

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE AGROPECUARIA



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE AJÍ (*Capsicum* sp.), EN LA GRANJA
EXPERIMENTAL LA PRADERA

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero
Agropecuario

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

AUTOR:

Marco Alexander Rueda Loyo

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

Ibarra, Febero-2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE AJI (*Capsicum sp.*), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Jefferson Vladimir Andrade Villarreal, MSc.

ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100330992-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Rueda Loyo Marco Alexander		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Corredor Periférico Sur y Calle Las Magnolias		
EMAIL:	maruedal@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	xxx	TELÉFONO MÓVIL:	0963267525

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE AJI (<i>Capsicum sp.</i>), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA
AUTOR:	Rueda Loyo Marco Alexander
FECHA DE APROBACIÓN:	23/02/2026
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero de 2026

EL AUTOR:

.....

Nombre: Marco Alexander Rueda Loyo

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Marco Alexander Rueda Loyo, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero de 2026.

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Nombres y Apellidos: Marco Alexander Rueda Loyo. “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE AJI (*Capsicum sp.*), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA”

Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 23 días del mes de febrero del 2026, 102 páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Gómez Cabezas, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el comportamiento agronómico de ají (*Capsicum sp.*), en la Granja Experimental La Pradera

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Comparar el rendimiento y calidad de los frutos bajo los tratamientos en estudio.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

.....
Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

Director de Trabajo de Grado

.....
Marco Alexander Rueda Loyo

Autor

AGRADECIMIENTO

Agradecer es un acto de humildad y nobleza, que reconoce el valor de quienes acompañan y hacen posible la consecución de los logros alcanzados.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, en especial a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, por brindarme la formación académica y científica necesaria para el desarrollo de mis competencias profesionales y la realización del presente trabajo de titulación. Asimismo, extendiendo mi gratitud a todos los docentes de la carrera, quienes, a través de su vocación, conocimientos y acompañamiento, contribuyeron de manera significativa a mi formación universitaria.

De manera especial, agradezco al Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc., director de este trabajo de investigación, por su valiosa orientación, acompañamiento permanente, rigor académico y aportes técnicos. De igual forma, expreso un agradecimiento particular a la Dra. Magali Cañarejo, por su calidad humana y académica, por saber orientarme y apoyarme en momentos difíciles de mi vida, brindándome guía y motivación para continuar y alcanzar este objetivo profesional.

Extendiendo mi sincero agradecimiento a las autoridades, docentes y personal técnico de la Granja Experimental La Pradera, quienes facilitaron el acceso a las instalaciones, recursos y apoyo logístico necesarios para la correcta ejecución del ensayo agronómico.

Finalmente, agradezco de manera especial a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de mi formación académica, así como a mis amigos Esteban y Sandra, cuyo respaldo, amistad y aliento permanente fueron fundamentales para mantenerme firme en el cumplimiento de este objetivo personal y profesional.

DEDICATORIA

Este trabajo representa más que un logro académico; es el reflejo de esfuerzo, valentía y amor compartido.

Primero, me dedico este trabajo a mí, por el esfuerzo constante, por los momentos en los que sentí que no lo lograría y, aun así, tuve la valentía y el coraje de seguir adelante a pesar de las dificultades. Este proceso ha sido un reto personal que hoy culmina en un logro que me llena de orgullo.

Dedico también este trabajo a mi mamá, Narcisa del Pilar Loyo Nicolalde, a quien admiro profundamente. En ella he visto cualidades que inspiran mi vida y que deseo cultivar: fortaleza, amor y entrega. Su ejemplo y su apoyo han sido fundamentales en cada etapa de este camino.

A mi hermana, Kelly Rueda, por hacerme sentir orgullosa de quien soy, por su confianza y por recordarme siempre lo valioso e importante que soy para ella. Su cariño ha sido un impulso constante.

Finalmente, dedico este trabajo a mi familia, por su paciencia, comprensión y acompañamiento incondicional a lo largo de este proceso, siendo un pilar esencial para alcanzar este objetivo personal y profesional.

Con gratitud y orgullo, este trabajo marca el cierre de una etapa y el inicio de nuevos caminos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO I	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema	3
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis	6
CAPÍTULO II.....	7
2.1 Origen del cultivo del ají.....	7
2.1.1 Clasificación taxonómica del ají.....	8
2.1.2 Morfología botánica del cultivo de ají.....	8
2.1.3 Fenología del cultivo de ají.....	12
2.1.4 Composición química del ají	13
2.1.5 Propiedades medicinales del ají.....	14
2.1.6 Condiciones edafoclimáticas	15
2.1.7 Distancia de siembra	17
2.2 Plagas	17
2.2.1 Mosca Blanca.....	18
2.2.2 Araña roja.....	18
2.2.3 Trips	18
2.2.4 Pulgones.....	19
2.2.5 Gusano cogollero	19

2.3	Biofertilización y su importancia agronómica.....	19
2.4	<i>Bacillus subtilis</i> (cepa QSP713)	22
2.5	Ingreso bruto y utilidad neta en producción agrícola.....	24
2.6	Relación beneficio/costo (R B/C)	25
2.7	Rentabilidad en sistemas agrícolas sostenibles.....	25
2.8	Marco legal	26
2.8.1	Vinculación del estudio con el ODS 2.....	26
2.8.2	Constitución del Ecuador: Artículo 281 y la soberanía alimentaria	26
2.8.3	Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura.....	27
2.8.4	Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA).....	27
2.8.5	Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria	27
CAPÍTULO III		28
3.1	Caracterización del área de estudio.....	28
3.1.1	Ubicación geográfica	28
3.1.2	Características climáticas.....	29
3.2	Materiales, equipos, insumos y herramientas	29
3.3	Métodos.....	30
3.3.1	Factor en estudio.	30
3.3.2	Tratamientos	30
3.3.3	Diseño experimental.	32
3.3.4	Características del experimento.	32
3.3.5	Características de la unidad experimental.....	33
3.3.6	Análisis estadístico.....	35
3.4	Variables a evaluar.....	35
3.4.1	Número de flores por planta durante la fase de floración.	35
3.4.2	Número total de frutos por planta cosechados.	36
3.4.3	Longitud del fruto en cosecha comercial.	36
3.4.4	Diámetro del fruto en cosecha comercial.....	37
3.4.5	Peso individual del fruto en cosecha comercial.	37
3.4.6	Peso total de frutos por planta cosechados.	38
3.4.7	Rendimiento del cultivo por hectárea.	38
3.4.8	Relación beneficio/costo del sistema de producción.	39

3.5	Manejo específico del experimento	39
3.5.1	Preparación del terreno	39
3.5.2	Surcado	39
3.5.3	Abonado del terreno.....	40
3.5.4	Trasplante.....	43
3.5.5	Aporque.....	44
3.5.6	Riego	44
3.5.7	Control de malezas.....	45
3.5.8	Control fitosanitario	45
3.5.9	Cosecha	46
CAPÍTULO IV.....		47
4.1	Número de flores por planta durante la fase de floración.....	47
4.2	Número total de frutos por planta cosechados.....	50
4.3	Longitud del fruto en cosecha comercial.....	54
4.4	Diámetro del fruto en cosecha comercial.....	56
4.5	Peso individual del fruto en cosecha comercial.....	58
4.6	Peso total de frutos por planta cosechados.....	60
4.7	Rendimiento del cultivo por hectárea	62
4.8	Relación beneficio/costo del sistema de producción	64
CAPÍTULO V		67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	67
ANEXOS		85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Composición química expresada en 100gr. de porción comestible de ají.</i>	13
Tabla 2	<i>Requerimientos de precipitación para el cultivo de ají.</i>	17
Tabla 3	<i>Microrganismos promotores del crecimiento.</i>	22
Tabla 4	<i>Taxonomía de Bacillus subtilis.</i>	24
Tabla 5	<i>Ubicación geográfica del área de estudio.</i>	29
Tabla 6	<i>Equipos, herramientas e insumos de la investigación.</i>	29
Tabla 7	<i>Tratamientos de estudio según recomendación edáfica y bioestimulante.</i>	30
Tabla 8	<i>Características de la unidad experimental.</i>	34
Tabla 9	<i>Parámetros químicos del suelo antes de la fertilización y sus rangos óptimos.</i>	40
Tabla 10	<i>Composición del abono orgánico (humus de lombriz) utilizado en el ensayo.</i>	41
Tabla 11	<i>Cálculo de fertilización requerida para alcanzar niveles óptimos de nutrientes.</i>	42
Tabla 12	<i>Dosis de fertilización sintética (g/parcela neta) aplicadas por tratamiento.</i>	43
Tabla 13	<i>Análisis de varianza de tratamientos para la variable número de flores totales.</i>	47
Tabla 14	<i>Análisis de varianza de tratamientos para la variable número de frutos.</i>	50
Tabla 15	<i>Análisis de varianza de tratamientos para la variable largo del fruto de ají.</i>	54
Tabla 16	<i>Análisis de varianza de tratamientos para el diámetro del fruto de ají en cm.</i>	57
Tabla 17	<i>Análisis de varianza de tratamientos para el peso en gramos(g) del fruto de ají.</i>	58
Tabla 18	<i>Análisis de varianza de tratamientos para el peso total en gramos de fruto de ají.</i>	60
Tabla 19	<i>Análisis de varianza de tratamientos para el rendimiento de cultivo en ají.</i>	63
Tabla 20	<i>Costos totales de producción por hectárea según tratamiento.</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Colonias de Bacillus subtilis sembradas en medio agar rojo Congo.</i>	23
Figura 2	<i>Ubicación de la Granja Experimental La Pradera</i>	28
Figura 3	<i>Croquis del campo experimental (m).</i>	33
Figura 4	<i>Detalle de la unidad experimental (m).</i>	34
Figura 5	<i>Número promedio de flores por planta en el cultivo de ají por tratamiento.</i>	48
Figura 6	<i>Número de frutos por planta en el cultivo de ají por tratamiento.</i>	52
Figura 7	<i>Longitud del fruto de ají (cm) por tratamiento.</i>	55
Figura 8	<i>Diámetro del fruto de ají (cm) por tratamiento.</i>	57
Figura 9	<i>Peso promedio del fruto (g) por tratamiento.</i>	59
Figura 10	<i>Peso total de frutos de ají (g) por planta y por tratamiento.</i>	61
Figura 11	<i>Rendimiento del cultivo de ají (t/ha) por tratamiento.</i>	63

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE AJÍ (*Capsicum sp.*), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA

Marco Alexander Rueda Loyo
maruedal@utn.edu.ec

Director
Director Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.

Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

RESUMEN

La producción de ají (*Capsicum sp.*) en zonas andinas enfrenta retos relacionados con la eficiencia agronómica y el uso sostenible de insumos. Este estudio evaluó el efecto de un biofertilizante comercial a base de *Bacillus subtilis* QST713 SC sobre variables de rendimiento, calidad y eficiencia económica del cultivo, bajo diferentes niveles de fertilización química. La investigación se desarrolló en la Granja Experimental “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos: T1 (100% fertilización), T2 (100% fertilización + 1x biofertilizante), T3 (50% fertilización + 1x biofertilizante), T4 (100% fertilización + 2x biofertilizante) y T5 (50% fertilización + 2x biofertilizante), con cuatro repeticiones por tratamiento. El biofertilizante se aplicó por drench cada 14 días. Se evaluaron variables como número de flores, frutos cuajados, peso promedio, dimensiones del fruto, rendimiento (t/ha) y relación beneficio/costo (B/C). Se aplicó ANOVA y prueba LSD de Fisher ($p < 0.05$). T4 obtuvo el mayor rendimiento (13.55 t/ha), un 26.72 % superior al testigo (T1), además de presentar frutos con mejores características comerciales y una relación B/C de 2.13. T3 y T5, pese a la reducción del 50 % en fertilización química, mostraron rendimientos estadísticamente similares a T1, evidenciando un efecto compensatorio atribuible a la acción rizosférica de *B. subtilis*. Se concluye que la integración del biofertilizante con fertilización completa o reducida mejora el rendimiento, calidad y eficiencia económica del cultivo, representando una estrategia viable para una agricultura más sostenible.

Palabras claves: *Bacillus subtilis* QST713 SC, rendimiento, sostenibilidad, calidad, bioestimulación.

**EFFECT OF BIOFERTILIZER APPLICATION ON THE AGRONOMIC
PERFORMANCE OF CHILI PEPPER (*Capsicum* sp.), AT THE LA PRADERA
EXPERIMENTAL FARM**

Marco Alexander Rueda Loyo
maruedal@utn.edu.ec

Director
Director Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.

Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

ABSTRACT

The production of chili pepper (*Capsicum* sp.) in Andean regions faces challenges related to agronomic efficiency and sustainable input use. This study evaluated the effect of a commercial biofertilizer based on *Bacillus subtilis* QST713 SC on yield, quality, and economic efficiency variables of the crop, under different levels of chemical fertilization. The research was conducted at the “La Pradera” Experimental Farm of the Universidad Técnica del Norte, using a completely randomized design (CRD) with five treatments: T1 (100% fertilization), T2 (100% fertilization + 1x biofertilizer), T3 (50% fertilization + 1x biofertilizer), T4 (100% fertilization + 2x biofertilizer), and T5 (50 % fertilization + 2x biofertilizer), with four replications per treatment. The biofertilizer was applied by drenching every 14 days. Variables such as number of flowers, fruit set, average fruit weight, fruit size, total yield (t/ha), and benefit-cost ratio (B/C) were evaluated. ANOVA and Fisher’s LSD test ($p < 0.05$) were performed. T4 obtained the highest yield (13.55 t/ha), 26.72% higher than the control (T1), and also produced fruits with superior commercial characteristics and a B/C ratio of 2.13. Despite the 50% reduction in chemical fertilization, treatments T3 and T5 achieved yields statistically similar to T1, suggesting a compensatory effect attributable to the rhizospheric action of *B. subtilis*. It is concluded that integrating biofertilizer with full or reduced fertilization improves yield, quality, and economic efficiency in chili production, representing a viable strategy for more sustainable agriculture.

Keywords: *Bacillus subtilis* QST713 SC, yield, sustainability, quality, bioestimulation

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes en todo el mundo, debido a que es la principal fuente de alimentos para la población humana (Bula, 2020). En este sentido, Santos (2018) dice que es fundamental el uso de prácticas agrícolas que permitan el aumento de la productividad de los cultivos, así como también la mejora en la calidad de estos. Uno de los elementos que incide de manera determinante en las labores agrícolas orientadas al crecimiento de los cultivos es la nutrición del suelo, ya que es un proceso muy importante para poder garantizar el acceso adecuado a los nutrientes y mantener la estabilidad del sistema del suelo, de esta manera se pueden obtener productos de calidad (González & Pomares, 2018).

Según Quiñones y Muñoz (2022) el ají (*Capsicum* sp.) es considerado entre los cultivos más importantes a nivel mundial ya que es utilizado en diversas aplicaciones culinarias y medicinales. Se le reconoce por ser una especie vegetal originaria de América del Sur y su cultivo se ha extendido a distintas partes del mundo debido a su amplio uso y valor comercial. De acuerdo con Zambrano (2024) en el caso ecuatoriano, el ají se posiciona como uno de los cultivos hortícolas de mayor valor por su versatilidad, demanda creciente y participación en los sistemas productivos familiares, especialmente en zonas de clima templado y subtropical. Sin embargo, la productividad del ají sigue enfrentando restricciones importantes debido a la degradación progresiva del suelo, el uso intensivo de agroquímicos, y el limitado acceso a tecnologías sostenibles por parte de pequeños productores.

En este contexto, comprender el efecto de las prácticas de fertilización edáfica y foliar resulta fundamental para optimizar el rendimiento del cultivo y mejorar la calidad del producto final. La fertilización edáfica consiste en la aplicación de nutrientes al suelo, mientras que la foliar implica su aplicación directamente sobre las hojas (Carbal, 2022). Por lo tanto, ambas técnicas son reconocidas por influir de forma positiva en el metabolismo de las plantas, favoreciendo el desarrollo vegetativo, la floración y la formación de frutos. En el cultivo de ají, se ha demostrado

que estas prácticas tienen un impacto directo en la disponibilidad de macro y micronutrientes, mejorando la absorción y el aprovechamiento por parte del cultivo (Bautista & Chavarro, 2017).

En respuesta a esta problemática, el uso de biofertilizantes ha ganado relevancia como alternativa sostenible en los sistemas agrícolas. Veliz (2019) menciona que estos productos biológicos, formulados con microorganismos benéficos, promueven una nutrición más eficiente y ecológica al mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Además, estimulan procesos fisiológicos en las plantas, como la síntesis de fitohormonas y la resistencia a enfermedades, lo que los convierte en aliados estratégicos en la agricultura moderna.

En este ámbito, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) del género *Bacillus* destacan por su amplia aplicación ya que realizan funciones diversas: fijan nitrógeno atmosférico, solubilizan fósforo, producen fitohormonas (auxinas, giberelinas, etc.) y enzimas beneficiosas, y pueden inhibir patógenos del suelo (Bravo, 2022).

En efecto, revisiones recientes por Xinmai et al. (2025) señalan que *Bacillus* solubilizadores de fósforo pueden incrementar de manera significativa los rendimientos en distintos cultivos al aumentar la disponibilidad de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Además, diversas cepas de *Bacillus* producen hormonas vegetales que estimulan el crecimiento: por ejemplo, *B. cereus* y *B. pumilus* han potenciado el crecimiento del pimiento rojo mediante la síntesis de giberelinas.

En estudios específicos con *Capsicum*, se ha comprobado el efecto beneficioso de *Bacillus subtilis* como bio controlador y promotor de crecimiento. En la investigación llevada a cabo por Yuanyuan et al. (2017) se identificó una cepa rizosférica de *Bacillus subtilis* que presentó una destacada acción antifúngica contra *Rhizoctonia solani* y de manera paralela incrementó la biomasa aérea del ají entre un 45 y un 54% en comparación con el tratamiento control afectado. Por lo tanto, esta información evidencia la doble función de *B. subtilis*, al actuar como agente protector frente a patógenos del suelo y al mismo tiempo favorece el desarrollo de la planta.

La obtención de este tipo de resultados demuestra como *Bacillus subtilis* actúa como un agente eficaz en la defensa del cultivo contra patógenos presentes en el suelo, al mismo tiempo que impulsa el fortalecimiento general de la planta. De manera similar, las formulaciones comerciales elaboradas a partir de *B. subtilis*, como la cepa QST 713, contribuyen significativamente al

desarrollo del sistema radicular. Según lo especificado en la ficha técnica del bio fungicida Serenade, producto que contiene dicha cepa, por lo cual las bacterias presentes favorecen el establecimiento de raíces robustas, lo cual mejora la salud general de la planta, incrementando su resistencia frente a condiciones de estrés abiótico y además puede optimizar la absorción de nutrientes y elevar el rendimiento del cultivo (Bayer CropScience, 2022).

En esta línea, Qiao et al. (2023) evaluaron la eficiencia de un polvo mojable de *Bacillus subtilis* sobre la pudrición de la raíz en pimiento (*Capsicum annuum*) causada por *Fusarium solani*, logrando una eficacia de bio control del 74.43% y un aumento en la tasa de germinación y biomasa de las plantas. De esta manera, demostraron que cepas nativas de *Bacillus* spp. aplicadas en pimiento chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) mejoraron significativamente la tolerancia al estrés por sequía y promovieron el crecimiento vegetativo, lo que refuerza el potencial del género *Bacillus* en condiciones de estrés abiótico y su aplicabilidad en diferentes variedades del género *Capsicum*.

1.2 Problema

El ají (*Capsicum* sp.) es un cultivo de gran importancia económica y nutricional en muchas regiones del mundo. Sin embargo, el rendimiento y la calidad del cultivo es un campo que aún no se ha explorado a profundidad. El ají es una especie comúnmente utilizada en la alimentación ecuatoriana, debido a la cultura y tradición gastronómica. Sin embargo, son pocas las investigaciones relacionadas al análisis de la producción de esta planta (Quiñones & Muñoz, 2022).

El aumento del precio en los diferentes tipos de fertilizantes sintéticos ha provocado una gran demanda de consumo que año tras año se agota en el mercado debido a su origen mineral o sintético como: el nitrato de potasio, ácido fosfórico, entre muchos. La Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes estima que para el 2023 existirá una reducción en la fabricación de fertilizantes en un 3% o más, debido a la necesidad de nitrógeno y fósforo que ha sido utilizado en otras actividades no agrícolas. Por lo tanto, en el mercado se evidencia la demanda de estos fertilizantes a gran escala por lo que los pequeños agricultores no tendrán acceso a alternativas económicas de fertilizantes a base de recursos no renovables generando una problemática alimentaria (ONU, 2022).

La mayoría de los agricultores han generado una gran dependencia en el uso de los fertilizantes sintéticos debido a que brinda mayores niveles de producción del cultivo. Sin embargo, esto ha generado una contaminación acelerada de los suelos y agua al no llevar un proceso de fertilización adecuada, por lo tanto, se generan más productos alimenticios con menos calidad nutricional. Es por eso que el uso de un biofertilizante es una alternativa para el desarrollo sostenibles del sector agrícola (Hidalgo, 2017).

La creciente necesidad de producir cultivos para abastecer la alimentación de la población mundial ha desatado la contaminación masiva de los principales recursos como el agua y el suelo. En todo el mundo, cada año se aplican aproximadamente 115 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados minerales en tierras agrícolas, aproximadamente el 20% de estos productos nitrogenados se acumulan en los suelos y la biomasa, mientras que el 35% acaba siendo transportado hacia los océanos. Por lo tanto, el empleo intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas y otros compuestos sintéticos afecta negativamente la seguridad alimentaria, al reducir su estabilidad y disponibilidad dentro de la población (ONU, 2023).

El encarecimiento de los fertilizantes químicos puede explicarse por diversos factores adversos, entre ellos el conflicto geopolítico entre Rusia y Ucrania, naciones que destacan como principales productoras de amoníaco, un insumo esencial en la elaboración de fertilizantes sintéticos. Durante los primeros seis meses de 2022, el valor en dólares de las importaciones de fertilizantes químicos en América Latina y el Caribe (ALC - 18 países con datos disponibles hasta septiembre) experimentó un incremento promedio del 136,6% en comparación con el mismo período de 2021. (IICA, 2023).

La inclusión de los microorganismos *Bacillus* en un biofertilizante ofrece una alternativa ecológica al uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura, al utilizar este biofertilizante, se aprovecha la capacidad de estos microorganismos para promover el crecimiento de las plantas y mejorar la salud del suelo de manera natural. Estos microorganismos beneficiosos tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y convertirlo en formas utilizables por las plantas, lo que reduce la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados sintéticos. Además, pueden solubilizar nutrientes presentes en el suelo, haciéndolos más accesibles para las raíces de las plantas (Chávez & Zelaya, 2021).

