor, lo que a medio plazo favorece en una característica potencial de acumulación de reservas para tuberización (Timlin et al., 2006). Asimismo, destacando diferencias numéricas respecto al tratamiento sin inoculación, los consorcios con dos cepas evidenciaron resultados positivos en número de brotes, número de hojas y altura de planta; en este último el consorcio de cuatro cepas T15 (Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1) demostró una tendencia de aumentar hasta un ~32% de altura de planta. Estos resultados se encuentran en concordancia con los estudios de Maslennikova et al. (2023) que concluyó que la mezcla de *Bacillus* mejoró los parámetros de crecimiento (longitud de la parte aérea, número de tallos) y Mauricio (2022) evaluando el consorcio de rizobacterias determinó mejoras significativas en altura de planta, número de brotes y número de hojas por planta.

Las mejoras morfológicas de *Neobacillus niacini* Np2.2 se pueden relacionar con su alta capacidad de producción de sideróforos (22.6 u.) y posible actividad fijadora de N (ensayo MJV/BURK +) que suministra N asimilable para la planta, sumando a la formación de hojas y brotes (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Cabe mencionar que la producción de sideróforos refuerza la hipótesis de su capacidad para mejorar la adquisición de hierro en condiciones de deficiencia, esta característica también ofrece ventajas competitivas frente a microorganismos fitopatógenos. Según Neilands (1995), estos compuestos no solo facilitan la nutrición férrica de la planta, sino que también inducen un efecto indirecto de biocontrol, al limitar la disponibilidad de hierro para patógenos en la rizosfera. Este hallazgo concuerda con el trabajo de Jabnoun-Khiareddine et al. (2023), quienes demostraron que cepas de *Bacillus* endófitos productoras de sideróforos redujeron la incidencia de enfermedades radiculares y promovieron el crecimiento en solanáceas. Por otro lado, el consorcio de cepas con tendencia de aumentos numéricos en las variables morfológicas; combina cepas

solubilizadores de P (Np2.1, Np9.1), con productoras de sideróforos (Np2.1, Np2.2, Np2.3), con productoras de auxinas (Np9.1, Np2.1) y fijadoras de N₂ (Np2.2, Np9.1) lo que sugiere un efecto acumulativo de mecanismos de promoción.

5.3 Características productivas

En los parámetros productivos los tratamientos con inoculación demostraron mejoras marcadas en términos numéricos en las cuatro variables evaluadas. Para el número de tubérculos por planta la cepa *Cytobacillus solani* Np2.1 (T1) indujo hasta 2 tubérculos más por planta que el control sin inoculación, para el peso de tubérculos por planta se tuvieron incrementos desde un 12% hasta un 50% de todos los tratamientos destacando nuevamente *Cytobacillus solani* Np.2.1 con el mayor efecto, de similar forma todos los tratamientos con inoculación indujeron mayor diámetro de tubérculo y respecto al aspecto de los tubérculos el 86% de los tratamientos con inoculación presentaron las mejores características. Estos incrementos aunque no son estadísticamente significativos, son relevantes desde una perspectiva productiva, ya que aumentos entre un 10-20% en rendimiento suelen determinar rentabilidad en cultivos comerciales y son del mismo orden que los reportados en los estudios de Rocha et al. (2019) que evaluó bacterias endófitas y encontró que las bacterias con características de promoción de crecimiento presentaron mayor número y peso de tubérculos, Maslennikova et al. (2023) en su investigación sobre mezcla de *Bacillus* también reportó un incremento del rendimiento del cultivo de papa, con una fracción del 16% de tubérculos más grandes respecto a los tratamientos sin inoculación, de igual forma, Arcos y Zúñiga (2016) evaluando ocho cepas de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento vegetal (PGPR) nativas confirmó que tienen un efecto significativo en el rendimiento de tubérculos en peso y número.

En ese contexto, es clave mencionar como los mecanismos de promoción de crecimiento vegetal desempeñan un papel importante en el aumento de características productivas. La solubilización de fósforo aumenta la eficiencia energética y mejora la formación de raíces lo que impacta en un mayor número de tubérculos formados (Richardson et al., 2009). La fijación de nitrógeno favorece la síntesis de proteínas y clorofila, lo que permite un crecimiento con mejor biomasa, base para una mejor fotosíntesis y mayor acumulación de reservas para tuberización (Bhattacharyya & Jha, 2012). Seguidamente de una producción de sideróforos que optimizan la captación de hierro, micronutriente involucrado en una mayor actividad fotosintética y respiración (Neilands, 1995). Sumado a ello la producción

de auxinas favorece el crecimiento radicular, favoreciendo una mejor absorción de agua y nutrientes, que se traduce en un mayor tamaño de tubérculos (Spaepen y Vanderleyden, 2011). En complemento, la expresión de estos mecanismos de promoción de crecimiento refleja un mayor número, diámetro y peso de tubérculos, lo que finalmente determinará el rendimiento.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los *Bacillus* endófitos que se evaluaron demostraron mecanismos de promoción de crecimiento como solubilización de fosfatos, producción de sideróforos, síntesis de auxinas y fijación de nitrógeno.
- *Neobacillus niacini* Np2.2 presentó ligero efecto en la promoción de crecimiento en la papa que se relaciona con su alta capacidad de producción de sideróforos y capacidad fijadora de N.
- El consorcio de las cuatro especies Np2.1 + Np2.2 + Np2.3 + Np9.1 (T15) evidenció tendencia positiva sobre la altura de planta, dejando como respaldo que es viable el uso de consorcios microbianos y la existencia de interacciones complementarias entre cepas.
- A pesar de no observar diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) sobre los parámetros productivos, se evidenciaron aumentos en términos numéricos positivos en los tratamientos evaluados, reflejados en un mayor área foliar, longitud y vigor de plantas, lo que señala un efecto asociado a una mejor eficiencia en absorción y asimilación de nutrientes.
- En las variables productivas, todos los tratamientos incluido los consorcios demostraron incrementos relativos en número y peso de tubérculos respecto al control sin inoculación, lo que aun sin efecto significativo, podría traducirse en mejoras de productividad y rentabilidad en condiciones de campo.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda validar los resultados en condiciones de campo y bajo diferentes ambientes edafoclimáticos, con la finalidad de confirmar una efectividad significativa de las cepas de *Bacillus* endófitos en la promoción de crecimiento y productividad del cultivo de papa.
- Realizar validaciones que comprueben la colonización y mediciones bioquímicas en planta, que determinen la consistencia agronómica.
- Realizar el experimento a una escala mayor con más repeticiones en condiciones de campo.
- Identificar y clasificar los mejores consorcios de *Bacillus* endófitos.