1.3 Justificación

La presente investigación reviste una importancia significativa, dado que plantea una evaluación del impacto de la fertilización edáfica y foliar en la nutrición mineral y absorción de nutrientes en plantas de ají (*Capsicum* sp), una especie de gran relevancia tanto a nivel agrícola como alimentario (Chávez & Zelaya, 2021). Por medio del análisis de los antecedentes en los que se aplicaron diferentes tratamientos en la mezcla de fertilizantes sintéticos con biofertilizantes, permitirá analizar la fenología del cultivo y por consecuencia la calidad del producto en su producción, analizando la viabilidad económica de los tratamientos exitosos.

Entre los aportes que se destacan en esta investigación, cabe mencionar lo siguiente: la aplicación de biofertilizantes puede constituir una estrategia efectiva y sostenible para mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad del ají, una hortaliza altamente demandada a nivel mundial debido a sus propiedades nutricionales y su amplio uso en la gastronomía. El enfoque innovador permitiría no solo reducir el empleo de fertilizantes sintéticos, sino también disminuir los riesgos asociados a la contaminación de suelos y cuerpos de agua, preservando así los recursos naturales (Casanova, 2018).

Además, la utilización de un biofertilizante basado en los microorganismos *Bacillus* y *Pseudomonas*, reconocidos por su capacidad para promover la disponibilidad de nutrientes en el suelo y mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades, abre nuevas posibilidades en el ámbito de la investigación agrícola. La implementación exitosa de este biofertilizante en cultivos de ají no solo proporcionaría beneficios agronómicos, sino también contribuiría a la reducción de los costos asociados a la producción de alimentos, incrementando así la rentabilidad de los agricultores y promoviendo la seguridad alimentaria (INIAP, 2023).

Por último, los tratamientos objeto de estudio permitirán determinar su viabilidad mediante un análisis económico exhaustivo, en el cual se evaluará la eficacia de los tratamientos exitosos, analizando el desarrollo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha, se examinará la asimilación de nutrientes en la planta y cómo esto se traduce en productos con un mayor aporte nutricional, lo cual no solo beneficia la calidad de los alimentos producidos, sino que también fortalece la cadena de suministro y la competitividad del sector agrícola en el contexto nacional e internacional.

Por lo tanto, la evaluación del impacto de la biofertilización en plantas de ají es una cuestión importante y relevante en la agricultura. Los resultados de este estudio pueden proporcionar información valiosa para los agricultores y la industria alimentaria en general, propiciando espacios de aplicación de diferentes tratamientos en base a biofertilizantes (Solis & Quiroz, 2017)

Las investigaciones forman parte de los objetivos del Plan de Desarrollo “Creación de Oportunidades” del actual gobierno enmarcado en el eje del desarrollo económico y ambiental. Por lo que, el estudio de este tipo de biofertilizantes en la aplicación de cultivos es un aporte para el desarrollo agrónomo del país y a su vez de la comunidad del norte del país, quienes pueden implementar los tratamientos de desarrollo agrónomo como una opción de desarrollo económico (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el comportamiento agronómico de ají (*Capsicum* sp.), en la Granja Experimental La Pradera.

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar el rendimiento y calidad de los frutos bajo los tratamientos en estudio.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis

Ho. La aplicación de biofertilizantes no influye en el rendimiento y calidad del fruto.

Ha. La aplicación de biofertilizantes influye en el rendimiento y calidad del fruto.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Origen del cultivo del ají

El ají (*Capsicum* sp.), también conocido como chile, es una planta originaria de América Central y del Sur. Hay evidencia arqueológica de que el ají fue cultivado por los pueblos indígenas de la región andina desde hace más de 6.000 años. Los antiguos peruanos y mexicanos utilizaron el ají tanto como alimento como con fines medicinales, y se sabe que se ha utilizado en la medicina tradicional para tratar dolencias como el dolor de cabeza, la artritis y las infecciones de las vías respiratorias (Quiñones & Muñoz, 2022).

Los colonizadores españoles fueron los responsables de llevar el ají a Europa en el siglo XVI. Desde entonces, la planta se ha extendido por todo el mundo y se ha convertido en un ingrediente esencial en la cocina de muchas culturas. En la actualidad, el ají se cultiva en muchas partes del mundo, especialmente en países como México, Perú, Colombia, Brasil, India, China y Tailandia (Cáliz, 2020).

En Ecuador, la historia del ají se remonta a los tiempos precolombinos, se han encontrado restos de ají en las tumbas de la cultura Valdivia, que habitó la costa ecuatoriana hace más de 5,000 años. Además, los Incas, que gobernaron gran parte de América del Sur antes de la llegada de los españoles, también cultivaron y utilizaron el ají en sus ceremonias religiosas y como parte de su dieta diaria. Hoy en día, el ají es un alimento importante en la dieta de muchos países latinoamericanos, incluyendo Ecuador, en el cual se cultiva en todo el país, desde la costa hasta los Andes y la Amazonía y se utiliza en una variedad de platos tradicionales (Salazar, 2018).

La domesticación del ají ha llevado a la creación de una gran variedad de especies y variedades, cada una con sus propias características únicas. En Ecuador, se cultivan muchas variedades diferentes de ají, cada una con su propio sabor y nivel de picante. La diversidad del ají en el país es un reflejo de la rica historia y cultura de Ecuador y su conexión con la tierra y los alimentos que produce (Salazar, 2018).

2.1.1 Clasificación taxonómica del ají

La clasificación taxonómica del ají, también conocido como *capsicum spp.*, es la siguiente (Long, 2020):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Capsicum

Dentro del género Capsicum, hay varias especies diferentes de ají, incluyendo *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum frutescens* y *Capsicum pubescens*. Cada una de estas especies tiene sus propias variedades y subespecies, cada una con diferentes características de sabor, picor y apariencia (Marquez, 2020)

2.1.2 Morfología botánica del cultivo de ají

El cultivo de ají es una actividad agrícola que requiere de un conocimiento profundo de la morfología botánica de la planta y de sus necesidades para un buen crecimiento y producción. En general, el cultivo del ají es similar al de otras solanáceas, como el tomate o la papa, y su manejo agronómico se basa en el conocimiento de sus características botánicas y fisiológicas (Long, 2020).

a) Sistema radicular

El sistema radicular del ají es fasciculado y poco profundo, lo que significa que las raíces se extienden ampliamente en la superficie del suelo y no penetran profundamente en el suelo. Las raíces principales son cortas y delgadas, y a partir de ellas surgen numerosas raíces secundarias o laterales que se ramifican de manera abundante (Long, 2020).

Las raíces del ají tienen una gran capacidad de absorción de nutrientes y agua del suelo, lo que las hace altamente eficientes para nutrir la planta. Además, las raíces del ají son muy sensibles a las

condiciones del suelo, como la humedad, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, lo que les permite adaptarse a diferentes entornos y condiciones climáticas.

b) Tallo

El tallo del ají es erecto, cilíndrico, leñoso y ramificado desde la base. Tiene una textura rugosa y una coloración verde brillante cuando es joven, que se torna marrón o grisácea cuando envejece. La longitud del tallo varía dependiendo de la variedad, pero generalmente alcanza alturas que van desde los 30 a los 150 centímetros (Long, 2020).

El tallo del ají es muy importante para el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que es el encargado de sostener las hojas y los frutos, y transportar los nutrientes y agua desde las raíces hasta las hojas y frutos. El tallo presenta nudos y entrenudos, y es en los nudos donde se encuentran las hojas y las ramas laterales. Además, en el tallo del ají se pueden observar pequeñas protuberancias o lenticelas, que son poros por donde la planta realiza el intercambio gaseoso con el ambiente. Estas estructuras son importantes para mantener la salud de la planta y su crecimiento adecuado (Long, 2020).

c) Hojas

Las hojas del cultivo de ají son simples, alternas y tienen una forma ovalada o lanceolada. Pueden variar en tamaño y forma dependiendo de la variedad de ají, pero suelen tener una longitud de entre 5 y 15 centímetros y un ancho de entre 2 y 7 centímetros. La superficie de las hojas es lisa y brillante, de color verde oscuro en la parte superior y más claro en la inferior. Presentan una textura suave y son delicadas al tacto, con un borde dentado o serrado. En la base de las hojas se encuentra el peciolo, una estructura que conecta la hoja con el tallo de la planta. El peciolo es largo y delgado, y en algunos casos puede presentar una coloración violácea (Long, 2020).

Las hojas del ají son muy importantes para el crecimiento de la planta, ya que son las encargadas de realizar la fotosíntesis, proceso mediante el cual la planta produce sus propios alimentos a partir de la luz solar, agua y nutrientes. Además, las hojas son una indicación del estado de salud de la planta y pueden ser utilizadas para detectar posibles enfermedades o deficiencias nutricionales (Quevedo, 2020).

d) Flores

El ají es una planta que produce flores solitarias, pequeñas y generalmente blancas o verdosas con cinco pétalos y cinco sépalos. Estas flores se desarrollan en las axilas de las hojas y tienen forma de estrella con un diámetro de aproximadamente 1 cm. Las flores pueden ser masculinas, femeninas o hermafroditas, y la planta puede producir una combinación de los tres tipos. Las flores masculinas tienen un estambre largo y delgado con polen amarillo y no tienen ovario. Las flores femeninas tienen un pistilo corto y un ovario que se desarrollará en un fruto si se fecunda. Las flores hermafroditas tienen ambos órganos sexuales, pero a menudo están imperfectamente desarrollados, lo que limita su capacidad para producir frutos (Quevedo, 2020).

La polinización del ají puede ser realizada por insectos o por el viento, y en algunos casos, la autopolinización también es posible. La producción de frutos de ají depende en gran medida de una buena polinización y de la disponibilidad adecuada de nutrientes para la planta (Quevedo, 2020).

e) Frutos

Los frutos del cultivo de ají, también conocidos como pimientos o chiles, son bayas carnosas de forma cónica, cilíndrica o globular, con un diámetro que varía entre 0,5 y 10 cm. Dependiendo de la variedad, pueden ser verdes, amarillos, naranjas, rojos, marrones o morados en su madurez. La piel del fruto es lisa o arrugada y su superficie puede ser brillante o mate. En el interior del fruto se encuentra la pulpa, que puede ser carnosa o hueca, y está dividida en varias cavidades que contienen las semillas. La pulpa del ají puede ser de diferentes sabores, desde dulce y suave hasta muy picante y picante (Bsoland & Votava, 2012).

La maduración de los frutos del ají es gradual y se produce de forma asincrónica, es decir, los frutos maduran en diferentes momentos en la misma planta. El tiempo de maduración de los frutos depende de la variedad y las condiciones ambientales, pero generalmente tardan entre 60 y 120 días desde la siembra hasta la cosecha (Romero & Puentes, 2017).

f) Semillas

Las semillas del cultivo de ají son pequeñas, de forma redondeada o elíptica y de color marrón claro. Poseen una cubierta externa dura y lisa, y una estructura interna que contiene el embrión y el endospermo. En promedio, una planta de ají puede producir entre 50 y 200 semillas, dependiendo del tipo de cultivar y las condiciones de cultivo. Las semillas pueden ser recolectadas de frutos maduros y secos, y su germinación puede ser afectada por la edad de la semilla, la calidad de la semilla y las condiciones ambientales adecuadas (Romero & Puentes, 2017).

Las semillas de ají son muy utilizadas en la producción de nuevas plantas, ya que son capaces de transmitir las características de la planta madre a su descendencia. Además, son utilizadas en la producción de semillas comerciales para la venta y distribución a otros productores. La calidad de las semillas es muy importante para asegurar una buena producción y calidad del cultivo de ají (Romero & Puentes, 2017).

g) Especies

Existen muchas especies de ají (*capsicum spp.*), cada una con características únicas en cuanto a sabor, tamaño, color, textura y uso culinario. A continuación, se describen algunas de las especies más comunes:

- *Capsicum annuum*: es la especie más común de ají y tiene una gran variedad de formas, colores y niveles de picor. Incluye chiles, jalapeños, pimientos, guindillas y otros tipos de ajíes.
- *Capsicum frutescens*: se caracteriza por su pequeño tamaño y alta pungencia. Incluye chiles de árbol, piri-piri y tabasco.
- *Capsicum chinense*: tiene una alta pungencia y se caracteriza por sus frutos pequeños y redondos. Incluye habaneros, scotch bonnets y otros tipos de ajíes caribeños.
- *Capsicum baccatum*: es originaria de América del Sur y tiene frutos pequeños y suaves, con una amplia variedad de sabores y colores. Incluye ají amarillo, ají verde y otros tipos de ajíes andinos.

- *Capsicum pubescens*: es la única especie de ají que tiene hojas y tallos vellosos. Sus frutos son grandes y carnosos, y se caracterizan por su alta pungencia y sabor afrutado. Incluye rocotos y manzanos.

Cada especie de ají tiene diferentes requerimientos de cultivo y puede adaptarse mejor a ciertos climas y suelos. La selección de la especie adecuada es importante para lograr una buena producción y calidad de los frutos (Romero & Puentes, 2017).

2.1.3 Fenología del cultivo de ají

Según Mundarain y Cañizares (2020) la fenología del cultivo de ají se refiere al conjunto de eventos que se producen durante el crecimiento y desarrollo de la planta, desde la germinación de la semilla hasta la madurez y cosecha del fruto. A continuación, se presenta una descripción de las etapas fenológicas del cultivo de ají:

- Germinación: Esta etapa comienza cuando la semilla absorbe agua y se hincha, produciéndose la ruptura de la cubierta seminal. A partir de este momento, comienza el crecimiento del embrión y la radícula, que dará origen a la raíz primaria.
- Emergencia: En esta etapa, la plántula emerge del suelo y se desarrollan las primeras hojas verdaderas.
- Etapa vegetativa: Durante esta fase, la planta desarrolla su sistema radicular y foliar, aumentando su tamaño y acumulando reservas para la futura producción de frutos.
- Floración: Es en esta etapa donde se produce la formación de las flores, que darán origen a los frutos.
- Fructificación: En esta fase, los frutos comienzan a crecer y madurar, y la planta continúa acumulando reservas para la producción de nuevas flores y frutos.
- Madurez y cosecha: La madurez de los frutos es determinada por el color y tamaño, y se realiza la cosecha en el momento adecuado para obtener el máximo rendimiento y calidad.

La duración de cada etapa fenológica varía según la variedad de ají y las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la luminosidad. La comprensión de la fenología del cultivo de ají es importante para determinar el momento óptimo de aplicación de prácticas de manejo, como

la fertilización y el riego, y para planificar la cosecha de los frutos en el momento adecuado (Mundarain & Cañizares, 2020).

2.1.4 Composición química del ají

En la Tabla 1 muestra la composición química del ají en términos de nutrientes y otros compuestos importantes para la nutrición y salud humana, se puede observar que los ajíes son una buena fuente de vitamina C, carotenoides y compuestos antioxidantes como la capsaicina. También contienen minerales esenciales como calcio, hierro y potasio, aunque en cantidades relativamente bajas (Caballero & Márquez, 2017). La tabla destaca la importancia del ají como un alimento nutritivo y saludable en la dieta humana.

Tabla 1

Composición química expresada en 100gr. de porción comestible de ají.

Nutriente	Cantidad
Agua	88.06 g
Energía	40 kcal
Proteína	1.87 g
Grasa total	0.44 g
Carbohidratos	8.81 g
Fibra dietética	1.5 g
Azúcares	4.20 g
Calcio	14 mg
Hierro	0.86 mg
Magnesio	23 mg
Fósforo	43 mg
Potasio	291 mg
Sodio	9 mg
Zinc	0.26 mg
Vitamina C	143.7 mg
Tiamina (vitamina B1)	0.078 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0.086 mg
Niacina (vitamina B3)	1.244 mg
Vitamina B6	0.291 mg
Folato (vitamina B9)	23 µg
Vitamina A	53 IU
Vitamina E	0.69 mg
Vitamina K	14.8 µg

Fuente: (Caballero & Márquez, 2017).

Es importante tener en cuenta que los valores pueden variar ligeramente según la variedad de ají y las condiciones de cultivo. Además, el ají es conocido por ser una excelente fuente de capsaicina, un compuesto responsable de su característico sabor picante y que tiene propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. La cantidad de capsaicina también puede variar según la variedad y el nivel de madurez del ají

2.1.5 Propiedades medicinales del ají

El ají es una planta que ha sido utilizada durante siglos en la medicina tradicional de diversas culturas debido a sus propiedades medicinales. Algunas de las propiedades medicinales más destacadas del ají son (Vargas & Loayza, 2020):

- **Analgésico:** El ají contiene capsaicina, un compuesto que tiene propiedades analgésicas y antiinflamatorias que pueden ayudar a aliviar el dolor. La capsaicina se utiliza en forma de crema para tratar el dolor muscular y articular, y también se ha demostrado que puede ser efectiva para aliviar el dolor de cabeza.
- **Digestivo:** El ají es un excelente estimulante digestivo que ayuda a mejorar la digestión y a prevenir problemas gastrointestinales como la acidez estomacal, el estreñimiento y la diarrea. La capsaicina también estimula la producción de jugos gástricos y la actividad enzimática, lo que favorece la digestión.
- **Cardiovascular:** El ají contiene capsaicina, un compuesto que ha demostrado tener propiedades cardiovasculares beneficiosas. La capsaicina ayuda a reducir los niveles de colesterol en la sangre, a mejorar la circulación sanguínea y a prevenir la formación de coágulos.
- **Antioxidante:** El ají es rico en antioxidantes, que son sustancias que protegen las células del cuerpo del daño causado por los radicales libres. Los antioxidantes presentes en el ají ayudan a prevenir el envejecimiento prematuro, a fortalecer el sistema inmunológico y a reducir el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer.
- **Analgésico tópico:** La capsaicina también se utiliza en forma de crema o pomada para aliviar el dolor en la piel y los músculos. La aplicación tópica de capsaicina puede ser efectiva para aliviar el dolor de la artritis, la neuralgia, la fibromialgia y otras afecciones dolorosas.

2.1.6 Condiciones edafoclimáticas

De acuerdo con Arellano (2017) el ají es un cultivo que se adapta a una amplia gama de condiciones edafoclimáticas, sin embargo, para obtener una producción óptima se deben considerar ciertas condiciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo.

- **Temperatura**

El cultivo de ají requiere de temperaturas cálidas para su óptimo desarrollo y crecimiento. Las temperaturas ideales para la germinación de las semillas oscilan entre los 25 y 30°C, mientras que para el crecimiento vegetativo se requieren temperaturas entre los 20 y 25°C. Durante la floración y formación de frutos, las temperaturas deben estar entre los 18 y 20°C para evitar daños en los frutos (Carbal, 2022).

El ají es un cultivo que se adapta a una amplia gama de temperaturas, desde los 15°C hasta los 35°C, pero su crecimiento y producción óptimos se logran en un rango entre los 20 y 30°C. Es importante destacar que las temperaturas muy bajas pueden retrasar el crecimiento de la planta y disminuir la producción de frutos, mientras que las temperaturas muy altas pueden provocar la caída prematura de las flores y frutos (Carbal, 2022).

- **Suelos**

El cultivo de ají requiere de suelos bien drenados, ricos en materia orgánica y con pH entre 5.5 y 6.8. Los suelos ideales para el cultivo de ají son los francos, francos arenosos y francos arcillosos, con una profundidad mínima de 50 cm. Es importante que el suelo tenga una buena estructura y aireación para permitir un adecuado crecimiento radicular y una buena absorción de nutrientes (Carbal, 2022).

Además, el suelo debe tener una buena capacidad de retención de agua, pero sin que se presente encharcamiento, ya que esto puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de la planta. El exceso de agua en el suelo también puede favorecer la aparición de enfermedades y plagas. En cuanto a la fertilidad del suelo, es importante que tenga un buen contenido de nutrientes esenciales para el crecimiento de la planta, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes como hierro, manganeso, zinc, entre otros (Carbal, 2022). Por lo tanto, es

necesario realizar una adecuada fertilización tanto en la etapa de pre siembra como durante el ciclo del cultivo, para asegurar un adecuado suministro de nutrientes a la planta.

- Humedad relativa

Según Riva (2019) el cultivo de ají requiere de una adecuada disponibilidad de agua en el suelo para su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, es importante evitar un exceso de humedad que pueda generar problemas como pudriciones de raíces y de la base del tallo, lo que puede afectar gravemente la producción. El requerimiento de humedad del cultivo de ají varía según la etapa fenológica en la que se encuentra la planta. Durante la etapa de germinación y establecimiento de plántulas, se requiere un suelo húmedo, pero no saturado, para facilitar la emergencia de las plántulas. Durante la fase de crecimiento vegetativo y floración, la humedad debe ser constante para mantener un adecuado desarrollo de las plantas. Durante la fructificación, se requiere un riego más frecuente para evitar la caída de flores y frutos y mantener una producción adecuada.

Es importante mencionar que el cultivo de ají puede ser afectado por periodos prolongados de sequía, lo que puede afectar la producción y calidad del fruto. Por lo tanto, se debe mantener un adecuado nivel de humedad en el suelo, ya sea mediante riego o prácticas de conservación del agua en el suelo, como el uso de cubiertas vegetales o mulching.

- Luz

El ají requiere de una cantidad adecuada de luz solar para un buen crecimiento y desarrollo, por lo que se recomienda que el cultivo se realice en áreas con exposición directa al sol. En general, el ají puede crecer y desarrollarse en condiciones de luminosidad media a alta. Se debe tener en cuenta que las altas temperaturas pueden generar estrés en las plantas y afectar su crecimiento y producción, por lo que en zonas con altas temperaturas es importante proporcionar sombra para proteger las plantas del exceso de luz solar (Riva, 2019).

- Precipitación

El cultivo de ají requiere de una cantidad adecuada de precipitación para su óptimo crecimiento y desarrollo. La cantidad de precipitación necesaria puede variar según la etapa de crecimiento de la planta. A continuación, se describen los requerimientos de precipitación para el cultivo de ají:

Tabla 2

Requerimientos de precipitación (mm/mes) para el cultivo de ají.

Etapa de crecimiento	Precipitación
Germinación	50-100
Crecimiento vegetativo	100-150
Floración y fructificación	150-200
Maduración de frutos	50-100

Fuente: (Riva, 2019)

Es importante mencionar que estos valores son aproximados y pueden variar dependiendo de la variedad de ají y las condiciones climáticas de la región donde se cultive. Es recomendable monitorear las condiciones de humedad del suelo y ajustar el riego en caso de ser necesario para evitar la sequía o el exceso de humedad.