- Ampliar el estudio en los mecanismos de promoción de crecimiento de los *Bacillus* endófitos de esta investigación.
- Realizar estudios con el análisis de rentabilidad y el impacto en términos económicos del efecto de los *Bacillus* endófitos en el cultivo de papa Bicentenaria.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Alvarado-Capó, Y., Leiva-Mora, M., Cruz-Martín, M., Mena, E., Acosta-Suárez, M., Roque, B., y Padrón, L. (2015). Efecto de *Bacillus* spp. sobre el crecimiento y rendimiento agrícola de plantas *in vitro* de papa cv. 'Romano' en casa de cultivo. *Biotecnología Vegetal*, 15(2). Recuperado de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/18/889>
- Álvarez, M., Tucta, F., Quispe, E. y Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33-42. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>
- Arcos, J. y Zúñiga, D. (2016). Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 20(1): 18-3. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5511986>
- Baldani, J. I., Reis, V. M., Videira, S. S., Boddey, L. H., & Baldani, V. L. D. (2014). The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and soil*, 384(1), 413-431.
- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant and Soil*, 378, 1-33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Bécquer, C. J., Puentes, A. B., Cabrera, A., Hernández, M. y Sánchez, A. (2021). Efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en variables agroproductivas de *Morus alba*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), 1-15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802021000200009&lng=es&tlng=es.
- Benjumeda, D. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones* [Trabajo de pregrado, Universidad de Sevilla]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11441/65140>

- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Bonierbale, M. W., Haan, S. D., Forbes, A. & Bastos, C. (2010). *Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa: Guía para cooperadores internacionales*. Centro Internacional de la Papa. Lima
- Calvo P. (2008). *Capacidad PGPR de bacterias del género Bacillus aislados de la rizósfera del cultivo de papa (Solanum tuberosum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1142>
- Camacho, M. y La Torre, M. I. (2015). Efecto promotor de bacterias PGPR sobre cultivo de papa bajo diferentes sustratos a nivel de invernadero. *The biologist*, 13(1), 75-89. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9397824>
- Camelo, M., Vera, S. P., y Bonilla, R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 12(2), 159-166. Recuperado de <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/227/233>
- Christo, B., Luis, D., de Oliveira, A., Victor, T., de Souza, V., das Graças, A., y Tonole, I. (2021). Respuestas ecofisiológicas del cultivo de café bajo diferentes condiciones de sombreado. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3373>
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research*, 19, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>
- Contreras – Liza, S. E. (2020). “Bicentenario” nueva variedad de papa para procesamiento en la región Lima. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/343021163_BICENTENARIO_NUEVA_VARIEDAD_DE_PAPA_EN_REGION_LIMA

- Contreras, S. D., Custodio, J. C. y Zúñiga D. E. (2019). Efecto de Inoculantes Bacterianos Sobre el Comportamiento Agronómico de tres Variedades de Papa En Cañete. *TAYACAJA*, 2(1). doi: <https://doi.org/10.46908/rict.v2i1.42>
- Contreras-Liza, S. E., Noriega, H., Valenzuela, A., Arias, L., Zúñiga, D., & García-Bendezú, S. (2019). Uso de inoculantes como estrategia de manejo agronómico sustentable en fincas de papa (*Solanum tuberosum*) de la región Lima. *Idesia (Arica)*, 37(3), 29-37. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000300029>
- Contreras-Liza, S., Jhoncon, J., Vargas, L., Cervantes, D., Luis, D. y Quevedo, M. (2023). Bicentenario, un nuevo cultivar de papa para procesamiento en el Perú: perspectivas desde la mejora genética. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 25(1), 5-13. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.434>
- Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(3), 207-209. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-argentina-microbiologia-372-articulo-inoculantes-microbianos-piezas-un-rompecabezas-S0325754117301141>
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya, L. X., Sandoval, G., De los Santos, S., Rojas, E., Chávez, I. F. y Ruíz, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 12(5), 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Custodio, J. C. (2016). *Efecto de inoculantes bacterianos sobre el comportamiento agronómico de tres genotipos de solanum tuberosum l. "papa" en el distrito de Quilmana – Cañete* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/1715>
- de Haan, S., Núñez, J., Bonierbale, M., & Ghislain, M. (2010). Multilevel agrobiodiversity and conservation of Andean potatoes in central Peru species, morphological, genetic, and spatial diversity. *Mountain Research and Development*, 30, 222–23. <https://bioone.org/journals/mountain-research-and-development/volume-30/issue-3/MRD-JOURNAL-D-10-00020.1/Multilevel-Agrobiodiversity-and-Conservation-of-Andean-Potatoes-in-Central-Peru/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00020.1.full>