2.1.7 Distancia de siembra

La distancia de siembra en el cultivo de ají depende en gran medida de la variedad de ají que se cultive, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. En general, se recomienda una distancia de siembra de 0.50 a 0.70 m entre plantas y de 1.5 a 2 m entre hileras. Para el cultivo de ají en macetas o en invernaderos, se recomienda una distancia de siembra de al menos 0.30 m entre plantas y de 0.60 a 0.80 m entre hileras (Romero & Puentes, 2017).

Es importante recordar que la densidad de siembra adecuada puede afectar el crecimiento y desarrollo del cultivo, así como la producción y calidad de los frutos. Es recomendable seguir las recomendaciones específicas para la variedad de ají que se está cultivando y las condiciones específicas del terreno (Romero & Puentes, 2017).

2.2 Plagas

Existen El cultivo de ají, al igual que muchas otras hortalizas, es susceptible a la presencia de múltiples plagas que pueden comprometer su desarrollo, productividad y calidad final. Por lo cual, las plagas, al alimentarse de distintas partes de la planta, generan daños directos e indirectos que afectan tanto la fisiología vegetal como el rendimiento económico del cultivo (Capinera, 2020).

A continuación, se describen algunas de las plagas más frecuentes que inciden negativamente en el ají y que requieren una atención oportuna dentro del manejo fitosanitario integral.

2.2.1 Mosca Blanca

Es una plaga común que afecta al cultivo de ají, esta plaga se alimenta de la savia de la planta, lo que debilita y reduce su rendimiento. Además, la mosca blanca también puede transmitir el virus que afecta a la planta. Las hojas infestadas por mosca blanca se vuelven amarillas, marchitas y caen prematuramente. La plaga puede ser difícil de controlar debido a su capacidad para desarrollar resistencia a los insecticidas y su rápida reproducción (Raigoza, 2023). Por lo cual, para prevenir y controlar la mosca, es importante mantener la planta sana y vigorosa, aplicar métodos de control biológico como la introducción de insectos depredadores naturales y utilizar insecticidas con precaución y siguiendo las recomendaciones del fabricante.

2.2.2 Araña roja

La plaga araña roja (*Tetranychus urticae*) es un ácaro que se alimenta de la savia de la planta de ají, causando clorosis y decoloración en las hojas y reduciendo su capacidad fotosintética. Además, la araña roja también puede transmitir virus a las plantas de ají, lo que puede afectar el crecimiento y el rendimiento de la planta. La plaga prefiere ambientes secos y cálidos, y puede desarrollarse rápidamente en condiciones de sequía. La presencia de la araña roja en el cultivo de ají puede ser detectada por la presencia de pequeñas manchas claras en las hojas, así como por la presencia de finas telarañas (Morrillo, 2020).

2.2.3 Trips

La plaga trips (*Thysanoptera*) es un insecto que puede afectar el cultivo de ají, en especial durante las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas, esta plaga causa daños directos en las hojas y los frutos del ají, lo que puede reducir la producción y la calidad del cultivo. Los viajes se alimentan de la savia de las hojas y los frutos, dejando pequeñas marcas de color plata en la superficie de las hojas. Además, pueden causar la deformación de los frutos y la caída prematura de los mismos. También pueden transmitir virus a las plantas de ají, lo que puede afectar aún más la producción y la calidad del cultivo (Gómez, 2023).

El control de trips en el cultivo de ají puede realizarse mediante la aplicación de insecticidas específicos, así como a través de la implementación de prácticas culturales adecuadas, entre las que se incluyen la eliminación de malezas hospederas y la rotación de cultivos. En este sentido, resulta fundamental efectuar un monitoreo periódico del cultivo con el fin de detectar oportunamente la presencia de esta plaga y aplicar medidas de control adecuadas que minimicen su impacto sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo.

2.2.4 Pulgones

Los pulgones son insectos chupadores que se alimentan de la savia de las plantas y pueden afectar el cultivo de ají de diversas maneras, al alimentarse, debilitan la planta, lo que puede reducir el rendimiento y la calidad de la cosecha. Además, los pulgones excretan una sustancia pegajosa llamada "melaza", que puede afectar la fotosíntesis y reducir la calidad de los frutos. Otro problema que puede presentarse con los pulgones es la transmisión de virus que pueden infectar al cultivo de ají y causar enfermedades graves, lo que puede reducir aún más el rendimiento de la cosecha (Jiménez, 2020).

2.2.5 Gusano cogollero

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es una plaga que afecta a una amplia variedad de cultivos, incluyendo el ají. Las larvas del gusano cogollero se alimentan de las hojas y el follaje, lo que puede provocar la defoliación y reducir la producción de frutos. Los síntomas de la infestación por gusano cogollero incluyen la presencia de orificios en las hojas y la aparición de excrementos en la planta. A medida que las larvas se alimentan, pueden producirse daños en el follaje, las hojas y las flores, lo que puede reducir la calidad y la cantidad de la producción de frutos (Drouet, 2018).

2.3 Biofertilización y su importancia agronómica

La biofertilización consiste en la aplicación de microorganismos benéficos (bacterias, hongos, algas) que mejoran la nutrición y salud de las plantas. Los biofertilizantes son inoculantes microbianos que aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo mediante varios mecanismos biológicos (fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, movilización de potasio, degradación de materia orgánica, producción de fitohormonas, etc.). El uso promueve una nutrición vegetal

más eficiente y puede incrementar significativamente la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Además, como alternativa a los fertilizantes químicos sintéticos, los biofertilizantes contribuyen a reducir costos de producción y daños ambientales, manteniendo la salud del suelo y la biodiversidad microbiana (Pedraza, 2021).

A continuación, se describen los 4 tipos principales de biofertilizantes según su función: fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, captadores de fósforo y promotores del crecimiento vegetal (Grageda, 2022):

a) Fijadoras de nitrógeno

Se pueden encontrar bacterias fijadoras de nitrógeno de forma natural en el suelo, las cuales son consideradas como un biofertilizante ecológico y se clasifican en dos grupos: las simbióticas, como *Rhizobium*, que son específicas de las leguminosas, y las libres, como *Azotobacter* y *Azospirillum*, que viven en el suelo y no necesitan la planta para reproducirse. Si se aplican en concentraciones adecuadas y en cultivos de baja demanda, las bacterias libres fijadoras de nitrógeno pueden sustituir la aplicación de nitrógeno sintético (como la urea, el amoníaco y los nitratos) sin afectar la producción y con un menor costo (Grageda, 2022).

b) Solubilizadores de fósforo

Se refiere a los microorganismos que transforman el fósforo de formas orgánicas a inorgánicas, de formas insolubles a solubles, lo que hace que estén disponibles para las plantas. Este proceso se lleva a cabo mediante tres procesos diferentes: Quelación, Reducción de Hierro y Producción de ácidos orgánicos. En el proceso de Quelación, los microorganismos presentes en el suelo forman quelatos de Ca, Mg y Fe, lo que provoca la solubilización del fósforo mineral. En el proceso de Reducción de Hierro, el Fe^{3+} se reduce a Fe^{2+} y se libera difosfato, una forma de fósforo disponible para las plantas. Por último, en el proceso de Producción de Ácidos Orgánicos, los microorganismos producen y liberan algunos compuestos que se combinan con aniones fosfato fijados, lo que permite la solubilización. Estos microorganismos representan el 10% de la población del suelo y se encuentran en la rizosfera. Algunas especies incluyen *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Penicillium bilaji*, y *Aspergillus niger*; además de otras especies de los géneros *Mycobacterium*, *Thiobacillus* y *Micrococcus*, entre otros (Grageda, 2022).

c) Captadores de fósforo

Las micorrizas tienen la capacidad de capturar fósforo al penetrar o unirse a las raíces, obteniendo los nutrientes necesarios a través de los exudados de la raíz. La presencia de micorrizas beneficia al sistema radicular de la planta, mejorando la absorción de agua y nutrientes y brindando protección contra patógenos. Es importante destacar el papel fundamental de las micorrizas en la absorción de fósforo, ya que este elemento es inmóvil en el suelo y la incorporación de micorrizas tiene un efecto directo en su absorción. A diferencia del flujo de masas, donde los nutrientes se mueven junto con la solución del suelo, el acceso al fósforo se da por intercepción y las micorrizas actúan como una extensión del sistema radicular, lo que aumenta significativamente la capacidad de la planta para absorber el fósforo (Grageda, 2022).

Además de los beneficios que las micorrizas proporcionan a las plantas, es importante destacar que también mejoran las características físicas del suelo a través de la incorporación de materia orgánica y la formación de agregados debido a una proteína que exudan, lo que contribuye a la estructura y estabilidad del suelo, así como a la capacidad de retener agua. En la actualidad, el uso de micorrizas en sistemas de explotación agrícola está ganando popularidad y se utiliza en una variedad de cultivos. Las micorrizas son adaptables y se asocian con aproximadamente el 90% de las plantas, pudiendo prosperar tanto en ambientes húmedos como secos (Grageda, 2022)

d) Productores de fitohormonas

Estos microorganismos tienen la habilidad de producir compuestos que regulan el crecimiento de las plantas, tales como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido indolacético, etileno y ácido abscísico. Las sustancias promueven la germinación de las semillas y estimulan el crecimiento de la planta (Grageda, 2022)

El éxito de la aplicación de biofertilizantes depende del conocimiento de sus necesidades nutricionales y ambientales, así como de su interacción con otros microorganismos presentes en el suelo. Es importante comprender cómo estos biofertilizantes pueden coexistir con otros microorganismos, tanto antes como después de su aplicación, en cultivos mezclados, esto permitirá una mejor comprensión de su uso efectivo y beneficioso en la agricultura

Tabla 3*Microrganismos promotores del crecimiento*

Microorganismo	Sustancia que libera
<i>Gibberella (Fusarium moniliforme)</i>	Giberelina
<i>Anabaena, Nostoc</i>	Acido indolacético
<i>Diplodia macrospora</i>	Auxinas
<i>Phomosis</i>	Auxinas
<i>Thichoderma</i>	Giberelinas

2.4 *Bacillus subtilis* (cepa QSP713): características, mecanismos de acción y aplicaciones

La cepa *Bacillus subtilis* QST 713, actualmente reclasificada como *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* QST 713, es una bacteria Gram positiva formadora de endosporas, ampliamente distribuida en suelos agrícolas y en la rizosfera de diversas especies vegetales. Esta cepa no presenta antecedentes de patogenicidad en humanos y ha sido ampliamente estudiada por su seguridad y eficacia en sistemas agrícolas sostenibles (Bayer CropScience, 2022). Su formulación se basa en esporas viables, lo que permite su aplicación tanto vía foliar como al suelo en distintos cultivos hortícolas.

La cepa QST 713 se caracteriza por su elevada actividad antagonista frente a un amplio espectro de patógenos fúngicos y bacterianos. Entre sus principales mecanismos de acción se encuentran la competencia por espacio y nutrientes en la rizosfera, la eficiente colonización de la superficie radicular y la producción de metabolitos antimicrobianos, como péptidos cíclicos (surfactinas, iturinas y fengicinas), los cuales inhiben la germinación de esporas y el crecimiento micelial de fitopatógenos. Adicionalmente, esta cepa es capaz de inducir respuestas de resistencia sistémica en la planta hospedera, activando mecanismos de defensa asociados a la resistencia sistémica adquirida (SAR), lo que contribuye a una mayor protección frente a enfermedades de origen bacteriano y fúngico (Bayer CropScience, 2022).

Serenade® 40 está registrado para un gran número de cultivos. Según documentación de registro, la cepa QST 713 tiene aprobación para más de 30 cultivos alimentarios (frutas, hortalizas, cereales, etc.), incluyendo pimientos y otras hortalizas de solanáceas. Por ejemplo, en el listado de

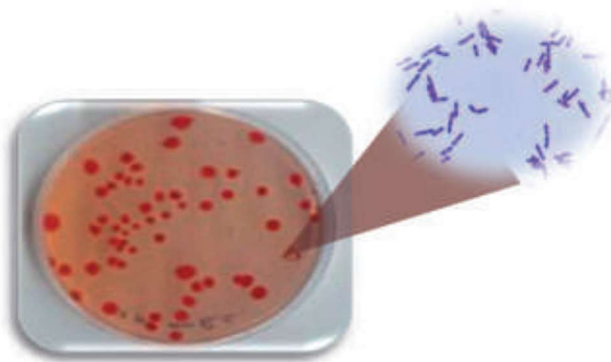
“terrestres comestibles” autorizados se incluyen explícitamente “peppers” (ají/pimiento), lo que permite su uso en el cultivo de ají. En la práctica, Serenade® se emplea en planes de manejo integrado de enfermedades, tanto de manera preventiva como curativa, aprovechando su perfil de bajo riesgo ambiental. Debido a su formulación basada en endosporas, después de la aplicación las esporas pueden permanecer viables en el suelo por varias semanas a meses antes de degradarse naturalmente (Bayer CropScience, 2022).

En síntesis, *Bacillus subtilis* QST 713 constituye un agente biológico eficaz con funciones tanto bio fungicidas como biofertilizantes, sustentadas en mecanismos de antagonismo microbiano y estimulación de las defensas vegetales. Su aplicación ha sido validada en condiciones de campo, demostrando eficacia en el control de enfermedades comunes y aportando beneficios adicionales al crecimiento y calidad de los cultivos hortícolas, incluido el ají, sin generar residuos químicos en el sistema productivo.

Los microorganismos tienen un crecimiento óptimo en un ambiente con pH neutro y pueden crecer en un amplio rango de temperaturas. Además, poseen una diversidad metabólica que les permite promover el crecimiento de las plantas, producir sideróforos y fitohormonas, y controlar patógenos. Por esta razón, son ampliamente utilizados en la elaboración de biofertilizantes (Mendez & Flores, 2017).

Figura 1

Colonias de Bacillus subtilis sembradas en medio agar rojo Congo.



Fuente: (Mendez & Flores, 2017)

Tabla 4*Taxonomía de Bacillus subtilis*

Taxonomía	
Clase	Bacilli
Orden	Bacillales
Familia	Bacillaceae
Genero	<i>Bacillus</i>
Especie	<i>Bacillus subtilis</i>

Fuente: (Mendez & Flores, 2017)

2.5 Costos de producción agrícola

En el ámbito agronómico, los costos de producción constituyen un elemento esencial para evaluar la viabilidad económica de cualquier sistema de cultivo. Estos comprenden el conjunto de recursos financieros necesarios para ejecutar las distintas etapas del proceso agrícola, desde la preparación del terreno hasta la cosecha. Se clasifican comúnmente en costos fijos, como la adquisición de herramientas, maquinaria, infraestructura o alquiler de tierras, y costos variables, que incluyen semillas, fertilizantes, mano de obra, riego, bio insumos y otros gastos que fluctúan según el volumen de producción. En estudios experimentales, como el presente, la identificación detallada de estos costos por tratamiento permite valorar con mayor precisión el impacto económico de prácticas sostenibles como la biofertilización. Asimismo, el análisis de costos es clave para determinar la eficiencia del uso de recursos en relación con la productividad alcanzada (INIAP, 2016)

2.5 Ingreso bruto y utilidad neta en producción agrícola

El ingreso bruto y la utilidad neta son indicadores fundamentales para medir el rendimiento económico de un cultivo agrícola. El ingreso bruto se define como el total de ingresos obtenidos por la comercialización de la producción, y se calcula multiplicando el rendimiento total (por ejemplo, en kilogramos o toneladas por hectárea) por el precio promedio de venta en el mercado. Por otro lado, la utilidad neta representa la ganancia real que obtiene el productor y se calcula restando los costos totales de producción al ingreso bruto. La diferencia permite evaluar si la

inversión realizada en el manejo agronómico, incluyendo la implementación de tecnologías como los biofertilizantes, genera beneficios económicos tangibles. En contextos de investigación aplicada, el análisis de estos valores facilita la comparación entre tratamientos y aporta evidencia empírica para la toma de decisiones racionales en sistemas de producción agrícola (Matheus & Lindao, 2024).

2.6 Relación beneficio/costo (R B/C)

La relación beneficio/costo (R B/C) es una herramienta clave en la evaluación económica de alternativas tecnológicas en la agricultura, ya que permite determinar la rentabilidad relativa de una inversión. El indicador se calcula dividiendo el ingreso total generado por el tratamiento entre los costos totales incurridos: $R\ B/C = \text{Ingreso Total} / \text{Costo Total}$. Un valor mayor a 1 indica que el tratamiento es económicamente rentable, mientras que un valor igual o menor a 1 señala que no genera beneficios o incluso pérdidas. En el presente estudio, este análisis cobra especial relevancia para valorar la eficacia económica de los tratamientos con biofertilizantes, los cuales pueden reducir los costos de insumos sintéticos sin comprometer el rendimiento productivo. Además, el R B/C permite comparar objetivamente las alternativas agronómicas desde una perspectiva costo-efectiva, favoreciendo la implementación de prácticas sostenibles con respaldo técnico y económico (Lara I. , 2017)

2.7 Rentabilidad en sistemas agrícolas sostenibles

La rentabilidad en sistemas agrícolas sostenibles va más allá del análisis financiero tradicional, ya que incorpora la eficiencia económica junto con los beneficios ambientales y sociales de las prácticas agroecológicas. En este enfoque, se evalúa la capacidad de un sistema productivo para generar ingresos estables en el tiempo, sin degradar los recursos naturales ni depender excesivamente de insumos externos. El uso de biofertilizantes, como los basados en *Bacillus subtilis*, representa una estrategia viable en este contexto, al reducir el uso de agroquímicos, mejorar la salud del suelo, y mantener o incluso aumentar el rendimiento de los cultivos. Por tanto, medir la rentabilidad de tratamientos sostenibles implica considerar no solo los ingresos y costos directos, sino también las externalidades positivas, como la conservación de la biodiversidad

microbiana, la resiliencia frente al cambio climático y la mejora en la inocuidad alimentaria (Rosa, 2017).

2.8 Marco legal

2.8.1 Vinculación del estudio con el ODS 2: Promoción de una agricultura sostenible para la seguridad alimentaria

El presente estudio se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2: Hambre Cero, específicamente con la meta 2.4, que busca promover sistemas de producción agrícola sostenibles y resilientes. Al evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el cultivo de ají, esta investigación propone una alternativa ecológica y económicamente viable frente al uso excesivo de fertilizantes sintéticos, cuya producción y acceso se han visto comprometidos por factores como el alza de precios y los conflictos internacionales (ONU, 2023). Al fomentar el uso de microorganismos benéficos como *Bacillus subtilis*, el estudio contribuye a una agricultura más limpia, mejora la salud del suelo, optimiza el rendimiento del cultivo y favorece la seguridad alimentaria local, fortaleciendo así la sostenibilidad productiva de pequeños y medianos agricultores en el contexto ecuatoriano.

2.8.2 Constitución del Ecuador: Artículo 281 y la soberanía alimentaria

El presente estudio se articula con el Artículo 281 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), el cual establece que *"es responsabilidad del Estado garantizar la soberanía alimentaria, promoviendo políticas redistributivas que permitan el acceso al agua, tierra, semillas y otros recursos productivos, fomentando la producción agroecológica y el uso de tecnologías limpias"* (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008). De esta manera, la investigación orientada al uso de biofertilizantes en el cultivo de ají representa un aporte concreto a este mandato constitucional, al promover una práctica agrícola que favorece la salud del suelo, reduce la dependencia de insumos químicos y mejora la calidad y sostenibilidad de la producción hortícola. Al priorizar microorganismos benéficos como *Bacillus subtilis*, se impulsa un modelo de producción más resiliente y compatible con los principios de soberanía alimentaria, que protege tanto el ambiente como la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

2.8.3 Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable

La presente investigación guarda estrecha relación con la Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable (2017), que tiene por objetivo proteger, revitalizar y promover la agrobiodiversidad, asegurando el acceso prolongado a semillas de calidad mediante el fomento de la investigación científica y la agricultura sostenible. El estudio del efecto de biofertilizantes en el cultivo de ají, especialmente mediante microorganismos beneficiosos como *Bacillus subtilis*, contribuye directamente al fortalecimiento de la agrobiodiversidad, a la sostenibilidad del sistema edáfico y al cumplimiento del mandato legal de desarrollar métodos agrícolas respetuosos con el medio ambiente y la soberanía alimentaria.

2.8.4 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA)

La investigación está directamente vinculada con la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (2009), cuya finalidad es establecer los mecanismos para que el Estado garantice la autosuficiencia de alimentos saludables, nutritivos y culturalmente pertinentes de forma sustentable. El uso de biofertilizantes, al reducir la dependencia de insumos químicos y promover prácticas agroecológicas, responde a la disposición de la ley que incentiva la producción orgánica, el desarrollo tecnológico apropiados y la innovación en el sector agroalimentario.

2.8.5 Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria

El estudio también se fundamenta en la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria (2018) que promueve la producción sostenida de alimentos sanos y de alto valor nutritivo mediante la aplicación de medidas fitozoosanitarias que incluyan el uso de productos amigables con el medio ambiente. En este contexto, la evaluación de bio fungicidas a base de *Bacillus subtilis* QST 713 se alinea plenamente con dicho marco legal, al constituir una alternativa biológica eficaz para mejorar la sanidad del cultivo de ají.

La utilización de este microorganismo contribuye a la reducción del uso de insumos químicos de síntesis, disminuyendo así el riesgo de contaminación del suelo y los posibles efectos adversos sobre la salud humana. De este modo, su aplicación responde a los principios de inocuidad alimentaria, protección ambiental y bienestar vegetal establecidos en la normativa vigente, reforzando la pertinencia técnica y legal de su inclusión dentro de sistemas agrícolas sostenibles.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se realizó en la Granja Experimental “La Pradera”, campus de la Universidad Técnica del Norte. La misma se encuentra ubicada en la provincia del Imbabura, Cantón Antonio Ante, parroquia San José de Chaltura, como se muestra en la Figura 2. La ubicación del sitio de estudio se muestra en la Tabla 5.

Figura 2

Ubicación de la Granja Experimental La Pradera

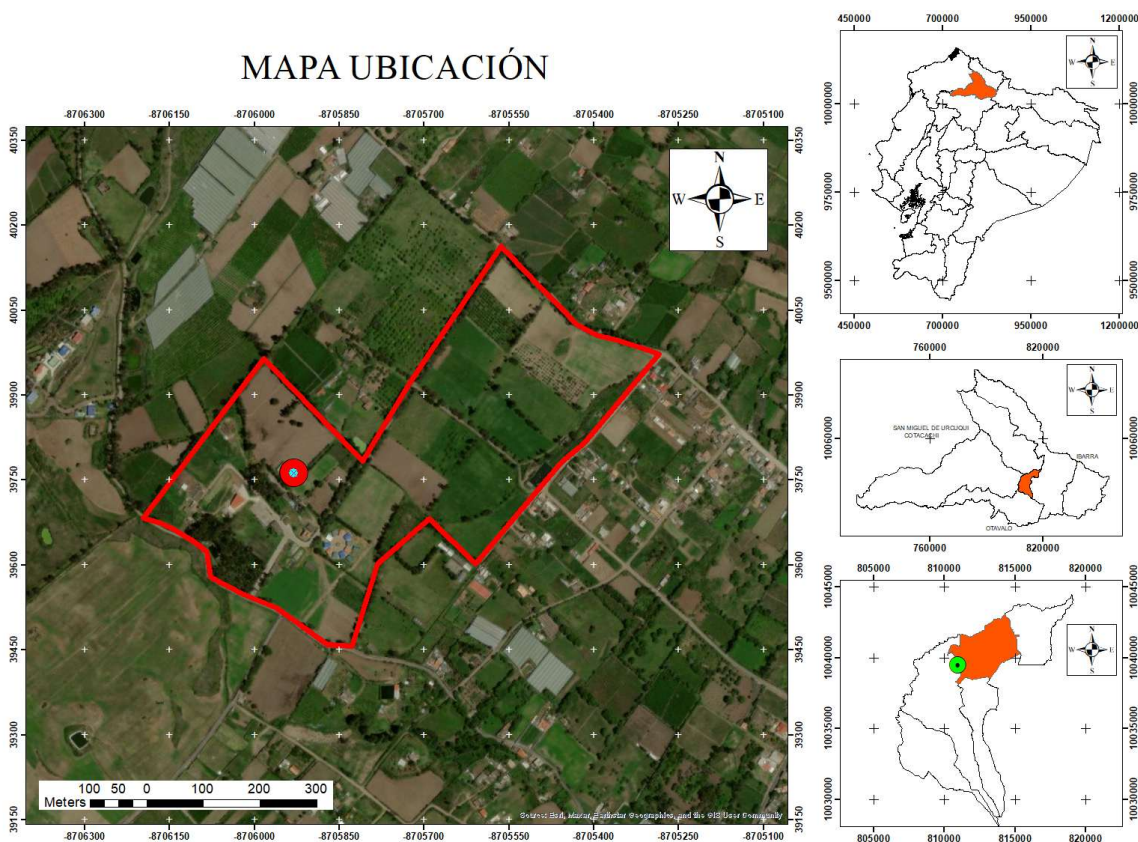


Tabla 5*Ubicación geográfica del área de estudio*

Ubicación/ Característica	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	San José de Chaltura
Lugar	Granja Experimental “La Pradera”
Latitud	00°21’22”
Longitud	78°12’24”

3.1.2 Características climáticas

La parroquia de San José de Chaltura se encuentra ubicada a 2350 msnm. Las características climáticas del lugar de estudio cuentan con una temperatura anual de 16.4 °C, precipitaciones de 750 mm distribuidas en todo el año y una humedad relativa de 69% (INAMHI, 2026).

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

Los materiales para utilizar en la presente investigación se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6*Equipos, herramientas e insumos de la investigación*

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas	Paquetes Software
Libreta de campo	Computador	Cultivo de ají	Palas	InfoStat
Estacas y piola	Impresora	Fertilizante humus	Azadón	Excel
Cinta métrica	Smartphone	Fertilizantes químicos	Martillo	Word
Mangueras de riego	Cámara	Agua	Nivel Tipo A	AutoCAD
Etiquetas plásticas	Balanzas			ArcGIS
Marcadores permanentes				
Guantes	Calculadora			
Botas				
Equipo de protección básica				
Regla milimétrica				
Jarra dosificadora				

3.3 Métodos

La presente investigación se realizó con el enfoque metodológico cuantitativo, mediante un diseño de tipo experimental.

3.3.1 Factor en estudio.

El factor es la fertilización edáfica con diferentes dosis de acuerdo a la recomendación según análisis de suelo.

3.3.2 Tratamientos

Se realizó 5 tratamientos propuestos en la Tabla 7.

Tabla 7

Tratamientos de estudio según recomendación edáfica y bioestimulante.

Tratamientos	Código
T1	100% fertilización edáfica
T2	100% edáfica + bioestimulante
T3	50% edáfico + bioestimulante
T4	100% edáfico + bioestimulante X2
T5	50% edáfico + bioestimulante X2

En el presente estudio se evaluaron cinco tratamientos experimentales, los cuales se diseñaron en función de la fertilización edáfica tradicional y la incorporación de un biofertilizante a base de *Bacillus subtilis* (sepa QST173). La formulación utilizada corresponde a una concentración de 2 ml por litro de agua, equivalente a aproximadamente 2×10^9 UFC/ml. Cada planta recibió una dosis de 50 ml de esta solución, lo que garantiza la aplicación directa de 1×10^8 unidades formadoras de colonias por planta en cada evento de biofertilización.

La aplicación del biofertilizante fue mediante drench a la raíz, complementando o reduciendo la fertilización edáfica según el tratamiento. A continuación, se describe detalladamente cada uno:

- **T1 (Testigo): 100% fertilización edáfica**

Este tratamiento consistió en la aplicación exclusiva de fertilización edáfica convencional, según la recomendación obtenida del análisis de suelos realizado previamente. No se aplicó ningún tipo de biofertilizante.

- **T2: 100% fertilización edáfica + biofertilizante (1X)**

Se aplicó la totalidad del fertilizante edáfico recomendado, complementado con la aplicación de una dosis de biofertilizante de 50 mL por planta, preparada a una concentración de 2 mL/L. La primera aplicación se realizó al momento del trasplante, y posteriormente se incorporaron aplicaciones sucesivas cada 28 días (cada cuatro semanas), de acuerdo con el protocolo de manejo establecido para el experimento.

- **T3: 50% fertilización edáfica + biofertilizante (1X)**

Se redujo al 50% la dosis del fertilizante edáfico recomendado, con el objetivo de evaluar si la aplicación del biofertilizante puede compensar parcialmente la disminución de la fertilización química. Se mantuvo la aplicación del biofertilizante mediante drench, con una dosis de 50 mL por planta, preparada a una concentración de 2 ml/l. La primera aplicación se realizó al momento del trasplante y, posteriormente, se efectuaron aplicaciones sucesivas cada 28 días (cada cuatro semanas), conforme al protocolo de manejo del experimento.

- **T4: 100% fertilización edáfica + biofertilizante (2X)**

Este tratamiento combinó la aplicación de la fertilización edáfica completa con una frecuencia doble de aplicación del biofertilizante. Cada planta recibió aplicaciones mediante drench, con una concentración de 2 mL/L y un volumen de 50 mL por aplicación. La primera dosis se aplicó al momento del trasplante y, posteriormente, se realizaron aplicaciones sucesivas cada 14 días (cada dos semanas), de acuerdo con el ciclo fenológico del cultivo y el protocolo experimental establecido.

- **T5: 50% fertilización edáfica + biofertilizante (2X)**

Finalmente, este tratamiento evaluó el efecto de una fertilización química reducida al 50%, combinada con aplicaciones foliares del biofertilizante, a una concentración de 2 mL/L y con un volumen de 50 mL por aplicación. La primera aplicación se realizó al momento del trasplante y, posteriormente, se efectuaron aplicaciones sucesivas cada 14 días (cada dos semanas), con el propósito de observar la posible sinergia entre la biofertilización y la reducción del uso de insumos químicos.

3.3.3 *Diseño experimental.*

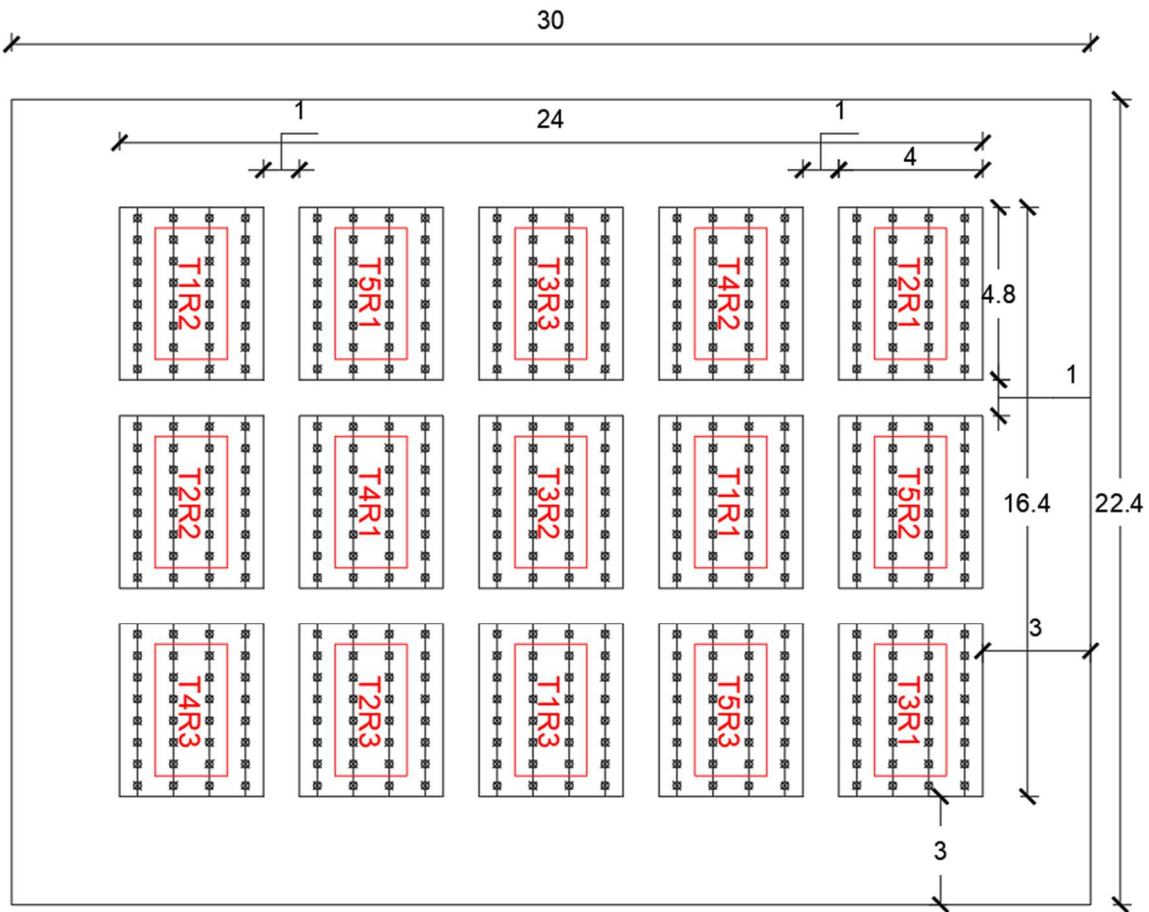
Para la presente investigación, se implementó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A.) teniendo 5 tratamientos de estudio con sus 3 repeticiones como se muestra en la Figura 3.

3.3.4 *Características del experimento.*

- | | |
|--------------------------------------|--|
| - Tratamientos: | Dosis fertilizantes edáficos más foliar. |
| - Repeticiones: | 3 repeticiones |
| - Número de unidades experimentales: | 15 |
| - Longitud del campo experimental: | 30 m |
| - Ancho del campo experimental: | 22.4 m |
| - Área total del ensayo: | 672 m ² |

Figura 3

Croquis del campo experimental (m).

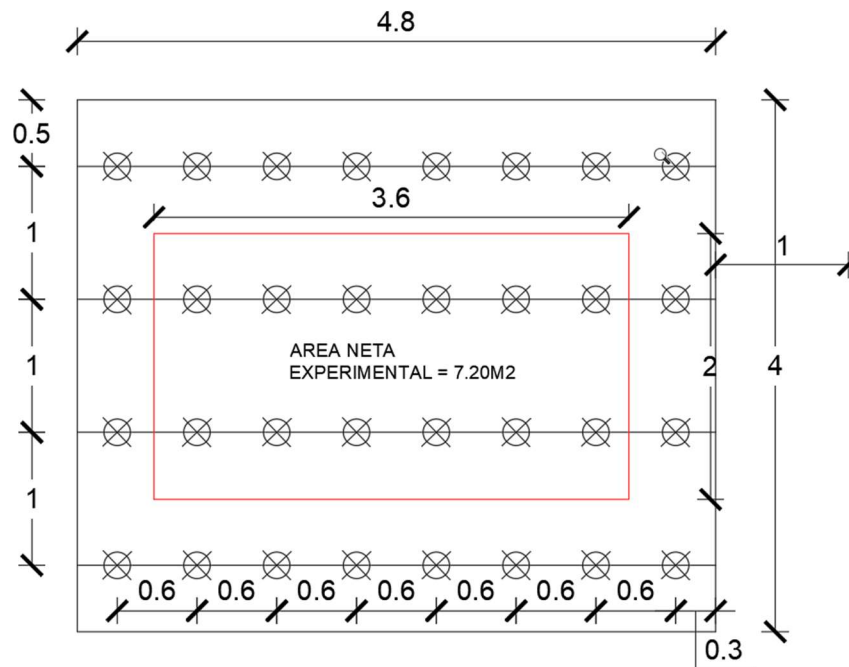


3.3.5 Características de la unidad experimental

La unidad experimental está comprendida por 12 plantas por cada repetición ubicadas en el centro de la parcela neta y detalladas en la Figura 4.

Tabla 8*Características de la unidad experimental*

Datos	Medidas
Largo de parcela	4.80 m
Ancho de parcela	4.00 m
Área total de parcela	19.20 m ²
Área neta experimental (3.6x2)	7.20 m ²
Longitud de surcos por parcela	4.80 m
Número de surcos por parcela	4
Número de plantas por surco	8
Distancia entre surcos	1.00 m
Distancia entre plantas	0.60 m
Número de plantas por parcela	32
Numero plantas estudio	12

Figura 4*Detalle de la unidad experimental (m).*

3.3.6 *Análisis estadístico.*

Para evaluar la influencia de los distintos tratamientos sobre las variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de ají, se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), considerando niveles de significancia de 0.05 y 0.01, con el fin de determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados.

Cuando el ANOVA mostró efectos significativos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para identificar las diferencias entre los tratamientos. El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión correspondiente. Previamente, se verificaron los supuestos del modelo ANOVA, tales como la normalidad de los residuos, la homogeneidad de varianzas y la independencia de los datos, mediante pruebas estadísticas y evaluaciones gráficas, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.4 Variables a evaluar

3.4.1 *Número de flores por planta durante la fase de floración.*

La variable número de flores por planta se evaluó mediante conteo manual directo, registrando el número de flores abiertas y funcionales por planta durante la fase de floración del cultivo de ají. Los registros se realizaron con una frecuencia semanal, correspondientes a tres evaluaciones consecutivas dentro de dicha fase fenológica.

Para la toma de datos se seleccionaron 12 plantas representativas de la parcela útil por unidad experimental, en las cuales se contabilizó el total de flores visibles en cada muestreo. Este procedimiento permitió la comparación del comportamiento floral entre los tratamientos bajo las mismas condiciones experimentales.

Según Cano et al. (2015) el conteo directo es una técnica recomendada en ensayos agronómicos por su sencillez y confiabilidad en el monitoreo fenológico. Asimismo, Panthee et al. (2018) señalan que el número de flores por planta constituye un indicador precoz del rendimiento potencial en cultivos hortícolas.

3.4.2 *Número total de frutos por planta cosechados.*

La variable número total de frutos por planta cosechados se determinó mediante conteo directo al finalizar el ciclo productivo del cultivo de ají (*Capsicum annuum* L.), contabilizando todos los frutos cosechados por cada planta dentro de la parcela útil. La evaluación consideró exclusivamente frutos en estado de madurez fisiológica y comercial, es decir, aquellos listos para la cosecha, descartándose frutos abortados, malformados o con daños visibles. Para garantizar la representatividad de los datos, el conteo se realizó en 12 plantas seleccionadas de manera aleatoria por parcela útil en cada tratamiento. Según Sánchez et al. (2020), esta variable constituye un indicador clave del rendimiento en cultivos hortícolas, ya que refleja la eficiencia del cuajado y el desarrollo reproductivo. Asimismo, Sánchez et al. (2017) señalan que el conteo final de frutos cosechados por planta permite una estimación precisa del comportamiento productivo de los tratamientos bajo condiciones de campo.

3.4.3 *Longitud del fruto en cosecha comercial.*

La longitud del fruto se midió en centímetros (cm) mediante el uso de una cinta métrica, tomando como referencia la distancia desde la base del pedúnculo hasta el ápice del fruto, de acuerdo con los criterios técnicos establecidos para evaluaciones morfológicas en el cultivo de ají (*Capsicum annuum* L.) (Carrillo & Vargas, 2023). Las mediciones se realizaron exclusivamente durante la primera cosecha, cuando los frutos alcanzaron el estado de madurez fisiológica y comercial, identificado por la presencia de un color de pericarpio característico de la variedad y un desarrollo uniforme del fruto, criterios comúnmente utilizados en estudios de calidad y cosecha de ajíes y pimientos (Martínez & Pérez, 2010).

Para esta variable se evaluaron 50 frutos por repetición en cada tratamiento, seleccionados de manera aleatoria a partir del total de frutos cosechados en la parcela útil. Considerando que cada tratamiento contó con tres repeticiones, se analizaron 150 frutos por tratamiento, lo que permitió disponer de una muestra amplia y representativa. La selección de este tamaño muestral respondió a criterios de representatividad estadística y reducción de la variabilidad intraparcela, ampliamente recomendados en estudios de evaluación morfológica y calidad de frutos en cultivos hortícolas. Carrillo & Vargas (2023) y Magallanes et al. (2020) señalan que tamaños muestrales iguales o superiores a 30–50 frutos por unidad experimental permiten obtener estimaciones confiables del

efecto de los tratamientos agronómicos, especialmente cuando se evalúan variables físicas del fruto.

El mismo procedimiento de selección de frutos, momento de evaluación y tamaño muestral fue aplicado para la medición del diámetro y peso del fruto, con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados morfológicos entre las variables evaluadas.

3.4.4 Diámetro del fruto en cosecha comercial.

El diámetro del fruto se determinó en centímetros (cm) mediante el uso de una cinta métrica, registrando la distancia transversal máxima en la parte media del fruto, conforme a los criterios utilizados en evaluaciones morfológicas del cultivo de ají (*Capsicum annuum* L.) (Méndez & Ligarreto, 2004).

Para esta variable se utilizó la misma metodología de selección de frutos cosechados. Hernández et al. (2010) señalan que la determinación del diámetro del fruto permite una evaluación objetiva del desarrollo lateral, parámetro de alta relevancia comercial. Asimismo, Andrade & Garcés (2019) indican que esta variable refleja tanto el potencial genético del cultivo como el efecto de los tratamientos agronómicos aplicados, especialmente aquellos orientados a mejorar la calidad física del fruto.

3.4.5 Peso individual del fruto en cosecha comercial.

El peso del fruto se determinó en gramos (g) mediante el uso de una balanza digital de precisión (± 0.01 g), registrando el peso individual de frutos cosechados en estado de madurez fisiológica y comercial del cultivo de ají (*Capsicum annuum* L.).

Las evaluaciones se realizaron exclusivamente en la primera cosecha, con el fin de garantizar la homogeneidad fisiológica del material vegetal y evitar variaciones asociadas a cosechas sucesivas. Para la toma de datos, se aplicó la misma metodología sobre selección de frutos maduros cosechados.

Andrade & Vargas (2019) y Carillo & Vargas (2023) afirman que el peso del fruto constituye un indicador fundamental de la calidad comercial y del efecto de los tratamientos agronómicos aplicados, ya que refleja tanto la eficiencia del manejo nutricional como el potencial productivo del cultivo. Estos estudios señalan que la evaluación individual del peso del fruto en muestras

representativas permite estimar con mayor precisión el impacto de prácticas como la biofertilización sobre el rendimiento hortícola.

3.4.6 *Peso total de frutos por planta cosechados.*

El peso total de frutos por planta se determinó mediante el uso de una balanza con una precisión de ± 1 g, pesando de forma conjunta todos los frutos cosechados por cada planta seleccionada dentro de la parcela útil. La evaluación se realizó durante la cosecha fisiológica y comercial, considerando únicamente frutos con desarrollo completo, homogéneo y características típicas de madurez de ají (*Capsicum annuum* L.) (Méndez & Ligarreto, 2004).

Este procedimiento permitió cuantificar de manera directa la producción total por planta, integrando tanto el número de frutos como su tamaño y peso individual. La medición del peso total de frutos por planta es una metodología ampliamente empleada en estudios de rendimiento hortícola, ya que constituye un indicador confiable del efecto de los tratamientos agronómicos, especialmente aquellos relacionados con el uso de biofertilizantes (Liuba & Mendoza, 2025). Asimismo, Terreno et al. (2023) señalan que esta variable refleja de forma integrada la eficiencia del manejo agronómico y el potencial productivo del cultivo.

3.4.7 *Rendimiento del cultivo por hectárea.*

La variable rendimiento por hectárea se calculó a partir del rendimiento promedio obtenido por planta, extrapolando los valores a la densidad de población del cultivo bajo estudio. Para ello, se multiplicó el número promedio de frutos por planta por el peso promedio de los frutos y por la densidad de plantas establecida por hectárea, como muestra en la ecuación (1) (Aguirre & Espinosa, 2017).

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{\text{peso promedio fruto}(kg) \times \text{frutos por planta} \times \text{plantas por ha}}{1000} \quad (1)$$

Este procedimiento sigue las recomendaciones de Espinosa-Sánchez et al. (2017), quienes destacan su utilidad para estimar el rendimiento real en condiciones experimentales y comerciales. Asimismo, Lohani et al. (2020) afirman que este cálculo permite comparar la productividad entre distintos tratamientos o tecnologías aplicadas al cultivo, facilitando la toma de decisiones agronómicas informadas.

3.4.8 Relación beneficio/costo del sistema de producción.

La variable relación beneficio/costo se determinó comparando el costo total de producción de cada tratamiento (incluyendo insumos, mano de obra y biofertilizante) con el ingreso bruto generado por el rendimiento obtenido por hectárea. Este índice económico se calcula dividiendo el valor monetario total de la producción entre el costo de producción, siguiendo la fórmula propuesta por Arce (2020). Una relación mayor a 1 indica que el tratamiento es rentable, mientras que valores menores a 1 reflejan pérdidas económicas. Esta variable es fundamental para evaluar la viabilidad financiera del uso de biofertilizantes como *Bacillus subtilis* en condiciones reales de cultivo. Según Campi et al. (2025), la inclusión de este análisis permite integrar la perspectiva técnica y económica, favoreciendo decisiones agronómicas más sostenibles.