- Devaux A., Goffart J. P., Kromann, P., Andrade-Piedra J., Polar, V. y Hareau, G. (2021) La papa del futuro: oportunidades y desafíos en sistemas agroalimentarios sostenibles. *Potato Research*, 64, 681-720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
- Easlon, H. M., y Bloom, A. J. (2014). Easy leaf Area: automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in Plant Sciences*, 2(7), 1400033. <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>
- Gautam, K., Sirohi, C., Raju, N., Thakur, Y., Singh, S., Rana, K., Chitara, M., Prasad, R., Kumar, A. & Parihar, M. (2021). Microbial biofertilizer: Types, applications, and current challenges for sustainable agricultural production. *Biofertilizers: Advances in Bio-Inoculants*, 1, 3-19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.00014-2>
- González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Asesoría parlamentaria. Biblioteca nacional de Chile BCN. Recuperado de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R. J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry*, 39(8), 1968-1977. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015>
- Graves, C. (2006). *La papa: tesoro de los Andes 2da ed.* Lima. Perú: Centro Internacional de la Papa. https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la_papa_tesoro_de_los_andess.pdf
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: Ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79(3), 293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
- Huerta, A. X. (2019). *Análisis del transcriptoma de raíz de Zea mays expuesto a cepas bacterianas benéficas de Bacillus subtilis de origen rizosférico y endófito* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Baja California]. Recuperado de

<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/1765/1/MXL122255.pdf>

Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA (2019). *Sistematización de la experiencia de los subproyectos de papa financiados por el programa nacional de innovación agraria*. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1371>

Jabnoun-Khiareddine, H., Aydi-Ben-Abdallah, R., y Daami-Remadi, M. (2023). Multi-species endophytic *Bacillus* for improved control of potato soilborne and tuber-borne diseases in Tunisia: From laboratory to field conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, 109. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00753-5>

Kantar, F. y Uysal, A. (2020). Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* culture on the growth and yield of off-season potato (*Solanum tuberosum* L.). *Acta Agronómica*, 69(1), 26–31. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.73832>

Lazarev, V., Shakhnazarova, V. & Kuzina, E. (2023). Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* on growth and yield of potato under field conditions. *Journal of Fungi*, 9(12), 1142. <https://doi.org/10.3390/jof9121142>

Liu, B., Liu, G., Sengonca, C., Schumann, P., Ge, C., Wang, J., Cui, W., y Lin, N. (2015). *Bacillus solani* sp. nov., isolated from rhizosphere soil of a potato field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65, 4066–4071. Doi: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000539>

Lugtenberg, B. & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

Madawala, H. M. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi as biofertilizers: Current trends, challenges, and future prospects. *Biofertilizers: Advances in Bio-Inoculants*, 1, 83–93. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.00029-4>

Maslennikova, V. S., Tsvetkova, V. P., Shelikhova, E. V., Selyuk, M. P., Alikina, T. Y., Kabilov, M. R. & Dubovskiy, M. I. (2023). La combinación de *Bacillus subtilis* y

Bacillus amyloliquefaciens suprime la enfermedad de Rhizoctonia y mejora el microbioma rizosfera, el crecimiento y el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Fungi*, 9 (12), 1142. <https://doi.org/10.3390/jof9121142>

Mauricio, R. J. (2022). *Consorcio de rizobacterias para promover el crecimiento de la papa en condiciones controladas (invernadero)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión]. Recuperado de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7593/TESIS%20FINAL%20MAURICIO%20RAMIREZ%20RODRIGO%20JESUS%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Meena, R. S. y Kumar, S. (2022). Legume-based agroecosystem for sustainable intensification: An overview. *Advances in Legumes for Sustainable Intensification*, 19, 29-37. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85797-0.00034-3>

Ministerio de Agricultura y Riego - MIDAGRI, (2019). *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa. Ficha técnica N° 01*. Recuperado de <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/228>

Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI (2019). *Cultivo de Papa (Solanum tuberosum)*. AgroRural. Recuperado de <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/314>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI (2025). *Más de 700 mil agricultores de 19 regiones sustentan la producción de papa en el país* [Nota de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/1178150-midagri-mas-de-700-mil-agricultores-de-19-regiones-sustentan-la-produccion-de-papa-en-el-pais>

Moreno, D. A. y Moreno, M. F. (2020). *Evaluación del potencial de bacterias promotoras de crecimiento vegetal PGPR, aplicadas a cultivos de papa en condiciones de invernadero* [Tesis de pregrado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca]. Recuperado de https://redcol.minciencias.gov.co/Record/UCOLMAYOR2_8929be6218e15445ae1bcbc2d93500f8

- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 27, 31-36.
[https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Nagel, M. & Andrews, J. R. (1991). *Bacillus niacini* sp. nov. a Nicotinate-Metabolizing Mesophile Isolated from Soil. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 45(1), 134-139. Recuperado de <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/00207713-41-1-134>
- Neilands, J. B. (1995). Siderophores: Structure and function of microbial iron transport compounds. *Journal of Biological Chemistry*, 270(45), 26723–26726.
<https://doi.org/10.1074/jbc.270.45.26723>
- Nookaraju, A. K., Woong-Yu, J. y Won Park, S. (2011). Rhizobacteria Influence Potato Tuberation Through Enhancing Lipoxigenase Activity. *American Journal of Potato Research*, 88, 441-449. Recuperado de <https://rootbiome.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/38/2015/06/2017-Nookaraja-and-Kappachery-rhizobacteria-induce-tuberization-via-LOX-Am-J-Pot-Res.pdf>
- Ogata, K., Alvarado, D., Chumpitaz, C. & Zúñiga, D. (2016). Characterization of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from the rhizosphere of Peruvian highlands native crops. *International Journal of Plant & Soil Science*, 11(1), 1-8. DOI: [10.9734/IJPSS/2016/24573](https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/24573)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO (2025). *Cinco motivos que hacen de la papa un alimento fundamental*. FAO.
https://www.fao.org/americas/news/news-detail/papa-alimento-fundamental/?utm_source
- Pérez-García, A., Romero, D. & de Vicente, A. (2011). Plant protection and growth stimulation by microorganisms: Biotechnological applications of *Bacillus* in agriculture. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(2), 187-193.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.003>

- Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M. & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, 321(1–2), 305–339. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2>
- Rocha, N., Claros, M., Calisaya, J. J. y Ortuño N. (2019). Selección de bacterias endófitas tipo *Bacillus* como promotoras de crecimiento en el cultivo de papa variedad Huaycha (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). *Latinoamericana De La Papa*, 23(1), 14-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7349829>
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v28n1/v28n1a02.pdf>
- Rojas-Sánchez, B., Santoyo, G., Delgado-Valerio, P. y Rocha-Granados, Ma. del Carmen (2022). *Bacillus* spp. endófitos promueven diferencialmente el crecimiento de tres variedades de zarzamora (*Rubus* subgénero *Eubatus*). *Bioagro*, 34(2): 99-110. doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro342.1>
- Sayyed, R. Z., Badgujar, M. D., Sonawane, H. M., Mhaske, M. M., & Chincholkar, S. B. (2005). Production of microbial iron chelators (siderophores) by fluorescent Pseudomonads. *Revista India de Biotecnología* 4(4), 484-490 https://www.researchgate.net/publication/228513125_Production_of_microbial_iron_chelators_siderophores_by_Fluorescent_pseudomonads
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Singh, S. y Shyu, D. J. H. (2024). Perspective on utilization of *Bacillus* species as plant probiotics for different crops in adverse conditions. *AIMS Microbiol*, 10(1), 220-238. DOI: [10.3934/microbiol.2024011](https://doi.org/10.3934/microbiol.2024011)
- Spaepen, S. & Vanderleyden, J. (2011). Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3(4). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438>

- Timlin, D. y Biscoe, P. (2006). Whole Plant Photosynthesis, Development, and Carbon Partitioning in Potato. *Agronomy Journal*, 98(5), 1195-1203
<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0260>
- Torres, A. L. (2021) Clon UH-24, la papa del Bicentenario. *Ciencia e Innovacion, Noticias*
Recuperado de <https://www.agroperu.pe/clon-uh-24-la-papa-del-bicentenario/>
- Trujillo, G. (2004). *Desarrollo de marcadores SCAR y CAPS en un QTL con efecto importante sobre la resistencia al tizón tardío de la papa* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Marcos]. Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3298>
- Vargas, L. P., Alarcón, D. A., y Espinoza, A. A. (2021). Evaluación del comportamiento agronómico de dos cultivares de papa en dos densidades de siembra en Barranca, Lima. *Peruvian Agricultural Research*, 3(2). <https://doi.org/10.51431/par.v3i2.701>
- Zhang, T., Li, C., Wang, S., Cheng, Z., Li, Z., Xu, T., Zhou, X., Chen, W., y Hong, J. (2024). Promoting sustainable potato production: Insights from an integrated life cycle environmental–economic assessment. *Agricultural Systems*, 219, Article 104029.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104029>

ANEXOS

Anexo 1. Identificación y reactivación de cepas en el Laboratorio de Investigación en Bioprospección y Biotecnología Microbiana



Figura 7. Criopreservación a -80°C de cepas de *Bacillus* endófitos aisladas de *Nicandra physalodes*



Figura 8. Electroforesis horizontal de ADN extraído de Cepas de *Bacillus*



Figura 9. Reactivación de *Bacillus* endófitos en placas con agar TSA, e incubadas por 24 horas a 28°C .



Figura 10. Siembra de las cepas en tubos con 10 mL y 100 ml de caldo TSB e incubado a 170 rpm por 24 horas



Figura 11. A-B) Rotulación y esterilización con rayos UV de envases para la formulación de tratamientos. C) Cosecha de *Neobacillus niacini* Np 2.2

Tratamientos	Cepas	Inoculantes (ml)				Repeticiones	Total Inoculantes (ml)			
T1	2.1	60				10	600			
T2	2.2	60				10	600			
T3	2.3	60				10	600			
T4	9.1	60				10	600			
T5	2.1+2.2	30	30			10	300	300		
T6	2.1+2.3	30	30			10	300	300		
T7	2.1+9.1	30	30			10	300	300		
T8	2.2+2.3	30	30			10	300	300		
T9	2.2+9.1	30	30			10	300	300		
T10	2.3+9.1	30	30			10	300	300		
T11	2.1+2.2+2.3	20	20	20		10	200	200	200	
T12	2.1+2.2+9.1	20	20	20		10	200	200	200	
T13	2.1+2.3+9.1	20	20	20		10	200	200	200	
T14	2.2+2.3+9.1	20	20	20		10	200	200	200	
T15	2.1+2.2+2.3+9.1	15	15	15	15	10	150	150	150	150
T(absoluto)	Sin inoculación	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 12. Determinación de cantidades para la producción de inoculantes de *Bacillus endófitos*



Figura 13. Estandarización de cepas *Bacillus endófitos* y formulación de tratamientos para la inoculación en papa Bicentenario