3.5 Manejo específico del experimento

3.5.1 Preparación del terreno

Se realizó una labranza profunda empleando un tractor agrícola con rastra de dos manos, lo cual permitió des compactar el perfil del suelo y facilitar la incorporación de residuos vegetales, cumpliendo con las prácticas recomendadas para *Capsicum annuum* (Bosland & Votava, 2012). Posteriormente, se efectuó una roturación cuidadosa para remover terrones y malezas, garantizando un suelo fino y suelto, condiciones óptimas para el establecimiento radicular del ají (Wanj, y otros, 2019). Después, se procedió a nivelar manualmente las áreas experimentales con el objetivo de evitar zonas encharcadas y asegurar uniformidad en la siembra. Esta nivelación permitió una distribución pareja del agua de riego y optimizó la homogeneidad en el crecimiento de las plantas. Wanj et al. (2019) validó que un suelo bien preparado favoreció la aireación y redujo la compactación, aspectos que influyeron positivamente sobre el cuajado de frutos. La eliminación de malezas favoreció el trasplante de plántulas, disminuyendo la competencia por nutrientes. Asimismo, este manejo inicial contribuyó a mejorar el contenido de humedad en el suelo y su capacidad de retener agua, lo que es fundamental para el desarrollo inicial del ají.

3.5.2 Surcado

El surcado constituye una práctica esencial en el manejo inicial del cultivo de ají, ya que facilita el establecimiento ordenado de las plantas y asegura una adecuada distribución del riego. En este

estudio, se procedió al surcado de la parcela a una distancia de 1 metro entre hileras, permitiendo una correcta aireación y manejo sanitario del cultivo. Según Romero (2017) el espaciamiento adecuado entre surcos en *Capsicum* sp. contribuye a una mayor eficiencia fotosintética y a la reducción de enfermedades fúngicas por acumulación de humedad. Además, se ubicaron las plantas a 0.60 m dentro de cada hilera, lo que garantiza una densidad óptima de población. Esta distribución está alineada con las recomendaciones técnicas para cultivos intensivos de ají en sistemas semi-tecnificados (Salas, 2009). Posteriormente, las parcelas fueron correctamente identificadas por tratamiento y repetición, asegurando un registro ordenado para el análisis experimental.

3.5.3 Abonado del terreno

El abonado del terreno se realizó en función de los tratamientos definidos, considerando previamente los resultados del análisis de suelos, lo cual permitió establecer una base edáfica equilibrada para el desarrollo del cultivo. En la Tabla 9 se resumen los principales parámetros químicos del suelo antes de la fertilización, contrastados con los rangos óptimos recomendados para el cultivo de ají (*Capsicum annuum* L.).

Tabla 9

Parámetros químicos del suelo antes de la fertilización y sus rangos óptimos

Parámetro	Resultado	Rango óptimo
Materia orgánica	3.0	3 – 12%
pH (en agua)	6.8	6.0 – 7.0
Nitrógeno total	19.7	30 – 50 mg/kg
Fósforo (P)	34.8	25 – 40 mg/kg
Potasio (K)	95.0	120 – 260 mg/kg
Magnesio (Mg)	105	40 – 120 mg/kg
Calcio (Ca)	269	400 – 1000 mg/kg
Azufre (S)	3.5	10 – 15 mg/kg
Hierro (Fe)	20.1	25 – 50 mg/kg
Zinc (Zn)	1.0	1.2 – 6.0 mg/kg

Nota: Datos obtenidos del Informe de Análisis de Suelo (ver Anexo 1). Valores referenciales según estándares edáficos para hortalizas (Araujo & Benavides, 2010).

Los resultados del análisis de suelo (Tabla 9) evidenciaron deficiencias nutricionales, principalmente en nitrógeno total, potasio y niveles moderados de materia orgánica. Con base en ello, se decidió aplicar humus de lombriz como enmienda orgánica inicial, con el objetivo de mejorar la disponibilidad de nutrientes y la condición físico-química del suelo. Este abono orgánico se aplicó a razón de 16 kg por parcela, considerando su aporte en macro y micronutrientes, así como su efecto sobre la estructura y actividad biológica del suelo. En la Tabla 10 se presentan los resultados del análisis del humus utilizado para el mejoramiento del suelo.

Tabla 10

Composición del abono orgánico (humus de lombriz) utilizado en el ensayo.

Parámetro	Resultado	Unidad
Materia orgánica	47.0	%
Humedad	36.5	%
Relación C:N	17:1	—
pH	6.8	—
Conductividad eléctrica	1.93	mS/cm
Nitrógeno total	1.65	%
Fósforo (P)	0.64	%
Potasio (K)	0.36	%
Calcio (Ca)	2.90	%
Magnesio (Mg)	0.49	%
Sodio (Na)	0.09	%
Hierro (Fe)	8960	mg/kg
Manganeso (Mn)	256	mg/kg
Cobre (Cu)	27.3	mg/kg
Zinc (Zn)	77.8	mg/kg
Boro (B)	35.8	mg/kg

Nota: Datos obtenidos del Informe de Análisis de abonos orgánicos (ver Anexo 2).

A partir de los resultados del análisis de suelo (Tabla 9) y del humus aplicado (Tabla 10), se procedió a estimar la demanda nutricional del cultivo para alcanzar niveles óptimos de fertilidad en el perfil edáfico. Para ello, se calcularon las diferencias entre el rango medio de nutrientes recomendado para el cultivo de ají y los aportes ya cubiertos por el humus de lombriz, considerando la concentración y disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro y zinc. La Tabla 11 muestra de forma resumida estos cálculos, en los cuales se identificaron los requerimientos puntuales de fertilización química para cada nutriente, priorizando aquellos cuya necesidad no fue cubierta por la enmienda orgánica.

Tabla 11

Cálculo de fertilización requerida para alcanzar niveles óptimos de nutrientes en el suelo.

Nutriente	Nivel óptimo (ppm)	Rango medio (ppm)	Aporte del suelo según análisis (ppm)	Requerimiento estimado del cultivo (ppm)
Nitrógeno	30–50	40	19.7	25
Fósforo	25–40	32.5	34.8	–
Potasio	120–260	190	95	95
Magnesio	40–120	80	105	–
Calcio	400–1000	700	269	431
Azufre	10–15	12.5	3.5	9
Zinc	1.2–6	3.6	1	2.6

Nota. Datos estimados con base en el análisis de suelo (Tabla 9) y el análisis del humus de lombriz (Tabla 10), utilizando como referencia los rangos nutricionales óptimos reportados en literatura agronómica especializada para cultivos de ají (*Capsicum spp.*) (Araujo & Benavides, 2010).

Con base en el balance de nutrientes presentado en la Tabla 11, se diseñó un plan de fertilización ajustado a los requerimientos nutricionales del cultivo de ají (*Capsicum spp.*), considerando los aportes del suelo y del humus de lombriz. Las dosis de fertilización sintética fueron calculadas específicamente para la parcela neta de cada unidad experimental, con una superficie de 4.8m x 4.0 m (19.2 m²). Este esquema permitió definir la cantidad exacta de fertilizante sintético necesaria por tratamiento, priorizando aquellos nutrientes cuya disponibilidad en el suelo fue

deficiente. Como se detalla en la Tabla 12, los tratamientos T1, T2 y T4 recibieron el 100% de la dosis estándar, mientras que los tratamientos T3 y T5 se establecieron con una reducción al 50%, a fin de evaluar la respuesta agronómica frente a diferentes niveles de suplementación química y biofertilización.

Tabla 12

Dosis de fertilización sintética (g/parcela neta) aplicadas por tratamiento

Fertilizante	T1 (100%) g	T2 (100%) g	T3 (50%) g	T4 (100%) g	T5 (50%) g
Nitrato de potasio	3390	3390	1695	3390	1695
Sulfato de potasio	500	500	250	500	250
Sulfato de zinc	200	200	100	200	100
Cal agrícola	23080	23080	11540	23080	11540

3.5.4 Trasplante

El trasplante se efectuó a los 45 días después de la siembra en semillero, una vez que las plántulas alcanzaron una altura promedio de 12 a 15 cm y contaban con al menos cinco hojas verdaderas, condiciones que garantizan un adecuado establecimiento en campo definitivo. Esta etapa se realizó en horas de la tarde para minimizar el estrés hídrico y térmico en las plantas, lo cual es una práctica recomendada en cultivos de ají y otras hortalizas (Montaño & Nuñez, 2003).

El trasplante oportuno favorece una rápida adaptación de las plántulas al nuevo ambiente, permitiendo el reinicio de su desarrollo vegetativo sin demoras. Según Romero (2017), la calidad del trasplante incide significativamente en la uniformidad del cultivo y en la sincronía de floración y fructificación.

Para el establecimiento, se realizó la apertura de hoyos sobre los surcos trazados, respetando una distancia de 0,60 m entre plantas, lo cual garantiza una densidad adecuada por hectárea. Previamente, se humedeció el terreno para asegurar un mejor prendimiento radicular.

En los tratamientos T2, T3, T4 y T5 se aplicó el biofertilizante a base de *Bacillus subtilis* directamente en la zona radicular al momento del trasplante, utilizando una dosis de 50 mL de solución por planta. Esta aplicación inicial permitió iniciar la colonización temprana del sistema

radicular. Posteriormente, se realizaron aplicaciones de refuerzo: cada 28 días en los tratamientos T2 y T3, y cada 14 días en los tratamientos T4 y T5. Esta estrategia diferencial respondió al diseño experimental planteado, permitiendo evaluar el efecto de la frecuencia de aplicación del biofertilizante sobre el desarrollo del cultivo. Finalmente, durante la primera semana posterior al trasplante, se monitoreó la adaptación de las plántulas y se aplicaron riegos de soporte si fue necesario.

3.5.5 Aporque

Durante el desarrollo del cultivo de ají, se realizaron tres labores de aporque cada 30 días después de la desmalezada, con el objetivo de mejorar la fijación del tallo al suelo y promover un sistema radicular más robusto. Esta práctica cultural consistió en acumular tierra alrededor de la base de la planta, incrementando así la estabilidad frente a vientos y mejorando la oxigenación del suelo en la zona radicular.

De acuerdo con Pinto et al. (2013), el aporque es una técnica recomendada en cultivos hortícolas como el ají, ya que facilita la aireación del suelo, evita encharcamientos y reduce la proliferación de malezas en la base de la planta. Además, esta práctica favoreció la regeneración de raíces adventicias, especialmente en condiciones de suelos sueltos y bien drenados, tal como lo propone INIA-Perú (2001). El aporque también ayudó a mantener la humedad del suelo al reducir la evaporación superficial, lo cual fue fundamental durante las etapas críticas de floración y fructificación. La repetición periódica de esta labor mejoró la eficiencia del riego y la fertilización, permitiendo que el biofertilizante *Bacillus subtilis* actuara con mayor efectividad en la rizosfera.

3.5.6 Riego

El riego fue una de las prácticas fundamentales en el manejo del cultivo de ají, especialmente durante las fases de prendimiento, floración y fructificación. En esta investigación, el riego se ejecutó cada 4 a 5 días hasta asegurar el establecimiento de las plántulas, y posteriormente se aplicó semanalmente mediante el método de riego por gravedad. Esta modalidad es común en sistemas tradicionales de agricultura en zonas andinas, dado su bajo costo operativo y simplicidad técnica (Michels & Rodríguez, 2020).

No obstante, requiere una nivelación adecuada del terreno para evitar encharcamientos y asegurar una distribución equitativa del agua. De acuerdo con Borbor & Mejía (2020), el riego regular permite mantener un balance hídrico óptimo para la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la expansión celular, factores esenciales para el rendimiento del cultivo. Además, una programación eficiente del riego evita el estrés hídrico que puede causar aborto floral, deficiencia en el cuajado y menor desarrollo de los frutos. La frecuencia aplicada en este ensayo se alineó con las necesidades hídricas de ají recomendadas por Sezen et al. (2006), quienes resaltan que las fases de floración y formación de frutos son las más demandantes en agua.

3.5.7 Control de malezas

El control de malezas fue ejecutado de manera manual cada 30 días, con el propósito de evitar el uso de herbicidas que pudieran alterar negativamente el rendimiento y la sanidad del cultivo de ají. Esta decisión técnica respondió al enfoque agroecológico del ensayo, ya que el control químico puede generar residuos en el suelo y afectar la actividad de microorganismos benéficos como *Bacillus subtilis* (Pinto & Pacheco, 2015). La eliminación manual se enfocó principalmente en la zona de competencia directa con las plantas, evitando que las malezas compitieran por luz, nutrientes y agua. De acuerdo con Blanco et al. (2018), las malezas pueden reducir el rendimiento del ají hasta en un 40% si no se controlan oportunamente durante las etapas iniciales del desarrollo. Además, muchas malezas hospedan insectos y enfermedades que posteriormente se trasladan al cultivo, aumentando el riesgo de infestación. Por tal motivo, la periodicidad mensual del deshierbe permitió mantener un umbral bajo de competencia sin afectar la estructura del suelo. Esta estrategia fue complementaria a otras prácticas culturales como el aporque, que también contribuyó a limitar la emergencia de malezas.

3.5.8 Control fitosanitario

El control fitosanitario se abordó de manera preventiva, considerando el historial de plagas y enfermedades comunes en el cultivo de ají, así como las condiciones ambientales de la zona de estudio. Aunque no se implementó un sistema formal de monitoreo con registros detallados, se realizaron observaciones periódicas en campo, especialmente durante las fases críticas como la floración y el cuajado de frutos. Estas acciones permitieron tomar decisiones oportunas frente a síntomas visibles de afectación fitosanitaria.

Cuando se presentaron indicios de infestación, se aplicaron productos fitosanitarios autorizados, priorizando la rotación de ingredientes activos y respetando los intervalos de seguridad establecidos. Este enfoque permitió prevenir la aparición de resistencias en plagas y minimizar los residuos químicos en los frutos, en línea con lo planteado por Cañedo et al. (2011), quienes recomiendan estrategias integradas para preservar la sanidad en cultivos hortícolas.

3.5.9 Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual una vez que los frutos alcanzaron su madurez fisiológica, lo cual se determinó por el cambio de color característico de la variedad y la firmeza del fruto. Esta práctica es común en el cultivo de ají, ya que permite seleccionar únicamente los frutos con las características comerciales óptimas (Ayala-Villegas & Ayala-Garay, 2014). Se emplearon tijeras de poda limpias y desinfectadas para evitar daños mecánicos en las plantas y minimizar el riesgo de enfermedades. La recolección manual facilita una mejor selección de frutos y reduce pérdidas por sobre madurez o daños físicos (Elizondo-Cabalceta & Monge-Pérez, 2017). Además, se realizaron varias cosechas escalonadas, de acuerdo con el desarrollo no uniforme de los frutos en las plantas. Esto permitió maximizar el rendimiento total y asegurar una calidad homogénea en cada recolección. Todos los frutos fueron pesados inmediatamente después de la cosecha para evitar pérdidas por deshidratación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se presentan los resultados correspondientes a las características agronómicas y económicas del cultivo del ají. A continuación, se presentan sus diferentes variables analizadas en la investigación.

4.1 Número de flores por planta durante la fase de floración.

El análisis de varianza (Tabla 13) mostró diferencias altamente significativas en el número total de flores por planta entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 13

Análisis de varianza de tratamientos para la variable número de flores totales.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	172	51.33	<0.0001

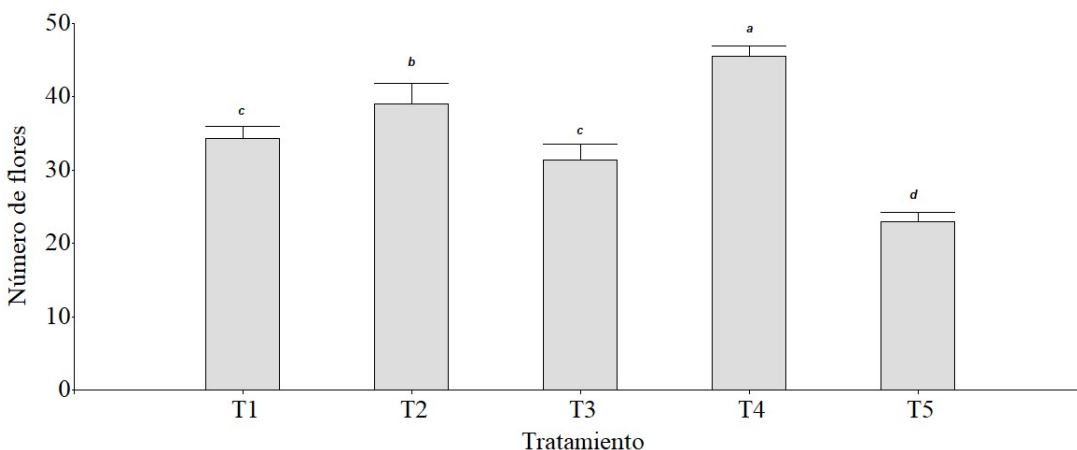
Desde el punto de vista agronómico, los resultados indican que la doble dosis de biofertilizante (T4) generó un mayor estímulo sobre la floración en comparación con la dosis estándar (T2), lo que sugiere una respuesta positiva asociada al incremento en la dosis del biofertilizante. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor población de *Bacillus subtilis* o a una mayor concentración de sus metabolitos, los cuales potencian los procesos fisiológicos relacionados con la floración, siempre que exista una base adecuada de fertilización convencional que garantice la disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

Figura 5 el tratamiento T4 (45.50 flores/planta) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 16% a T2 (39.21 flores/planta), 38.6% a T1 (testigo 34.33 flores/planta) y T3 (31.33 flores/planta) los cuales no mostraron diferencia significativa. A su vez, T4 fue superior en 97.8% a T5 (23 flores/planta). El T2 obtuvo el segundo mayor promedio de flores con diferencias significativas sobre el resto de tratamientos. A su vez fue superior en 14.2% a T1 y T3. De la misma manera 70.5% superior que T5.

Desde el punto de vista agronómico, los resultados indican que la doble dosis de biofertilizante (T4) generó un mayor estímulo sobre la floración en comparación con la dosis estándar (T2), lo que sugiere una respuesta positiva asociada al incremento en la dosis del biofertilizante. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor población de *Bacillus subtilis* o a una mayor concentración de sus metabolitos, los cuales potencian los procesos fisiológicos relacionados con la floración, siempre que exista una base adecuada de fertilización convencional que garantice la disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

Figura 5

Número promedio de flores por planta en el cultivo de ají por tratamiento.



Es importante señalar que todos los tratamientos recibieron fertilización convencional, diferenciándose únicamente en la dosis y aplicación del biofertilizante. En este contexto, los tratamientos con menor respuesta floral evidencian que *B. subtilis* actúa como un complemento a la nutrición mineral y no como un sustituto de esta. Cuando la disponibilidad de nutrientes es limitada o la dosis del biofertilizante es menor, la expresión del potencial bioestimulante se ve restringida, reflejándose en incrementos más modestos en el número de flores por planta (Castaño & Durango, 2021).

De acuerdo a los resultados obtenidos, según Lara-Capistran et al. (2020) reportaron en chile dulce (*Capsicum annuum*) en invernadero, que el tratamiento T9 que comprendía la inoculación de *B. Subtilis* en dosis 3×10^9 UFC/mL con 570 gr de lombricomposta produjo un aumento del 187% en

el número de flores por planta respecto al tratamiento solo con fertilización química. De hecho, en los tratamientos donde se aplicó *B. Subtilis*, las plantas presentaron los mayores valores en todas las variables de crecimiento evaluadas incluida la floración. Superando significativamente a las plantas con fertilizante convencional.

De igual manera Valdovinos-Nava et al. (2020) demostraron que un consorcio microbiano con incluye *B. Subtilis* permite reducir la dosis química y aun así incrementar la floración. Esta inoculación junto con 75% de fertilización química logró el mayor número de flores por planta. A los 28 días después del trasplante, este tratamiento produjo 23.3 flores/planta, significativamente más que los demás tratamientos (que promediaron entre ~11.2 y 15.7 flores). Este incremento representa un +84.7% en el número de flores por planta respecto al manejo convencional. Consecuentemente, también mejoró el rendimiento de frutos (32–46% más t/ha comparado con fertilización mineral). El estudio sugiere que incluso con menos fertilizante mineral, la presencia de *B. Subtilis* puede inducir más flores que el máximo convencional.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos en la presente investigación, ya que el tratamiento T4 (con doble dosis de *B. subtilis* más fertilización completa) alcanzó 45.5 flores por planta, superando estadísticamente a todos los demás tratamientos. A diferencia del estudio citado, donde se usó una reducción del 25% en la fertilización química, en este caso se mantuvo la dosis completa.

De manera similar, estudios en otras variedades de ají y cultivos hortícolas muestran mejoras importantes en componentes de rendimiento al usar *Bacillus*. Mejía-Bautista et al. (2022) evaluaron diversas cepas de *Bacillus* en chile habanero (*Capsicum chinense*) y encontraron que la cepa *B. Subtilis* CBMT51 aumentó el número de frutos en 79.5% y el rendimiento en 58.8% en comparación con plantas testigo sin inocular. Si bien Mejía-Bautista et al. (2022) se enfocaron en la fructificación más que en la floración, ese aumento notable en frutos sugiere indirectamente que las plantas tratadas tuvieron una floración y cuajado superiores a las del control (asumiendo que un mayor número de flores viables condujo a más frutos desarrollados). Estos resultados guardan relación con lo observado en la presente investigación, donde el tratamiento T4 (doble dosis de *B. subtilis* más fertilización completa, aplicado cada 28 días) alcanzó el mayor número de frutos por planta (94.19), superando significativamente al resto de tratamientos

Estos índices altos de floración se deben a la capacidad de *B. Subtilis* para secretar ácidos orgánicos de bajo peso molecular, los cuales facilitan la solubilización del fósforo presente en el suelo. Este macronutriente es esencial para la planta, ya que interviene en procesos clave como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la regulación del metabolismo del carbono, contribuyendo así a un crecimiento vegetal más vigoroso (Wanj & Liu, 2019). Asimismo, *B. Subtilis* sintetiza ácido indolacético (AIA), una fitohormona implicada en la elongación celular, la división y diferenciación tisular, así como en la modulación de respuestas a estímulos ambientales como la luz y la gravedad (Wagi & Ahmed, 2019). Adicionalmente, la acción antagonista de esta bacteria frente a fitopatógenos genera un efecto protector que impacta favorablemente en el desarrollo vegetal (Ndeddy & Babalola, 2016). Finalmente, las especies del género *Bacillus* se caracterizan por su alta afinidad de adhesión a las raíces y su eficiente colonización rizosférica, lo que potencia sus efectos beneficiosos sobre el crecimiento de las plantas (Allard-Massicotte & Tessier, 2016).