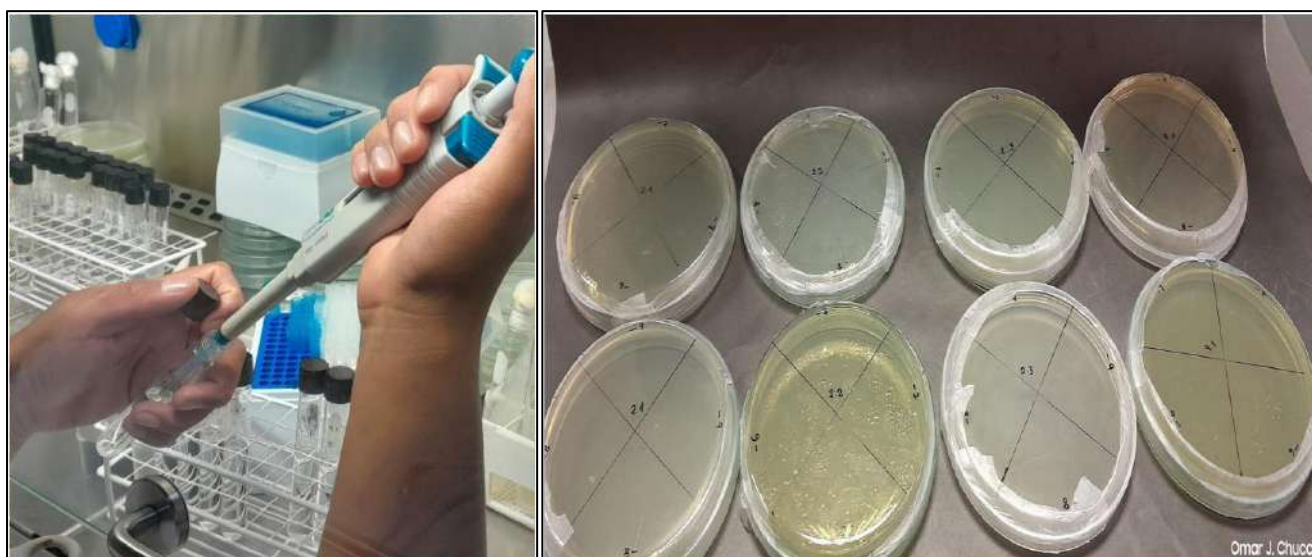


Figura 14. Recuento celular mediante *diluciones decimales sucesivas*, sembradas en placas de Petri conteniendo agar TSA ($1 \times 10^8 \text{ UFC m.L}^{-1}$)

Anexo 2. Procedimiento de inoculación, siembra y evaluaciones en invernadero



Figura 15. Desinfección de tuberculillos con hipoclorito de sodio al 5%



Figura 16. Lavado de macetas (4L) y preparación de sustrato compuesta por 288 L arena lavada (45%), 288 L humus de lombriz (45%) y 64 L pajilla de arroz (10%)



Figura 17. Llenado de macetas con sustrato preparado y rotulación por tratamiento de macetas



Figura 18. *Inoculación por inmersión de tuberculillos en caldo microbiano por cada tratamiento y siembra en macetas*



Figura 19. *Riegos e inicio de brotación del tratamiento con Neobacillus niacini Np2.2*

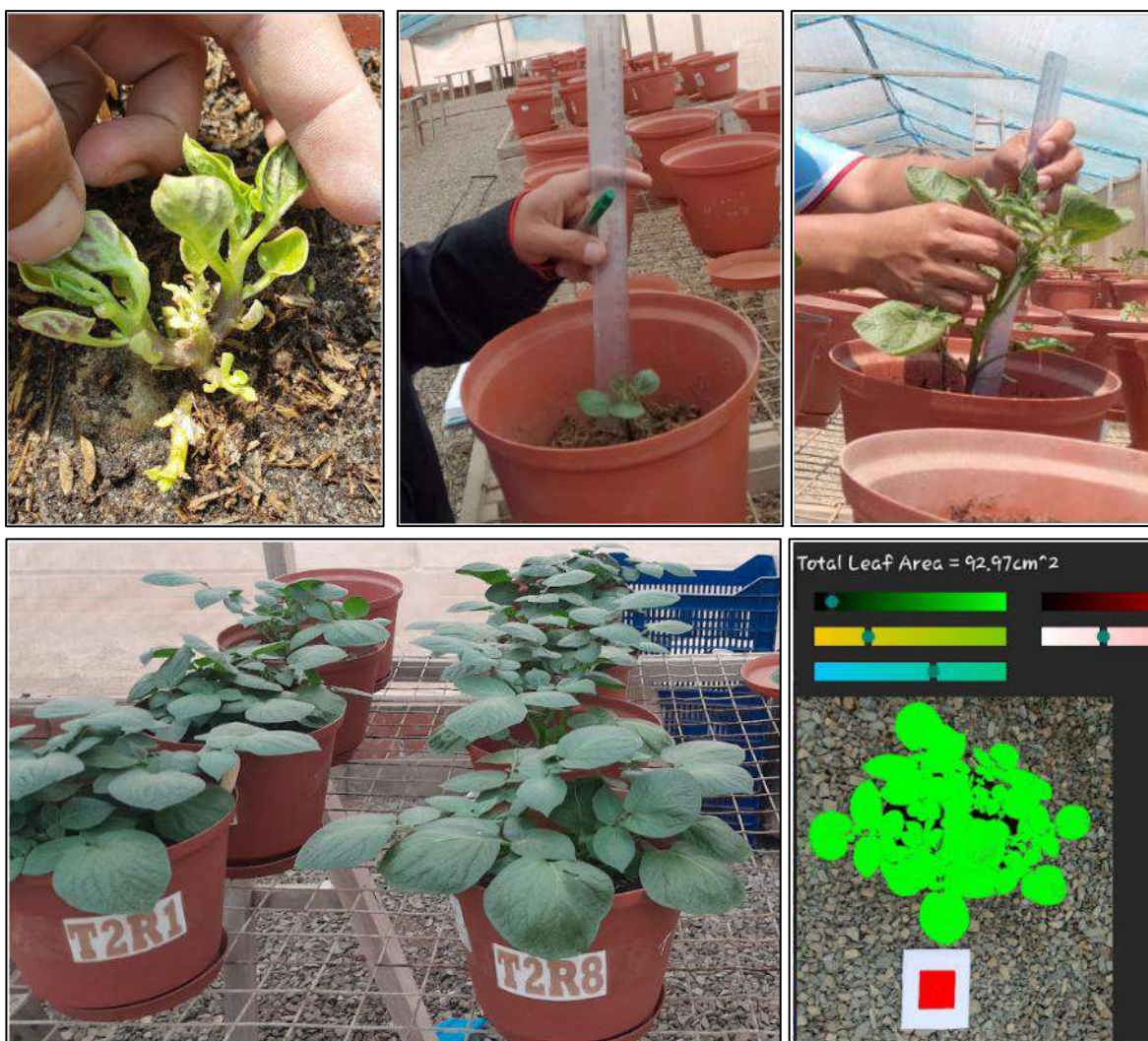


Figura 20. Evaluación de características morfológicas de las plantas de papa Bicentenaria



Figura 21. Cosecha y evaluación de características productivas papa Bicentenaria



Figura 22. *Comparativo de la cosecha de tubérculos producidos por tratamiento*



Figura 23. *Aspecto de tubérculos producidos en condiciones de invernadero*

Anexo 3. Caracterización de los mecanismos de promoción de crecimiento de *Bacillus* endófitos



Figura 24. Evaluación de producción de auxinas mediante la técnica colorimétrica con reactivo de Salkowsky



Figura 25. Evaluación de fijación de nitrógeno inoculando las cepas en medios Burk y MJV

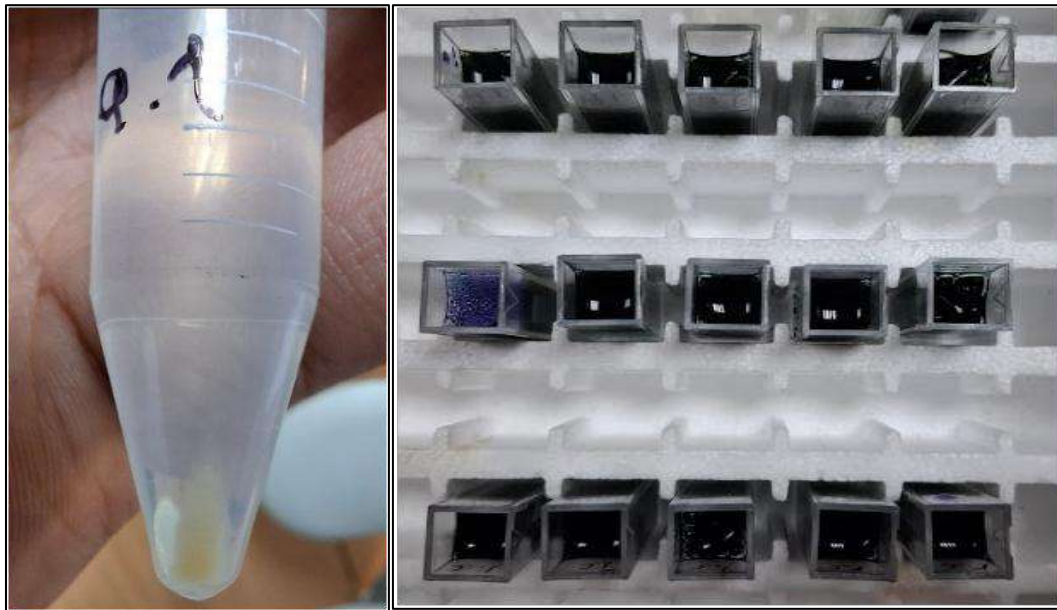


Figura 26. Evaluación de producción de unidades de sideróforos empleando la metodología del CAS-Shuttle Assay

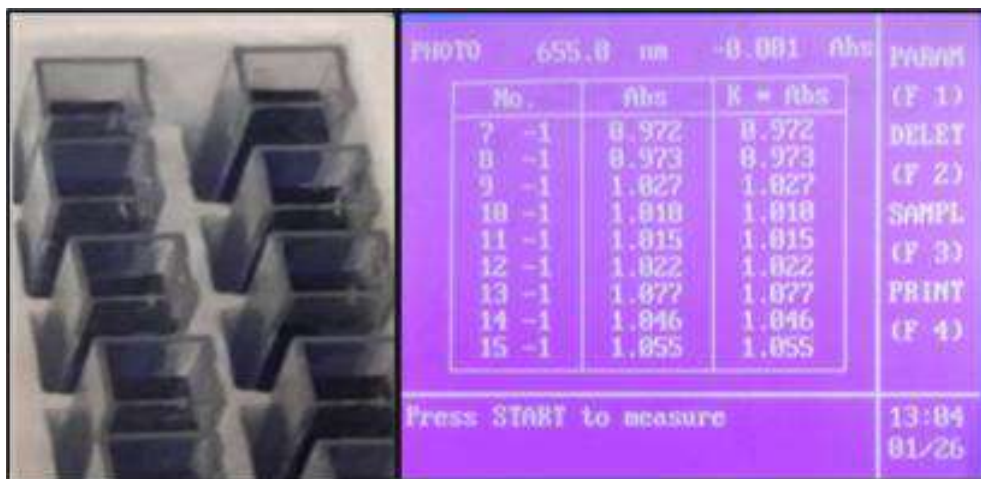


Figura 27. Evaluación de solubilización de fosfatos empleando la Técnica de fosfomolibdato.

Anexo 4. Cartillas y datos de evaluaciones en invernadero

Figura 28. *Modelo de cartilla para evaluación de variables en invernadero*

"Efecto de la inoculación de *Bacillus* endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas"

Fecha:

Etapas de evaluación:

Tratamiento	Rep.	Altura de planta (cm)	Numero brotes	Área foliar (cm ²)	Nº Hojas por planta
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
TOTAL					

Tratamiento	Rep.	Peso tubérculos (g)	Numero Tubérculos	Diámetro tubérculos (mm)	Aspecto
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
TOTAL					

Figura 29. Datos de las evaluaciones realizadas en la casa malla del campo experimental

Efecto de la inoculación de <i>Bacillus</i> endófitos sobre los parámetros agronómicos de papa cv. Bicentenaria bajo condiciones controladas															Tesis Omar y Junior				DCA10R				UNJFSC Huac			
FSiembra: 15/5/2024															15				65				120			
Semana: 2															30				10				16			
Fecha: 30/5/2024 (aprox.)															14/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															4				10				16			
															6				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															6				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			
															29/6/2024				19/7/2024				12/9/2024			
															8				10				16			