4.2 Número total de frutos por planta cosechados.

El análisis de varianza (Tabla 14) mostró diferencias altamente significativas en el número total de frutos por planta entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 14

Análisis de varianza de tratamientos para la variable número de frutos.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	173	9.14	<0.0001

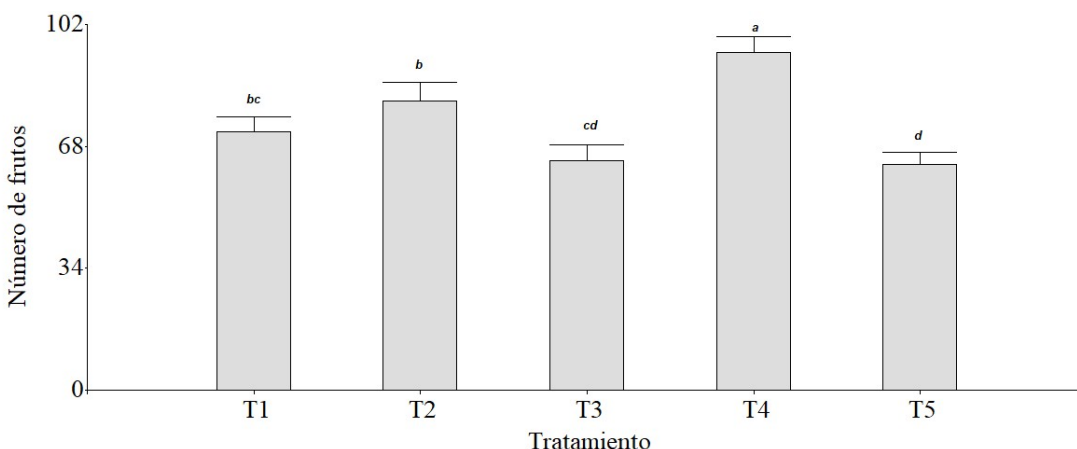
En la El uso de biofertilizantes evidencia en general que pueden influir sustancialmente en el rendimiento del ají, específicamente en el número de frutos por planta, aunque la magnitud y significancia de dicho efecto dependen de la cepa utilizada y de las condiciones de cultivo. Por ejemplo, Mejía-Bautista et al. en su estudio de inoculación de diversas cepas nativas del género *B. Subtilis* en plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en condiciones de invernadero. Demostró que la cepa *B. Subtilis* CBMT51 mostro el mayor efecto benéfico aumentando el número de frutos por planta en 79.5% y el rendimiento (peso total de fruto) en 58.8% en comparación con el control sin inocular.

Figura 6 el tratamiento T4 (94.19 frutos/planta) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 17% a T2 (80.72 frutos/planta) y 31% a T1 (testigo 72.08 frutos/planta). Entre los tratamientos T1 y T2 no tuvieron diferencia significativa. A su vez, T2 fue superior en 26% a T3(64.03 frutos/planta). De igual manera entre T1 y T3 son similares estadísticamente. A su vez T3 mantiene homogeneidad con T5 (62.92 frutos/planta). El mismo es inferior en 50% a T4.

El uso de biofertilizantes evidencia en general que pueden influir sustancialmente en el rendimiento del ají, específicamente en el número de frutos por planta, aunque la magnitud y significancia de dicho efecto dependen de la cepa utilizada y de las condiciones de cultivo. Por ejemplo, Mejía-Bautista et al. (2022) en su estudio de inoculación de diversas cepas nativas del género *B. Subtilis* en plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en condiciones de invernadero. Demostró que la cepa *B. Subtilis* CBMT51 mostro el mayor efecto benéfico aumentando el número de frutos por planta en 79.5% y el rendimiento (peso total de fruto) en 58.8% en comparación con el control sin inocular.

Figura 6

Número de frutos por planta en el cultivo de ají por tratamiento.



De igual manera, Cárdenas et al. (2023) en su investigación de Inoculación con la cepa *Bacillus Subtilis* LPM1 (aislada previamente de la rizosfera y caracterizada como PGPR) en tres variedades comerciales de pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. *annuum*, tipos de fruto dulce de colores). Mostró efectos positivos en el vigor inicial de las plantas (mayor diámetro de tallo, área foliar y biomasa en etapas vegetativas tempranas). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el número de frutos ni en el rendimiento de fruto entre plantas inoculadas y controles en ninguna de las tres variedades evaluadas bajo la casa-sombra. En otras palabras, a pesar de mejorar el crecimiento vegetativo, la bacteria *no logró aumentar la fructificación* en comparación con las plantas no inoculadas en esas condiciones. Los análisis de 15 cosechas sucesivas confirmaron que el número total de frutos y el peso total por planta fueron estadísticamente similares con y sin *B. Subtilis* LPM1. En contraste, en la presente investigación, donde se combinó *B. subtilis* con fertilización mineral completa aplicada cada 28 días, el tratamiento T4 logró un incremento significativo en el número total de frutos por planta (94.19), lo que refuerza la idea de que el efecto de *B. subtilis* es dependiente de un manejo nutricional adecuado para potenciar la fructificación.

Gou et al. (2020) encontraron que biofertilizantes a base de *Bacillus* y otras rizo bacterias benéficas mejoraron significativamente la producción de fruto en chile (*Capsicum annuum*). En su trabajo, un consorcio integrado de cepas (incluyendo *B. Subtilis* y *B. amyloliquefaciens*) logró los mayores incrementos en altura de planta, diámetro de tallo, contenido de clorofila y, especialmente,

rendimiento de frutos, en comparación con el control y con un biofertilizante comercial. Los autores destacan que el tratamiento integrado aumentó de forma significativa la producción de chiles, acompañada de mejoras en la calidad (más azúcares solubles y vitamina C) y en la actividad microbiana del suelo.

Por su parte, Adame-García et al. (2024) evaluaron bioestimulantes microbianos en chile jalapeño (*Capsicum annuum*, variedad Dante) en condiciones de macro túnel. Aunque en ese estudio no se reportó directamente el conteo de frutos por planta, sí se observó que el tratamiento con un formulado que contenía *Bacillus* spp. logró la mayor producción total de fruto por parcela, con un aumento del 28.1% en peso cosechado respecto al control sin biofertilizante.

4.3 Longitud del fruto en cosecha comercial.

El análisis de varianza (Tabla 15) mostró diferencias altamente significativas en el largo del fruto de ají entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 15

Análisis de varianza de tratamientos para la variable largo del fruto de ají.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	743	34.29	<0.0001

En la Figura 7 el tratamiento T4 (15.67 cm.) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 8% a T2 (14.45 cm.). Entre los tratamientos T1 (13.32 cm.), T3 (13.13 cm.) y T5 (13.00 cm.) no tuvieron diferencia significativa. A su vez, T4 muestra una variación considerable de 19% con el grupo de tratamientos nombrado. De igual manera manifiesta una diferencia sustancial respecto a la variable T2 donde son inferiores por un 10%.

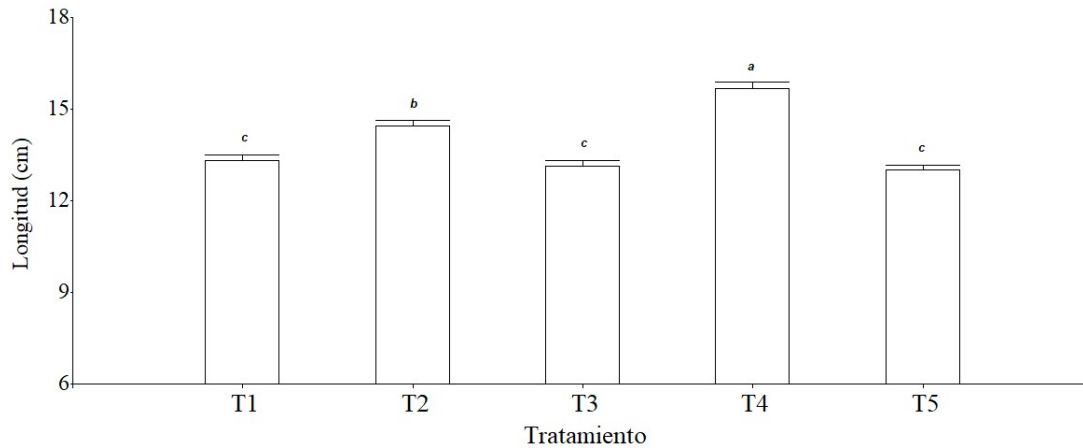
Los resultados obtenidos en el presente ensayo muestran incrementos significativos en la longitud del fruto del ají (*Capsicum annuum*) cuando se aplicó *Bacillus subtilis* a través del biofertilizante, especialmente en los tratamientos T2 y T4.

Gashash et al. (2022), en su estudio sobre tomate y consorcio bacteriano con *B. subtilis*, evaluaron el efecto de la inoculación conjunta de *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* sobre el desarrollo del fruto. Este trabajo mostró que la longitud del fruto en tomate aumentó un 50 % respecto al control.

La producción de fitohormonas como auxinas y citoquininas fue clave para estimular la elongación celular.

Figura 7

Longitud del fruto de ají (cm) por tratamiento.



Lara-Capistrán et al. (2020), trabajando con chile dulce y aplicación de *B. subtilis* más lombricomposta, identificaron un aumento del 28,6% en la longitud del fruto respecto al tratamiento sin inoculación. La combinación con materia orgánica favoreció la retención hídrica, el aporte de nutrientes y la producción de AIA.

Espinoza-Jimenez (2021) al estudiar chile habanero con rizobacterias (*B. subtilis* y *Azospirillum*), evidenciaron un incremento del 35 % en la longitud del fruto respecto al tratamiento sin inoculación. Además, reportaron una mejor uniformidad y grosor de la pared del fruto. Se utilizaron suelos francos con riego controlado, lo cual eliminó el estrés abiótico como variable. Los investigadores señalaron que el aumento de longitud también se tradujo en una mejor uniformidad del fruto, lo cual es importante para su comercialización. Además, se reportó una mejora significativa en el grosor de pared del fruto.

Jha y Saraf (2015), en su investigación en berenjena (*Solanum melongena*), se aplicaron cepas nativas de *B. subtilis* bajo un esquema de manejo orgánico. La longitud de fruto aumentó un 22% respecto al tratamiento testigo. A pesar de ser una especie diferente, comparte exigencias morfológicas y fisiológicas con el ají. Los autores destacaron que la producción de sideróforos y fosfatasa por parte de las bacterias jugó un papel clave en el desarrollo del fruto. La relación entre

colonización radicular y aumento en parámetros reproductivos fue altamente significativa ($r = 0.87$).

Wu et al. (2015), al evaluar pimientos con fertilización orgánica y *Bacillus spp*, los resultados mostraron un aumento del 30% en la longitud promedio de los frutos. El biofertilizante fue aplicado vía edáfica, en suelos ligeramente alcalinos, replicando condiciones similares a las de Ecuador. El efecto se atribuyó a la sinergia entre nutrientes orgánicos y metabolitos bacterianos. Los investigadores concluyeron que la bioestimulación fue más eficiente en las primeras etapas del desarrollo floral. El efecto fue atribuido a la sinergia entre biofertilizantes y nutrientes orgánicos. También resaltaron que la mayor longitud fue acompañada de una mejor firmeza y peso promedio de los frutos. En ese sentido, las condiciones nutricionales y microbianas optimizadas generaron frutos de mejor valor comercial.

García et al. (2024), en chile jalapeño tratado con *B. subtilis* y compostaje, este estudio evidenció un incremento del 42% en la longitud de fruto bajo tratamiento con *B. subtilis* combinado con compostaje enriquecido. El ensayo incluyó dos ciclos agrícolas consecutivos, fortaleciendo la consistencia de los resultados. Los autores resaltaron el papel del ácido indolacético y el ácido giberélico en la activación de genes responsables de la elongación celular. Además, se evidenció una mejora en la homogeneidad y peso unitario del fruto.

González-Gómez et al. (2024), al trabajar con pimiento morrón y bio productos con *Bacillus subtilis*, se reportaron aumentos de entre 25 y 34% en la longitud del fruto, dependiendo de la formulación y vía de aplicación. El uso combinado con bio estimulantes foliares maximizó el efecto. El análisis hormonal mostró una elevación en los niveles endógenos de auxinas y citoquininas, lo que explica el desarrollo diferencial observado.

4.4 Diámetro del fruto en cosecha comercial.

El análisis de varianza (Tabla 16) mostró diferencias altamente significativas en el diámetro de frutos de ají entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 16

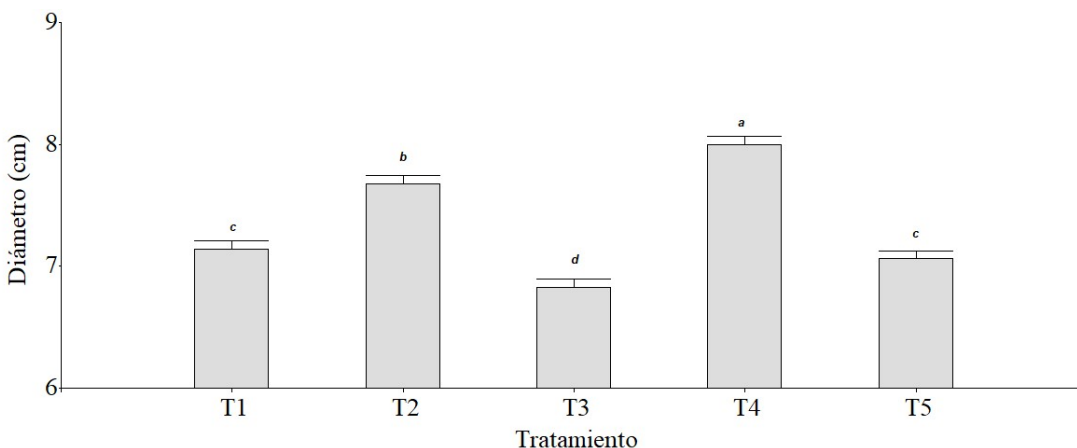
Análisis de varianza de tratamientos para la variable diámetro del fruto de ají en cm.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	743	51.50	<0.0001

En la Figura 8 el tratamiento T4 (8.00 cm.) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 4% a T2 (7.68 cm.) y 12% a T1 (7.14 cm.). Entre los tratamientos T1 (7.14 cm.) y T5 (7.06 cm.) no tuvieron diferencias significativas. A su vez, este grupo de tratamientos es inferior en 8% a T2 y 13% a T4 respectivamente. La reducción del 50% de fertilización muestra una variación considerable entre T2 y T3, siendo superior en 12%. De la misma manera T5 (7.06 cm.) es inferior en 13% a T4 y a su vez, es mayor en 17% que T3.

Figura 8

Diámetro del fruto de ají (cm) por tratamiento.



De acuerdo con Valdosvinos et al. (2020), el diámetro del fruto es un indicador clave de calidad comercial en cultivos de ají, al estar relacionado con el calibre del producto y su aceptación en el mercado. en el presente ensayo, el tratamiento T4 presentó los valores más altos de diámetro de fruto (8.00 cm), mostrando diferencias estadísticamente significativas frente al testigo (T1) y los tratamientos con fertilización reducida. Este hallazgo coincide con lo reportado por Gambia et al. (2020), quienes observaron un incremento notable del diámetro en frutos de *Capsicum annum* tratados con cepas de *Bacillus subtilis*, atribuido a una mejora en la asimilación de nutrientes y el equilibrio hormonal inducido por la bacteria.

Asimismo, Zapata-García et al. (2024) demostraron que el uso de PGPR como *Bacillus* spp. puede estimular la actividad de fitohormonas como el AIA (ácido indolacético), lo que incide en el engrosamiento del pericarpio y el desarrollo celular transversal, factores directamente relacionados con el diámetro del fruto. Por otro lado, aunque Satyal et al. (2024) no midieron específicamente esta variable, sus resultados evidenciaron un incremento significativo en el rendimiento general y características morfológicas del fruto bajo tratamientos con *Bacillus subtilis* y fertilización reducida, sugiriendo un efecto positivo también sobre el tamaño de los frutos.

De igual manera, en el estudio realizado por Sini et al. (2024) investigaron en invernadero la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares y bacterias *B. Subtilis* (PGPR) en pimiento. Entre las mezclas bacterianas estudiadas, el Tratamiento B fue *B. Subtilis* + *B. amyloliquefaciens*. Mostraron que aumentó significativamente el ancho del fruto. En las condiciones con fertilización orgánica, el ancho de fruto fue 35,66 mm en Bacillus B frente a 32,16 mm en el control sin inoculación sien su aumento 11%.

4.5 Peso individual del fruto en cosecha comercial.

El análisis de varianza Tabla 17 mostró diferencias altamente significativas en el peso del fruto de ají entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 17

Análisis de varianza de tratamientos para la variable peso en gramos(g) del fruto de ají.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	743	30.28	<0.0001

En la Diversos estudios han demostrado que la inoculación con *Bacillus subtilis* mejora significativamente el peso promedio de los frutos en ají. Por ejemplo, Meena et al. observaron que la aplicación de *B. subtilis* a razón de 1.5 L/ha incrementó el peso promedio del fruto en un 16.8% en comparación con el control sin inoculación, lo cual se atribuyó a una mayor absorción de nutrientes y síntesis de fitohormonas como el AIA .

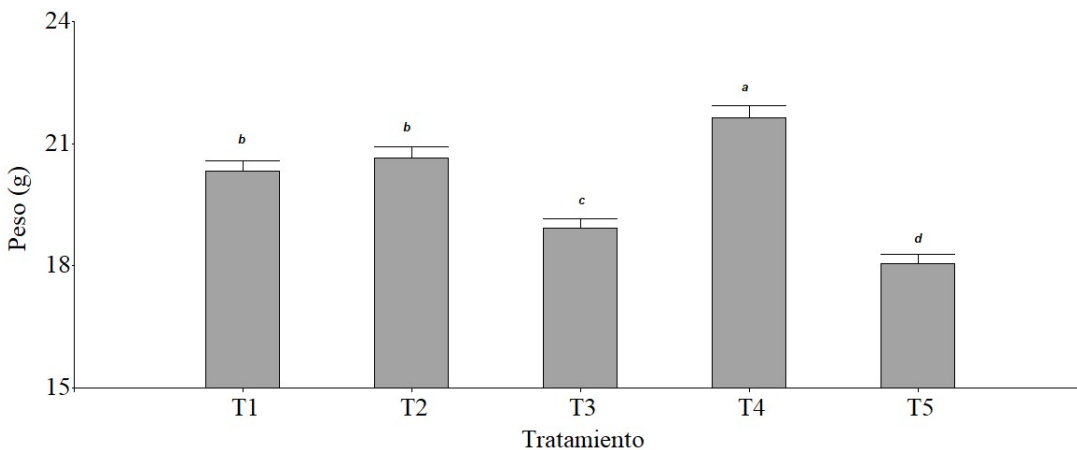
Figura 9 el tratamiento T4 (21.64 g) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 6% a T2 (20.65 g) y T1 (20.32 g) quienes no presentaron diferencia significativa. A su vez, este grupo mostro diferencias estadísticas siendo superior en 8% a T3 (18.92 g) y 14%

a T5 (18.05 g). De la misma manera T4 muestra una diferencia considerable de 14% con T3 y 20% con T5.

Diversos estudios han demostrado que la inoculación con *Bacillus subtilis* mejora significativamente el peso promedio de los frutos en ají. Por ejemplo, Meena et al. (2023) observaron que la aplicación de *B. subtilis* a razón de 1.5 L/ha incrementó el peso promedio del fruto en un 16.8% en comparación con el control sin inoculación, lo cual se atribuyó a una mayor absorción de nutrientes y síntesis de fitohormonas como el AIA .

Figura 9

Peso promedio del fruto (g) por tratamiento.



Diversos estudios han demostrado que la inoculación con *Bacillus subtilis* mejora significativamente el peso promedio de los frutos en ají. Por ejemplo, Meena et al. (2023) observaron que la aplicación de *B. subtilis* a razón de 1.5 L/ha incrementó el peso promedio del fruto en un 16.8% en comparación con el control sin inoculación, lo cual se atribuyó a una mayor absorción de nutrientes y síntesis de fitohormonas como el AIA.

De forma similar, Banerjee et al. (2011) reportaron que la combinación de *B. subtilis* con otras bacterias como *Azospirillum* y *Pseudomonas* promovió un peso de fruto significativamente mayor, alcanzando hasta 22.6g por unidad frente a 16.5g en el tratamiento testigo, reflejando una mejora en la eficiencia fisiológica del cultivo.

Mejía-Bautista et al. (2022) estudiaron *Capsicum chinense* (“habanero”) en Yucatán usando cuatro cepas de *Bacillus*, destacando *B. subtilis* CBMT51. En condiciones de invernadero, CBMT51

aumentó significativamente el número de frutos y el rendimiento del cultivo en un 79.5% y 58.8%, respectivamente, respecto al testigo. Es decir, la cepa CBMT51 mejoró dramáticamente el peso total de cosecha y el tamaño de fruto en chile habanero.

En condiciones de campo abierto, Délano-Frier et al. (2024) demostraron que *B. subtilis* LPM1 puede aumentar el rendimiento de pimiento jalapeño (*C. annuum*). En su experimento de bioinoculación, las plantas inoculadas con LPM1 produjeron un rendimiento un 56% mayor que las plantas testigo. Este resultado indica que, bajo ciertas condiciones, *B. subtilis* LPM1 sí promueve el crecimiento y la producción de frutos en ají.

Por otro lado, Valdovinos-Nava et al. (2020) documentaron que el uso de fertilización biológica basada en cepas de *Bacillus* aumentó el peso total del fruto por planta hasta en un 21% respecto al fertilizante químico convencional. De manera similar, en un experimento bajo condiciones de campo, Farzana et al. (2022) identificaron que la co-aplicación de *B. subtilis* con *Trichoderma harzianum* produjo frutos con peso promedio superior a 20 g, en contraste con 14 g en el tratamiento sin biofertilizantes.

Por último, Cárdenas-Flores et al. (2023) analizaron el efecto de *B. subtilis* LPM1 en pimiento dulce (*Capsicum annuum*) bajo invernadero con malla sombra. Ellos observaron que, aunque LPM1 mejoró características vegetativas (diámetro de tallo, biomasa), no produjo diferencias significativas en el número de frutos ni en el rendimiento total respecto al control. La ausencia de efecto sobre el rendimiento respalda la idea de que *B. subtilis* no siempre traduce crecimiento vegetal en mayor producción de frutos. Es posible que, como ellos sugieren, el beneficio de LPM1 se limite a etapas tempranas o a crecimiento vegetativo sin afectar el cuajado o desarrollo del fruto.