No	Tratamientos	Rep.	NBroses15d	NBroses30d	NBroses45d	Aplanta (cm)	Nhojas (5 macetas)	ÁreaFoliar (cm2)	Aplanta (cm)	Nhojas	NTallos por planta	NTallos	Plubers (g)	NTubers	Diám.Tuber (mm)	Aspecto
47	T5	2	1	2	2	18.7	13	85.80	14.60	15	2	2	120	4	47.30	5
48	T5	3	3	3	3	13.9	21	64.82	9.20	23	3	3	163	6	42.00	9
49	T5	4	2	3	3	16.2	19	76.71	11.40	19	3	3	133	4	36.80	7
50	T5	5	0	0	2	14.3		42.91	19.30	15	2	2	109	5	32.40	7
51	T5	6	0	1	2	17.1		55.23	17.20	21	2	2	109	7	33.70	7
52	T5	7	3	5	5	18.1		67.52	14.20	33	5	5	119	7	36.20	7
53	T5	8	1	2	3	18.3	14	61.17	14.60	19	3	3	115	9	32.30	8
54	T5	9	1	1	1	14.4		74.38	9.80	9	1	1	122	3	38.30	8
55	T6	1	0	0	1	14.8		55.10	15.50	10	1	1	138	4	38.50	9
56	T6	2	2	2	3	19.1		68.34	22.20	26	3	3	179	6	45.30	9
57	T6	3	0	2	2	17.7	14	68.03	18.40	20	2	2	141	5	32.80	7
58	T6	4	1	2	2	16.8	16	66.19	13.50	16	2	2	68	1	53.00	3
59	T6	5	0	0	1			16.20	16.20	8	1	1	136	10	33.00	9
60	T6	6	0	1	2	17.2	14	69.30	18.10	16	2	2	105	4	40.70	9
61	T6	7	0	0	3			17.50	17.50	18	3	3	123	12	32.90	9
62	T6	8	0	0	4	11.3		46.19	18.40	21	4	4	118	3	40.30	9
63	T6	9	2	3	3	15.4	19	81.51	12.50	21	3	3	148	5	37.30	9
64	T6	10	0	1	1	17.5	10	62.26	14.40	11	1	1	232	5	40.50	9
65	T7	1	0	2	3	11.5	18	73.89	11.10	22	3	3	133	4	40.00	9
66	T7	2	0	2	3	17.6	15	86.11	14.40	21	3	3	212	5	44.80	7
67	T7	3	1	2	2	15.4	11	80.52	12.30	15	2	2	101	4	35.70	7
68	T7	4	0	1	1	11.2	16	71.33	12.50	9	1	1	169	2	36.00	9
69	T7	5	0	0	1	10.2		31.87	22.60	11	1	1	153	6	40.80	9
70	T7	6	0	1	2	17.9		57.93	15.20	12	2	2	104	3	35.00	9
71	T7	7	0	1	3	16.4	22	88.52	17.50	25	3	3	120	4	40.50	7
72	T7	8	0	2	3	15.5		93.59	12.40	18	3	2	131	4	45.00	5
73	T7	9	0	1	1	16.2		69.46	13.40	9	1	1	98	5	36.00	7
74	T7	10	0	2	2	17.5		81.48	12.80	18	2	2	148	4	37.50	9
75	T8	1	0	2	4	13.4	11	59.60	11.50	15	3	3	62	6	38.00	9
76	T8	2	0	1	2	12.1		45.43	14.50	9	1	1	89	1	62.00	9
77	T8	3	0	2	3	12.2	16	65.56	12.40	19	3	2	138	5	40.80	9
78	T8	4	0	3	3	15.5	23	86.34	11.40	27	3	3	200	4	39.00	9
79	T8	5	0	2	3	10.4		68.26	13.50	18	3	3	135	2	53.00	9
80	T8	6	0	3	3	15.3	16	71.90	12.50	17	2	2	86	3	40.30	9
81	T8	7	1	2	2	14.1		64.51	10.80	14	2	2	141	3	44.00	7
82	T8	8	0	2	2	17.2	16	79.12	17.50	19	2	2	152	4	40.00	9
83	T8	9	0	2	2	15.5		81.13	12.60	16	2	2	65	2	39.00	4
84	T9	1	0	0	2	12.6		56.23	21.20	20	2	2	148	7	36.50	7
85	T9	2	0	2	3	12.5	17	74.40	17.50	21	3	3	137	4	39.80	6
86	T9	3	0	1	1	15.4		56.62	21.50	12	1	1	57	5	28.20	7
87	T9	4	1	1	1	14.6		52.49	15.20	11	1	1	60	1	49.00	9
88	T9	5	0	1	1	22.4		82.49	29.60	13	1	1	140	4	36.30	9
89	T9	6	0	1	3	12.7	18	69.27	15.40	25	3	3	201	7	28.00	77 9
90	T9	7	0	1	2	14.3	12	68.19	16.30	17	2	2	139	3	46.00	77 9
91	T9	8	0	0	2	13.2		62.45	19.60	17	2	2	163	5	28.60	6