4.6 Peso total de frutos por planta cosechados.

El análisis de varianza (Tabla 18) mostró diferencias altamente significativas en el peso total de frutos de ají entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 18

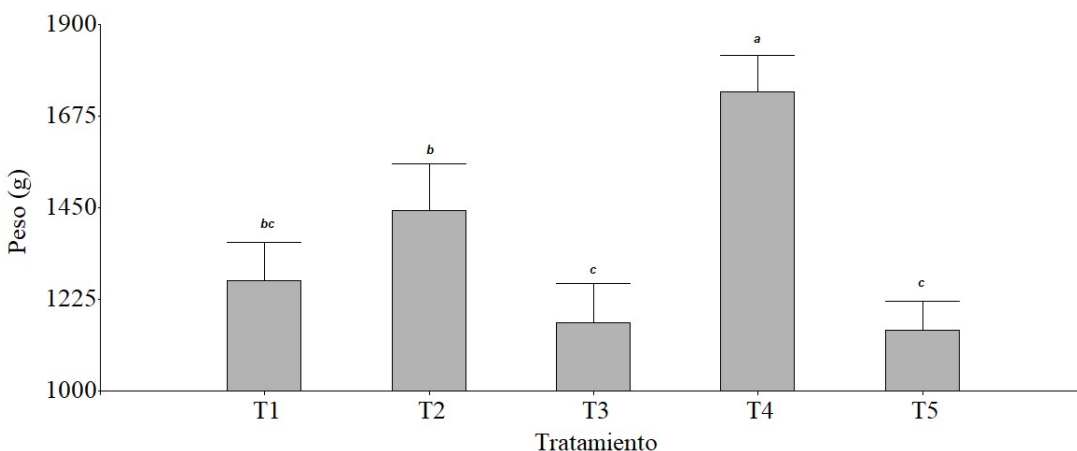
Análisis de varianza de tratamientos para la variable peso total en gramos de fruto de ají

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	173	6.49	<0.0001

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el tratamiento T4 (1734.22 g/planta) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 20% a T2 (1442.67 g/planta) y 36% a T1 (testigo 1270.56 g/planta). Entre los tratamientos T1 y T2 no tuvieron diferencia significativa. A su vez, T2 fue superior en 24% a T3(1166.67 g/planta). De igual manera entre T1 y T3 son similares estadísticamente. A su vez T3 mantiene homogeneidad con T5 (1148.68 g/planta). El mismo es inferior en 51% a T4.

Figura 10

Peso total de frutos de ají (g) por planta y por tratamiento.



El ensayo mostró que la combinación adecuada de fertilización con *Bacillus subtilis* incrementó significativamente el peso total de frutos por planta en ají (*Capsicum sp.*). Resultados similares se han reportado en la literatura científica reciente. Por ejemplo, Gou et al. (2020) encontraron que biofertilizantes a base de bacterias benéficas (incluyendo cepas de *Bacillus*) mejoraron el crecimiento y el rendimiento de chile (*Capsicum annum*), incrementando tanto la producción de fruto como la calidad nutricional. De igual manera, Liang et al. (2022) observaron en pimiento dulce que la aplicación mensual de una cepa de *B. subtilis* elevó significativamente el rendimiento y el peso promedio de los frutos respecto al control sin inocular.

No obstante, algunos estudios sugieren que la magnitud del beneficio depende de la cepa de *Bacillus* y las condiciones del cultivo. Hussein et al. (2023) reportaron en Egipto que bajo presión de mildiu, *B. subtilis* por sí solo logró 254 g/planta de chile, un rendimiento menor en comparación con otras bacterias benéficas evaluadas (por ejemplo, *B. thuringiensis* alcanzó ~598 g/planta).

Aunque *B. subtilis* mejoró el rendimiento frente al control, no fue la cepa más efectiva en ese caso, posiblemente debido a diferencias en la agresividad del patógeno o en la eficacia de colonización de la rizósfera.

Por otro lado, Valdovinos-Nava et al. (2020) documentaron que el uso de fertilización biológica basada en cepas de *Bacillus* aumentó el peso total del fruto por planta hasta en un 21% respecto al fertilizante químico convencional.

El estudio por Gómez-Raymundo et al. (2025) evaluaron en invernadero el ají “Soledad” (*Capsicum annuum*), aplicando quitosano (Q), *B. subtilis* (BS) o la combinación Q+BS. Encontraron que quitosano solo produjo el mayor rendimiento de frutos 246.86 ± 10.66 g/planta y la mayor cantidad de fruto. La combinación Q+BS logró un rendimiento similar 228.04 ± 41.76 g/planta, mientras que *B. subtilis* solo produjo 201.37 ± 15.39 g/planta, sin diferencia significativa respecto al testigo. Es decir, el tratamiento con *B. subtilis* no superó al testigo en aumentar el peso total de fruto. En nuestro ensayo de ají, el patrón fue semejante al tratamiento T5, donde solo aplicación de *B. Subtilis* sin una adecuada fertilización no tiene diferencias significativas respecto al testigo. Sin embargo, Gómez-Raymundo et al. (2025) detectaron mejoras en la calidad de fruto (mayor tamaño y grosor de exocarpo) con Q+BS, algo que no se midió en nuestro caso.

Incluso en ensayos de campo abiertos, las aplicaciones de *B. subtilis* han mostrado beneficios comparables o superiores a los tratamientos químicos. Un estudio realizado por Bora et al. (2024) en a India. Probó una formulación líquida de *B. subtilis* cepa LB22 para el control de enfermedades en chile picante, y encontró como efecto colateral positivo un incremento de 15.45% en el rendimiento de fruto en dos años de evaluación, en comparación con el manejo químico estándar. Es decir, además de reducir la incidencia de bacteriosis y antracnosis, el bioinoculante con *B. subtilis* superó a los químicos en producción de chile, reflejando más frutos cosechados.

4.7 Rendimiento del cultivo por hectárea

El análisis de varianza Tabla 19 mostró diferencias altamente significativas en el rendimiento del cultivo (t/ha) en el cultivo de ají entre los cinco tratamientos evaluados.

Tabla 19

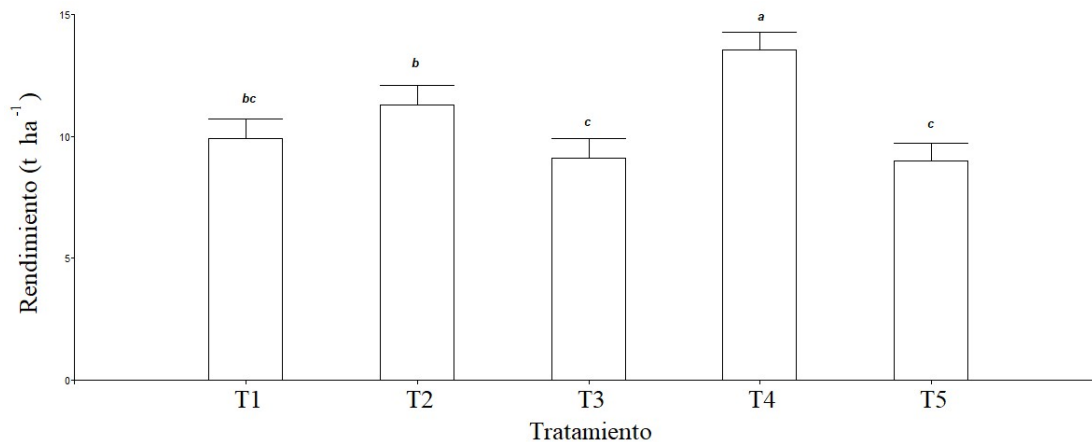
Análisis de varianza de tratamientos para la variable rendimiento de cultivo (ton/ha) en ají.

Fuente de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	8	5.91	<0.0001

En la Figura 11 el tratamiento T4 (13.55 t/ha) superó significativamente a todos los demás. El mismo fue superior en un 20% a T2 (11.27 t/ha) y 36% a T1 (20.32 g.) quienes no presentaron diferencia significativa. Para los tratamientos T1, T3 (9.11t/ha) y T5 (8.97 t/ha) los resultados no muestran una variación relevante. Sin embargo, T2 revela un cambio estadísticamente siendo superior en 25% a T3 y T5. A su vez, este grupo de tratamientos es inferior en 45% a T4 respectivamente.

Figura 11

Rendimiento del cultivo de ají (t/ha) por tratamiento.



La utilización de biofertilizantes ayuda al rendimiento total de los cultivos. Por ejemplo, Kaushal et al. (2019) aplicaron un consorcio de *B. subtilis* + *B. pumilus* y observaron un incremento del 379,4% en rendimiento total de pimiento morrón en campo.

Gashash et al. (2022) demostraron que la inoculación conjunta de *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* aumentó en un 76% el número de frutos por planta y en un 33% el peso medio de fruto en tomate, traduciéndose en mayor rendimiento final. Además, reportaron incrementos de 50% en altura de fruto y 50% en diámetro. Obteniendo 29.6 toneladas por hectárea, equivalente a un aumento del 75.9%, frente al testigo.

El rendimiento en el estudio de Lara-Capistrán et al. (2020), en invernadero en el cultivo de chile dulce para el tratamiento de *B. Subtilis* es de 33.8 t/ha, siendo 75% superior al tratamiento testigo. Cuando se realiza la comparación con estudios en otras solanáceas, como el tomate (*Solanum lycopersicum*), los valores son similares: Gashash et al. (2022) demostraron que la inoculación conjunta de *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* aumentó en un 76% el número de frutos por planta y en un 33% el peso medio de fruto en tomate, traduciéndose en mayor rendimiento final. Además, reportaron incrementos de 50% en altura de fruto y 50% en diámetro. Obteniendo 29.6 t/ha, equivalente a un aumento del 75.9%, frente al testigo.

Otra comparación relevante es el estudio en chile habanero Mejía-Bautista et al., (2022), que reportó mejoras de rendimiento del 58,8% al usar cepas nativas de *B. subtilis*, proporción cercana a la obtenida con lombricomposta más *B. subtilis*, considerando las condiciones específicas del ensayo. Aunque estos estudios varían en diseño experimental, ambiente y genotipo, los incrementos porcentuales muestran convergencia: en todos los casos, el uso de *B. subtilis* como biofertilizante produce mejoras sustanciales en el rendimiento del cultivo.

Finalmente, en el estudio de Maslennikova et al. (2023) aplicaron una mezcla de *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* contra Rhizoctonia en papa. Como resultado, el rendimiento se incrementó en 8,2 t/ha respecto al testigo, junto con un 16% más de tubérculos grande. Este aumento en t/ha corrobora que consorcios de Bacillus pueden mejorar sustancialmente el rendimiento en otros cultivos de Solanaceae, de magnitud similar a los obtenidos en pimiento.

4.8 Relación beneficio/costo del sistema de producción

El análisis de los costos económicos permitió identificar diferencias relevantes entre los tratamientos evaluados, tanto en el nivel de inversión requerida como en la rentabilidad obtenida. En la Tabla 20 se presentan los costos totales de producción por hectárea, donde se observa que el tratamiento T4 registró el mayor costo (3 182.54 USD/ha), debido principalmente a la aplicación completa de fertilización (100%) y a la doble dosis de biofertilizante (2X). En contraste, los tratamientos T3 y T5, que incorporaron una reducción del 50% en la fertilización, presentaron los costos más bajos, con valores de 2 668.17 y 2 811.05 USD/ha, respectivamente.

La evaluación descriptiva de la relación beneficio/costo (B/C) permitió identificar diferencias en la eficiencia económica entre los tratamientos evaluados. En la Tabla 20, el tratamiento T4 registró

el mayor índice B/C (2,13), evidenciando una mayor eficiencia en la conversión de la inversión en beneficio económico. El valor de B/C del tratamiento T4 fue 24,56% mayor respecto a los tratamientos T1 y T3 (B/C = 1,71), 15,14% superior en relación con el tratamiento T2 (B/C = 1,85) y 33,96% superior frente al tratamiento T5 (B/C = 1,59). En términos prácticos, el tratamiento T4, indica que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno bruto aproximado de 2,13 USD, es decir, una ganancia neta cercana a 1,13 USD.

Tabla 20

Costos totales de producción por hectárea según tratamiento.

T.	Rendimiento (t/ha)	Ingreso bruto (USD/ha)	Costo total (USD/ha)	R B/C
T1	9.93	4 965	2 896.78	1.71
T2	11.27	5 635	3 039.66	1.85
T3	9.11	4 555	2 668.17	1.71
T4	13.55	6 775	3 182.54	2.13
T5	8.97	4 485	2 811.05	1.59

En contraste, (Vergara, 2023) reportó una baja rentabilidad económica en un ensayo realizado en pimiento (*Capsicum annuum*) bajo la aplicación de diferentes fertilizantes orgánicos, entre ellos biol foliar, algas diatomeas y suero de leche. En dicho estudio, el tratamiento más favorable, correspondiente a la aplicación de biol a 40 L/ha, alcanzó una relación beneficio/costo aproximado de 0.56, lo que indica que por cada dólar invertido se recuperaron únicamente 0.56 dólares, evidenciando una pérdida económica. Asimismo, el tratamiento testigo con fertilización química convencional (18 kg N + 35 kg K/ha) presentó una relación B/C inferior a la unidad ($\approx 0,48$), confirmando que, bajo esas condiciones productivas, ninguno de los esquemas evaluados resultó económicamente viable.

La comparación con estos resultados permite contextualizar el desempeño económico del tratamiento T4 del presente estudio, que alcanzó una relación B/C de 2.13, valor superior al reportado por (Vergara, 2023). Esta diferencia puede atribuirse al tipo de manejo nutricional

aplicado, ya que se evaluó fertilizantes orgánicos sin integración microbiana, a su vez la incorporación de una fertilización integrada con fertilización edáfica, humus y *Bacillus subtilis*, favoreciendo una mayor disponibilidad y absorción de nutrientes minerales en la rizosfera, lo que se tradujo en un mejor rendimiento y una mayor eficiencia económica.

Así mismo Villagómez (2022) evaluó el desempeño económico del cultivo de ají (*Capsicum* spp.) bajo un manejo químico convencional intensivo en la provincia del Guayas, Ecuador, reportando relaciones B/C cercanas a 2.5 en los tratamientos más eficientes. En particular, la aplicación de 350 kg N/ha + 100 kg K/ha generó un ingreso bruto aproximado de 6 188 USD/ha, con una relación B/C de 2.5, mientras que un tratamiento con 250 kg N/ha + 100 kg K/ha alcanzó ingresos de 6 157 USD/ha y una relación B/C de 2.4. Estos resultados evidencian que la fertilización química intensiva puede alcanzar niveles elevados de rentabilidad; sin embargo, dicha estrategia implica una mayor dependencia de insumos sintéticos y costos asociados, además de posibles impactos ambientales. En comparación, el tratamiento T4 del presente estudio, con una relación B/C de 2.13, mostró una rentabilidad competitiva bajo un esquema de fertilización integrada, lo que sugiere que la incorporación de insumos orgánicos y biofertilizantes puede ofrecer un equilibrio más sostenible entre productividad, eficiencia económica y manejo nutricional del cultivo.

Finalmente, Asencios (2023) evaluó la rentabilidad del cultivo de ají dulce (*Capsicum chinense*) en Tingo María, Perú, bajo la aplicación de 60 t/ha de compost orgánico, obteniendo una rentabilidad neta de 0.85, equivalente a una relación B/C de 1.85. Aunque este manejo permitió alcanzar altos rendimientos y número de frutos, la eficiencia económica fue moderada, debido al incremento de los costos asociados al uso de grandes volúmenes de compost. Al contrastar estos resultados con el tratamiento T4 del presente estudio (B/C = 2.13), se evidencia que la fertilización integrada, que combinó fertilización edáfica, humus y *Bacillus subtilis*, permitió una mayor eficiencia económica con menores volúmenes de insumos orgánicos, favoreciendo la absorción de nutrientes y optimizando la rentabilidad del sistema productivo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El tratamiento T4 (100% fertilización + 2 aplicaciones de biofertilizante) promovió una mayor floración y fructificación en el cultivo de ají, evidenciando un desarrollo fenológico más eficiente. Mientras que los tratamientos con fertilización reducida como T3 (50% fertilización + biofertilizante lograron igualar a T1 (100% fertilización), confirmando que el biofertilizante ayuda a mejorar la absorción de la nutrición mineral.

El tratamiento T4 destacó con el mayor rendimiento (13.55 t/ha) y frutos de mejor peso, longitud y diámetro. T2 (100% fertilización + 1 biofertilizante) mostró mejoras frente al testigo en longitud y diámetro, pero no significativas en su peso. Los tratamientos T3 y T5, con fertilización reducida, presentaron un igual rendimiento que T1, pero con diferencias en su calidad (longitud, diámetro y peso).

El tratamiento T4 fue el más rentable al combinar alto rendimiento con retorno económico, justificando el uso del biofertilizante. T2 también presentó una relación costo-beneficio positiva. Aunque T3 y T5 no superaron al testigo (T1) en rendimiento, sus resultados no difirieron significativamente. La reducción del 50 % en fertilización combinada con biofertilizantes permitió mantener rendimientos similares al T1, optimizando recursos sin comprometer la productividad del cultivo.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda priorizar el uso de tratamientos mixtos que combinen fertilización edáfica completa con una dosis equilibrada de biofertilizante, como en el caso del tratamiento T4, para maximizar el retorno económico por hectárea cultivada. Esta estrategia permite aprovechar los beneficios sinérgicos entre fertilización tradicional y biológica, asegurando altos niveles de producción y rentabilidad.

Es fundamental que los agricultores incorporen herramientas de análisis económico básico como la relación beneficio/costo y los márgenes netos, dentro de sus evaluaciones agronómicas, para

tomar decisiones más informadas. De esta manera, permitirá reducir la dependencia de criterios empíricos y facilitará la adopción de tecnologías con respaldo técnico y financiero comprobado.

Se sugiere impulsar políticas de extensión agrícola y capacitaciones técnicas que promuevan el uso responsable de biofertilizantes, asegurando que los productores comprendan no solo sus efectos sobre el rendimiento del cultivo, sino también su impacto económico a corto y largo plazo. Este enfoque contribuirá a una transición más efectiva hacia sistemas de producción sostenibles y competitivos.

Referencias Bibliográficas

- Abbasi, P. A., & Weselowski, B. (2014). Influence of foliar sprays of *Bacillus subtilis* QST 713 on development of early blight disease and yield of field tomatoes in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 170-178.
- Aguirre, J., & Espinosa, J. (2017). Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1539-1550.
- Allard-Massicotte, R., & Tessier, L. (2016). *Bacillus subtilis* Early Colonization of *Arabidopsis thaliana* Roots Involves Multiple Chemotaxis Receptors. *mBio*, 7(6). doi:<https://doi.org/10.1128/mbio.01664-16>
- Álvarez Núñez, L. V., & Millán Paramo, E. (2015). Identificación de nuevas oportunidades de mercado para la empresa HEFALO Exportadores SAS.
- Álvarez, S. J., Gómez, M. A., & Schwentesius, R. E. (2013). *Investigaciones comparativas entre agricultura convencional y agricultura orgánica*. Spanish Journal of Rural Development.
- Andrade, O., & Garcés, A. (2019). Respuesta productiva del *Capsicum annum* L. a la fertilización de un bioestimulante como complemento de una fertilización edáfica química. *DELLOS*, 12(34).
- Araujo, E., & Benavides, M. (2010). Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 59(1), 55-64.
- Arce, S. (2020). Análisis comparativo de precios y costos de producción de hortalizas cultivadas de manera orgánica y convencional. *Agronomía costarricense*, 44(2), 81-108.
- Arellano, S. (2017). El ají, patrimonio alimnetario de america y la universalidad de sus uso.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2009). *Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. Registro Oficial Suplemento No. 583*. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu88076.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable*. Obtenido de Registro Oficial Suplemento No. 10: <https://www.ambiente.gob.ec/>

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2018). *Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria. Registro Oficial*. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Sanidad%20Agropecuaria.pdf
- Asencios, S. F. (2023). Tipos y niveles de compost en el rendimiento de Capsicum chinense (ají dulce), Tingo María. *Tesis Ingeniería Agrícola, Universidad Agraria del Ecuador*.
- Ayala-Villegas, M. J., & Ayala-Garay. (2014). Evolución de la calidad de semilla de Capsicum annuum L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 79-87. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000100011&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0187-7380.
- Banerjee, M., Yesmin, L., Islam, A., & Sultana, S. (2011). Effect of organic fertilizer and biofertilizer on growth and yield of chilli (Capsicum frutescens). *Effect of organic fertilizer and biofertilizer on growth and yield of chilli (Capsicum frutescens)*., 36(4), 531-536.
- Bautista, D., & Chavarro, C. (2017). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de Phaseolus vulgaris cv. ICA Cerinza. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11, 122-132. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v11n1/2011-2173-rcch-11-01-00122.pdf>
- Bayer CropScience. (2022). *Bacillus subtilis strain QST 713 (Serenade®) FS – Pesticide. Label Registro EPA No. 264-1202*. Obtenido de US Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/pesticides>
- Benavides, o. (2022). Efecto del riego por goteo y exudación sobre el rendimiento de hortalizas en clima frío. *Horticultura y Viticultura*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n1/v34n1a09.pdf>
- Blanco-Valdes, Y., Leyva-Galán, Á., & Castro-Lizazo, I. (2018). Determinación del período crítico de competencia de arvenses en el cultivo del pimiento (Capsicum annuum, L.). *Cultivos Tropicales*, 39(3), 18-24.
- Bora, P., Saika, B., Rahman, M., Ahmed, S., Chetia, R., Rahman, N., . . . Raja, W. (2024). Enhancing the performance of chilli (Capsicum annuum) through twin role of plant growth promotion and disease suppression via Bacillus subtilis-based bioformulation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 94(1), 039-043. doi:<https://doi.org/10.56093/ijas.v94i1.142692>
- Borbor, N., & Mejía, A. (2020). Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) utilizando la tina de evaporación clase a, en río verde, Santa

- Elena, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 5(1), 114-124.
- Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2012). Peppers: vegetable and spice capsicums. *CABI*, 22.
- Bravo, E. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano. *Revista Ciencia y Agricultura*, 19(3). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10126423.pdf>
- Bsoland, P. W., & Votava, E. J. (2012). Peppers: Vegetable and spice capsicums (2nd ed.). *CABI*, 1-12.
- Bula, A. (2020). *Importancia de la Agricultura en el desarrollo socio-economico*.
- Caballero, B., & Márquez, C. (2017). Efecto de la liofilización sobre características físico-químicas del ají rocoto (*Capsicum pubescens* R & P) con o sin semilla. *Bioagro*, 225-234.
- Calderón, F. (2020). Impacto ambiental provocado por el inadecuado uso de fertilizantes químicos en cultivos de maíz. Obtenido de <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/128/90>
- Cálix, A. (2020). Los desafíos de la transformación productiva en America Latina. *Revista Transformación*, 1(2). Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/16322.pdf>
- Campi, R., Andrade, D., Sánchez, D., & Calixto, B. (2025). Desempeño Productivo y Fisiológico del Pimiento (*Capsicum Annum* L.) Influenciado por Biofertilizantes Orgánicos. *Ciencia Latina*, 9(2), 8485-8496. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17579
- Cano, A.; López, M.; Zabaleta, H.; Ramírez, I.; Gardea, A.; González, V. (2015). Variation in seed dormancy among accessions of chile piquin (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*). *Botanical Sciences*, 93(1), 175-194.
- Cañedo, V., Alfaro, A., & Kroschel, J. (2011). Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas: Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. *Centro Internacional de la Papa (CIP)*, 48.
- Capinera, J. (2020). Handbook of vegetable pests. *Academic press*.
- Carbal, C. (2022). *Modelo de Producción de Ají Tabasco (Capsicum frutescens L.) para la implementación de nuevas técnicas de producción agrícola en el municipio de San*