No	Tratamientos	Rep.	NBrotos15d	NBrotos30d	NBrotos45d	Apilanta (cm)	Nhojas (5 macetas)	ÁreaFoliar (cm2)	Apilanta (cm)	NHojas	NTallos por planta	NTallos	Pubers (g)	NTubers	Diám.Tuber (mm)	Aspecto
92	T9	9	0	1	3	12.2	19	71.49	14.60	24	3	3	114	6	45.00	9
93	T9	10	0	2	2	18.3	14	90.47	14.30	16	2	2	133	2	45.00	9
94	T10	1	1	2	2	16.5	10	72.48	16.50	14	2	2	82	3	33.00	4
95	T10	2	0	1	1	18.2	10	56.92	19.40	12	2	2	161	6	28.30	9
96	T10	3	0	2	2	12.9	16	68.28	13.20	18	2	2	153	2	43.50	9
97	T10	4	0	1	1	17.2	9	61.75	18.50	13	1	1	122	6	28.60	7
98	T10	5	0	1	1	14.2		50.88	18.20	11	1	1	150	1	62.00	9
99	T10	6	1	1	1	18.5		53.74	15.30	11	1	1	33	3	28.00	7
100	T10	7	1	1	1	19.5		68.12	16.20	11	1	1	101	3	38.30	7
101	T10	8	0	1	1	17.2	10	60.34	14.50	11	1	1	128	7	39.70	9
102	T10	9	0	1	1	21.1		66.67	21.40	13	1	1	156	5	38.30	7
103	T11	1	1	2	2	16.7	18	95.75	15.60	21	2	2	204	4	42.80	3
104	T11	2	0	1	2	20.5	14	63.56	21.50	20	2	2	139	5	38.30	7
105	T11	3	1	1	1	17.2		65.59	14.50	12	2	2	141	8	32.00	7
106	T11	4	1	1	2	20.2		67.96	18.60	12	3	1	118	4	40.70	9
107	T11	5	1	1	1	20.5	10	69.67	17.50	12	1	1	87	4	36.30	5
108	T11	6	1	2	2	17.3	14	87.04	16.40	20	2	2	97	6	33.40	1
109	T11	7	0	1	3	10.5		22.74	23.20	22	4	3	87	3	30.30	6
110	T11	8	1	3	3	15.6	20	73.01	11.50	24	3	3	152	10	38.20	8
111	T11	9	0	1	1	10.1		21.69	12.40	9	1	1	59	1	46.00	9
112	T12	1	0	2	2	17.7	14	77.69	20.50	17	2	2	105	4	46.50	9
113	T12	2	0	1	1	19.3	9	61.12	12.20	11	1	1	119	5	38.70	9
114	T12	3	0	2	2	14.2	8	42.91	11.50	17	5	4	175	11	33.80	9
115	T12	4	0	1	2	10.9	9	45.58	12.60	11	3	2	109	5	40.00	7
116	T12	5	0	0	1	12.3		46.41	16.50	11	1	1	138	2	53.00	5
117	T12	6	0	0	1	7.8		8.64	10.50	5	2	1	52	2	37.00	9
118	T12	7	2	3	3	14.2	17	75.24	12.50	23	3	2	133	4	39.50	9
119	T13	1	0	1	1	13.2		55.27	17.50	11	2	1	134	4	42.70	9
120	T13	2	1	2	2	12.3		40.95	9.80	12	2	1	34	1	41.00	9
121	T13	3	0	0	2	18.1	11	54.21	24.50	20	2	2	224	2	50.00	5
122	T13	4	0	3	3	18.5	20	74.87	16.40	26	3	3	163	3	50.00	6
123	T13	5	0	1	2	17.8	15	71.78	15.20	19	2	2	170	5	38.80	9
124	T13	6	1	2	4	15.4	15	70.50	14.50	22	5	4	117	6	32.40	9
125	T13	7	1	1	1	18.2		65.67	17.50	12	1	1	132	4	45.30	9
126	T13	8	0	1	2	17.2		54.34	20.40	12	1	1	164	1	55.00	9
127	T13	9	3	6	6	13.7	22	85.64	13.80	28	6	6	165	9	40.70	9
128	T14	1	0	3	3	18.1	19	82.49	17.50	24	3	3	190	7	35.20	7
129	T14	2	0	1	1	17.2		65.08	22.40	13	1	1	201	6	38.50	9
130	T14	3	0	0	3	12.3		21.53	21.50	24	3	3	180	7	38.60	9
131	T14	4	0	1	2	16.3		64.90	20.40	16	2	2	188	4	39.00	5
132	T14	5	2	4	5	18.8		80.98	16.40	36	5	5	109	10	33.20	5
133	T14	6	1	1	1	16.3	9	62.98	14.40	9	1	1	122	5	30.20	9
134	T14	7	0	1	1	20.5	10	78.19	17.20	13	1	1	129	3	38.70	78
135	T14	8	0	0	2	14.4		42.03	25.40	18	2	2	102	3	40.00	9
136	T14	9	1	4	4	14.2	12	55.20	12.50	17	4	4	149	4	41.00	9

Nº	Tratamientos	Rep.	NBrote15d	NBrote30d	NBrote45d	Aplanta (cm)	Nhojas (5 macetas)	ÁreaFoliar (cm2)	Aplanta (cm)	NHojas	NTallos por planta	NTallos	PTubers (g)	NTubers	Diám.Tuber (mm)	Aspecto
137	T14	10	0	0	3	14.5	18	62.91	16.40	24	3	3	196	4	43.80	9
138	T15	1	2	2	2	15.5	15	62.30	13.50	18	3	2	168	4	43.00	9
139	T15	2	0	2	2	17.8	16	63.70	17.60	19	2	2	120	4	38.00	2
140	T15	3	1	4	4	13.4	19	71.59	11.50	24	4	4	94	4	36.50	7
141	T15	4	0	2	2	17.3	15	67.05	15.50	19	2	2	129	3	41.30	9
142	T15	5	0	1	1	19.4		65.92	22.40	11	2	1	148	6	38.80	7
143	T15	6	0	1	1	24.5		65.58	24.80	12	1	1	171	4	42.70	5
144	T15	7	2	2	3	28.2		85.92	28.50	23	3	2	129	3	40.30	5
145	T15	8	0	1	1	17.5		60.09	27.30	14	1	1	180	4	41.80	8
146	T15	9	2	3	3	12.7	14	59.51	10.20	19	3	3	206	5	43.30	9
147	T15	10	0	0	3				19.50	17	4	3	130	8	31.50	9