- Jacinto Bolívar*. Universidad de La Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1292&context=ingenieria_agronomica
- Cárdenas, A., Ruíz, C., Vázquez, J., Baylón, A., Mounzer, O., Flores, A., & Valenzuela, J. (2023). *Bacillus subtilis* LPM1 differentially promotes the growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under shade house. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2232165.
- Cardenas-Flores, A., Ruíz-Salas, C. E., Baylón-Palomino, A., & Vázquez-Lee, J. (2023). *Bacillus subtilis* LPM1 differentially promotes the growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under shade house. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2232165. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2023.2232165>
- Carrillo, K., & Vargas, J. (2023). Rendimiento, características morfológicas y calidad del chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(3).
- Casanova, J. (2018). *Estrategias agroecológicas orientadas a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, en agroecosistemas cafeteros del municipio de Cajibío en el departamento del Cauca [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]*. Repositorio institucional, Palmira. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69126/2018-Juan_Fernando_Casanova_Olaya.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castaño, A. M., & Durango, D. P. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *RIAA*, 12(2),9.
- Chávez, I., & Zelaya, L. (2021). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000601423
- Chuncho, G., & Aguirre, Z. (2019). *Anatomía y morfología vegetal*. Loja: University of Nebraska de Loja.
- CIP. (2017). Centro Internacional de la Papa. Obtenido de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/88036/CIP-Bookmark-Espanol-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- CNRH, O. (2002). *Modelo Institucional de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en el Ecuador*. Quito Ecuador: Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Secretaria General de la OEA. .
- Cobos, F., & Hasang, E. (2022). El cultivo de papa, recursos genéticos y retos para el futuro. *Science and Research*, 7. Obtenido de Science and Research: <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2748>
- Cruz, B. (2015). *Efectos de la aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli(acetato de vinilo - co - alcohol vinílico) sobre la calidad y vida poscosecha de pepino (Cucumis sativus L.)*. Centro de Investigación en química aplicada. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/102/1/Tesis%20MAP%20Adriana%20Cruz%20Gomez%20May%2030%202016.pdf>
- Délano-Frier, J. P., Flores-Olivas, A., & Valenzuela-Soto, H. (2024). Bio-Inoculation of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and Jalapeño Pepper (*Capsicum annuum* L.) with *Enterobacter* sp. DBA51 Increases Growth and Yields under Open-Field Conditions. *Agronomy*, 14(4), 702. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy14040702>
- Drouet, A. (2018). Efecto de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* en el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) del híbrido de Maíz (*Zea mays*) INIAP H-551 en la comuna Río Verde, provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 5(1), 47-56. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rctu/v5n1/1390-7697-rctu-5-01-00047.pdf>
- Elizondo-Cabalceta, E., & Monge-Pérez, J. E. (2017). Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (Capsicum annuum L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica.*, 30(2), 37-47. doi:<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i2.3194>
- Espinoza-Jimenez, M. (2021). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal sobre la calidad del fruto de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tesis Posgrado*.
- Esraa, E., Hadeer, A., Ahmed, M., Mohamed, H., Sohila, A., Nour I., . . . Ahmed , A. (2023). A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Spronger Natural*, Volumen 30,pag113119-113137. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-023-30260-x>
- Fabela, L. A., Melendez, F. C., & Oregon, F. T. (2024). *Agroecología y sustentabilidad: Una convergencia para el desarrollo*. . Comunicacion Científica.

- Farinango, W. (2016). *Elaboración de herramientas de aprendizaje para la gestión de riego parcelario en cangahuas habilitadas utilizando la metodología de escueas de campo*. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8070/1/T-UCE-0004-35.pdf>
- Gamboa, J. (2021). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792020000500817&script=sci_arttext
- Gamboa, J., Ruíz-Sánchez, E., & Alvarado-López, C. (2020). Effect of microbial biofertilizers on the agronomic characteristic of the plant and fruit quality of xcat'ik pepper (*Capsicum annuum* L.). *Terra latinoamericana*, 38(4), 817-826. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- García, J. A., Cuevas, F. D., & Viveros, J. A. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) producidos en macrotúnel.: Bioestimulantes en chile jalapeño. *Revista Bio Ciencias*, 11. doi:<https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- Gashash, E., Osman, N., Alsahli, A., Hewait, H., Ashmawi, A., & Alshallash, K. (2022). Effects of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Cyanobacteria on Botanical Characteristics of Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) Plants. *Plants*, 11(20), 2732. doi:<https://doi.org/10.3390/plants11202732>
- Gómez, A. (2023). Trips (Insecta: Thysanoptera) asociados a cebolla, lechuga, chile dulce y malezas asociadas en El Zamorano. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 25(1). doi:https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3447
- Gomez, G. (2021). *Efecto de dos enmiendas retentivas de humedad con dos frecuencias en riego por goteo para el cultivo de pimiento en invernadero*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5098/gomez-tunque-ghefryn-styn-jackson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gomez-Raymundo, R. G., Ramírez-Seañez, A. R., Hernández-Hernández, H., & Martínez-Galero, N. (2025). Responses of Soledad Chile Pepper (*Capsicum annuum* L.) to Combined Application of Chitosan and *Bacillus subtilis*: A Study on Growth and Yield. *Preprints.org*. doi:0.20944/preprints202502.0403.v1
- González-Gómez, L. G., Lago, R. B., Terrero-Soler, J. C., JJiménez-Arteaga, M., & Martínez, I. P. (2024). Evaluación de Quitomax® en el cultivo del pimiento (*Capsicum annuum*, L.

- variedad California wonder) en la Finca Pestan. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 2(2). doi:<https://doi.org/10.56124/cct.v2i2.008>
- González, V., & Pomares, F. (2018). La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Obtenido de <https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/manuales-tecnicos/manual-fertilizacion-fpomares.pdf>
- Gou, J. Y., Suo, S. Z., Shao, K. Z., Zhao, Q., Yao, D., Li, H. P., & Zhang, J. L. (2020). Biofertilizers with beneficial rhizobacteria improved plant growth and yield in chili (*Capsicum annuum* L.). *World journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(86), 86.
- Grageda, O. (2022). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(6). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015
- Guerrero, J. (2019). Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/3080/3657>
- Hernández, R., Liévano, E., Ulín, F., & Jiménez, D. (2010). Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*Capsicum annuum* L.) variedad glabriusculum (Dunal) Heiser & Pickersgill. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 92-100.
- Hidalgo, J. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]*. Repositorio institucional, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>
- Huang, Y., & He, Y. (2017). Rhizospheric *Bacillus subtilis* exhibits biocontrol effect against *Rhizoctonia solani* in pepper (*Capsicum annuum*). *BioMed Research International*, 1(2). doi:<https://doi.org/10.1155/2017/9397619>
- Hussein, M., Abdel-Aal, A., Rawa, M., Mousa, M., Moustafa, Y., & Abo-Elyours, K. (2023). Enhancing chili pepper (*Capsicum annuum* L.) resistance and yield against powdery mildew (*Leveillula taurica*) with beneficial bacteria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 114. doi:<https://doi.org/10.1186/s41938-023-00758-0>

- IICA. (27 de Febrero de 2023). Obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura: <https://blog.iica.int/blog/aumenta-137-valor-las-importaciones-fertilizantes-quimicos-america-latina-caribe-en-2022>
- INAMHI. (08 de 01 de 2026). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]*. Obtenido de <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>
- INEC. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Ibarra. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Bolet%20ADn%20t%20A9cnico.pdf
- INIA. (2001). *Cultivo de aji escabeche en el valle de Chancay-Huaral*. Ministerio de Agricultura de Peru. Lima: Ministerio de Agricultura de Peru.
- INIAP. (2016). *Guía práctica para calcular costos de producción agrícola para pequeños y medianos productores*. Obtenido de Boletín divulgativo N°415: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1188/1/iniap-Bolet%20Divulgativo%20No.%20415.pdf>
- INIAP. (2023). Guía para la aplicación de un biofertilizante en el cultivo de maíz de la Sierra ecuatoriana. Obtenido de [file:///C:/Users/Kelly/Downloads/Manual%20Fertibacter%20final%20celular_compressed%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Kelly/Downloads/Manual%20Fertibacter%20final%20celular_compressed%20(2).pdf)
- IPGRI, A. (1995). Descriptores de capsicum (Capsicum spp). *Instituto Nacional de Recursos Fitogenéticos*, 4-68.
- Jha, C. K., & Saraf, M. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Journal of Agricultural Research and Development*, 5(2), 108-119. doi:10.13140/RG.2.1.5171.2164
- Jiménez, I. (2020). *Estudio de las especies de pulgones y sus enemigos naturales en una finca de horticultura ecológica en Alcàsser Valencia*. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/275613156.pdf>
- Kaushal, M., Mandyal, P., & Kaushal, R. (2019). Field Based Assessment of Capsicum annum Performance with Inoculation of Rhizobacterial Consortia. *Microorganisms*, 7(3), 89. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms7030089>
- Lara, I. (2017). Análisis de costo beneficio una herramienta de gestión. *Revista academica contribuciones a la economía*, 3(1). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9031809.pdf>

- Lara, W. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, para la optimización del agua de riego del cantón Chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8192/3/Lara%20A.%3b%20Wilson%20%282021%29%20Dise%c3%b1o%20e%20implementaci%c3%b3n%20de%20un%20sistema%20de%20agricultura%20de%20precisi%c3%b3n%2c%20para%20la%20optimizaci%3%b3n%20del%20agua%20de%20riego%20del%20>
- Lara-Capistran, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 693-704.
- Larenas, C., & Rivadeneira, L. (2015). Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida.*, 12-32.
- Liang, Y. R., Liao, F. C., & Huang, T. P. (2022). Deciphering the influence of *Bacillus subtilis* strain Ydj3 colonization on the vitamin C contents and rhizosphere microbiomes of sweet peppers. *Plos one*, 17(2), e0264276. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264276>
- Ligarreto, G., & Espinosa, N. (2004). Recursos genéticos y cultivo de ají y pimnetón (*Capsicum* sp.).
- Liuba, R., & Mendoza, D. (2025). Desempeño Productivo y Fisiológico del Pimiento (*Capsicum Annuum* L.) influenciada por Biorfertilizantes Orgánicos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 8485-8496.
- Lohani, A., Lohani, S., Sharma, M., Shah, S., & Sherestha, A. (2020). Evaluation of sweet pepper varieties as influenced by nitrogen levels in Chitwan, Nepal. *Nepalese Horticulture*, 14(1), 1-9. doi:<https://doi.org/10.3126/nh.v14i1.30602>
- Long, J. (2020). *Capsicum y cultura: La historia del Chilli*. Obtenido de <https://www.culinaryartschool.edu.mx/cocinasdemexico/Biblioteca/unidad-3/bloque3/taxonomia-capsicum-y-cultura-la-historia-del-chilli.pdf>
- Magallanes, A., Martínez, M., Sahagún, J., Pérez, L., Marín, I., & Rodríguez, J. (2020). Calidad postcosecha de 40 poblaciones de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativas de México. *Agrociencia*, 54(6), 779-796.
- Malte, G. (2022). *Efecto del peso y densidad de siembra en la producción de semilla básica de papa (Solanum tuberosum L. var. Superchola) en sustrato, Montufar, Carchi*.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13407/1/03%20AGP%20348%20TRA
BAJO%20DE%20GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13407/1/03%20AGP%20348%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf)

- Marquez, S. (2020). *Manejo integrado de Damping off, en el cultivo de Ají Jalapeño Capsicum annuum [Tesis de licenciatura, UTB]*. Repositorio Institucional, Babahoyo.
- Martínez, D., & Pérez, M. (2010). Colecta y caracterización de chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo - Serie Horticultura*, 16(3), 169-176.
- Maslennikova, V., Tsvetkova, V., Shelikhova, E., Selyuk, M., Alikina, T., Kabilov, M., & Dubovskiy, I. (2023). *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* Mix Suppresses Rhizoctonia Disease and Improves Rhizosphere Microbiome, Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Funji*, 9(12), 1142.
doi:<https://doi.org/10.3390/jof9121142>
- Matheus, E., & Lindao, M. (2024). Costo de producción y margen operativo de las empresas agropecuarias de la provincia de Santa Elena 2020-2022. *Revista Ciencia Latina Internacional*, 8(1). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9294417.pdf>
- Meena, R. K., Yadav, B. K., & Meena, R. H. (2023). Role of *Bacillus subtilis* in growth and yield parameters of *Capsicum annuum* under field conditions. *International Journal of Chemical Studies*, 11(1), 450-454.
- Mejía-Bautista, M. Á., Cristóbal-Alejo, J., Pacheco-Aguilar, J. R., & Reyes-Ramírez, A. (2022). *Bacillus* spp. en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1). doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2664>
- Méndez, A., & Ligarreto, G. (2004). Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía Colombiana. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 7-17.
- Mendez, J., & Flores, M. (2017). Aislamiento e identificación de *Bacillus subtilis* y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. *Revista Científica Nexo*, 2(3). doi:
<http://dx.doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5530>
- Mendoza, R. (2006). Sistemática e historia del ají "*Capsicum*". *Universalía*, 80-88.
- Mendoza-Alatorre, M., Infante-Ramírez, R., González-Rangel, M. O., Nevárez-Moorillón, G. V., González-Horta, M. C., Hernández-Huerta, J., & Delgado-Gardea, M. C. (2024). Enhancing drought stress tolerance and growth promotion in chiltepin pepper (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) through native *Bacillus* spp. *Scientific Reports*.

- Michels, J., & Rodríguez, P. (2020). Producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en casa de cultivo protegido con fertirriego e inoculación con *Glomus cubense*. *Ciencia en su PC*, 1, 18-30.
- Montaño, N., & Nuñez, J. (2003). Evaluation of the effect of the transplant age on yield in three selections of sweet pepper. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(2), 144-155. Obtenido de <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000200003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-7818.
- Morocho, H. M. (2018). Efecto de Biofertilizante de preparación artesanal en el rendimiento de Aji Pimiento Morrón (*Capsicum Annuum*) en el distrito de Monsefu.
- Morrillo, C. (2020). *Evaluación de la dinámica poblacional del ácaro (Tetranychus urticae) en el cultivo de rosas (Rosa sp.) en Cayambe, Pichincha*. Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10535/2/03%20AGP%20270%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Mundarain, M., & Cañizares, A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 62-67.
- Mundarain, M., & Cañizares, A. (2020). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 62-67.
- Mundarain, S., & Cañizares, A. (2020). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista UDO aGRÍCOLA*, 5(1), 62.67. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2221603.pdf>
- Navarro, M. (2021). *Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz*. Universitat de Barcelona. Obtenido de https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/674013/MNA_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ndeddy, R., & Babalola, O. (2016). Effect of bacterial inoculation of strains of *pseudomonas aeruginosa*, *alcaligenes feacalis* and *bacillus subtilis* on germination, growth and heavy metal (cd, cr, and ni) uptake of *brassica juncea*. *International Journal of Phytoremediation*, 18(2), 200-209. doi:<https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1073671>
- Ocupa, M. E. (s.f.). Efecto de dos dosis de biofertilizante (biol).
- ONU. (2022). El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>

- ONU. (15 de 11 de 2022). *Nuevos datos para medir los presupuestos de nutrientes de las tierras de cultivo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/newsroom/detail/new-data-to-measure-cropland-nutrient-budgets/es>
- ONU. (2023). *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- ONU. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Panthee, D. R., Kressin, J. P., & Piotrowski, A. (2018). Heredabilidad del número de flores y del cuajado de frutos bajo estrés térmico en tomate. *HortScience*, 53(9), 1294-1299.
- Parra, A. (2018). *Evaluación de dos abonos orgánicos en tres niveles, en la productividad agroecológica del maíz suave (Zea mays L.) variedad del INIAP -102 blanco blandito*. Universidad Nacional de Loja, Loja. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/7270/1/An%C3%ADbal%20Rafael%20Parra%20Burgos.pdf>
- Paspuel, M. (2018). *Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua*. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15195/1/T-UCE-0004-A82-2018.pdf>
- Pedraza, R. (2021). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)*. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36977>
- Pérez, M., & García, J. (2020). Escalado de la producción de un biofertilizante a base de *Pseudomonas fluorescens*. *Biotecnología Vegetal*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472020000400298
- Pinto, M. B., & Pacheco, M. S. (2015). Efecto de métodos de control de malezas, en el crecimiento y rendimiento del cultivo de ají, Municipio Padilla: Effect of weed control methods on the growth and yield of chile pepper crop in the municipality of Padilla. *AGRO-ECOLÓGICA*, 2(1), 98-107.
- Pinto, M., Correa, E., Páez, A. R., Jiménez, N., Guzmán, N., & Baquero, C. E. (2013). Modelo productivo del cultivo del ají topito (*Capsicum* spp.) para la región Caribe. *Corporación*

colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34309>

- Proaño, J. (2007). “*Respuesta de Cuatro Variedades de Arveja (Pisum sativum L.) A la Fertilización Orgánica y Química en la Granja la Pradera*”. Chaltura-Ecuador.: Tesis de Grado previo la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte.
- Qiao, J., Zhang, R., & Liu, Y. (2023). Evaluation of the Biocontrol Efficiency of *Bacillus subtilis* Wettable Powder on Pepper Root Rot Caused by *Fusarium solani*. *Pathogens*, 12(2), 225-240. doi:<https://doi.org/10.3390/pathogens12020225>
- Qiao, J., Zhang, R., Liu, Y., & Liu, Y. (2023). Evaluation of the Biocontrol Efficiency of *Bacillus subtilis* Wettable Powder on Pepper Root Rot Caused by *Fusarium solani*. *Pathogens*, 12,225. doi:<https://doi.org/10.3390/pathogens12020225>
- Quevedo, L. (2020). Caracterización fenotípica de tres. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/437/43764233015/43764233015.pdf>
- Quijia, A. (2020). *Análisis del impacto de la implementación del sistema de riego por goteo en la productividad del sector agrícola en la asociación de productores agropecuarios San Rafael, cantón Bolívar provincia del Carchi*. Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20694/1/CD%2010199.pdf>
- Quiñones, X., & Muñoz, D. (2022). El cultivo del ají (*Capsicum* spp.) como patrimonio cultural campesino: análisis exploratorio. *Rivar*, 9(26), 89-106. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/rivar/v9n26/0719-4994-rivar-9-26-89.pdf>
- Quiñones, X., & Muñoz, D. (2022). El cultivo del ají (*Capsicum* spp.) como patrimonio cultural campesino: análisis exploratorio*. *RIVAR (Santiago)*, 9(26). Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-49942022000200089
- Raigoza, J. (2023). *Evaluación del manejo etológico y biológico de mosca blanca (Trialeurodes sp.) en el cultivo de Jamaica (Hibiscus sabdariffa L.)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/6ee1162b-1766-4304-8152-f34bdc8efe67/content>
- Riva, R. (2019). Manual de cultivo de ají Charapita (*Capsicum frutescens* L.).
- Romero, M., & Puentes, Y. (2017). Extracción de nutrientes minerales en hojas y frutos de ají (*Capsicum* sp.), y su influencia en el rendimiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.*, 114-121.

- Romero, M., & Puentes, Y. (2017). Extracción de nutrientes minerales en hojas y frutos de ají (*Capsicum* sp.), y su influencia en el rendimiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.*, 114-121. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v11n1/2011-2173-rcch-11-01-00114.pdf>
- Romero, S. (2017). Manejo técnico de accesiones de ají (*Capsicum* spp) en el Centro de Innovación e Investigación de Villa Carmen Municipio de Yotala. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 14(15), 869-876.
- Rosa, O. (2017). Rentabilidad de la producción agrícola Rentabilidad de la producción agrícola municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela. *Revista Vision Gerencial*, 16(1), 217 -232. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4655/465552407013/465552407013.pdf>
- Salas, P. (2009). Manejo técnico del cultivo de ají pprika. *INIA-INKAGRO*.
- Salazar, N. (2018). El ají, variedades, técnicas y usos aplicados a la cocina moderna ecuatoriana (Bachelor's thesis).
- Sanchez del Castillo, F., Moreno, E., Reséndiz, R., & Colinas, T. (2017). Producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia*, 54(4), 437-446. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000400437&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2521-9766.
- Santos, L. K. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 25-32.
- Satyal, S., Joshi, B., & Awasthi, S. (2024). EFFECT OF BACILLUS SPP. AND TRICHODERMA SPP. ON GROWTH AND YIELD OF CAPSICUM IN GODAWARI, LALITPUR. *Tropical Agroecosystems (TAEC)*, 5(1), 26-32. doi:<http://doi.org/10.26480/taec.01.2024.26.32>
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. Obtenido de Secretaría Nacional de Planificación: <file:///F:/TESIS/JOSELYN%20ORMAZA/Plan%20de%20Creaci%20C3%B3n%20de%20Oportunidades%202021-2025.pdf>
- Sezen, S. M., Yazar, A., & Eker, S. (2006). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), 115-131.
- Sini, H. N., Barzegar, R., Mashaei, S. S., Ghahsare, M. G., Fard, S. M., & Mozafarian, M. (2024). Effects of biofertilizer on the production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in

- greenhouse. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101060.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101060>
- Solis, K., & Quiroz, F. (2017). Biofertilizantes una alternativa ecológica para la agricultura frente al cambio. *Revista Ciencias*, 3(4), 75-88. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6155630.pdf>
- Stan, T., Munteanu, C.-T., Cojocar, A., & Stoleru, V. (2021). Fertilization Management Improves the Yield and Capsaicinoid. *Agriculture*, 181.
- Terreno, J., Gónzales, L., Jiménez, A., Boicet, T., & Falcón, A. (2023). Aplicacion de bioproductos en el cultivo de pimiento (*Capsicum Annuum* L.) variedad Labrador. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 1(2). Obtenido de <https://cct-uleam.info/index.php/chone-ciencia-y-tecnologia/article/view/54>
- Toledo, R., López, H., López, P. A., Gerrero, J., Santacruz, A., & Huerta, A. (2011). características vegetativas, reproductivas y rendimiento de fruto de variedades nativas de chile "poblano". *Chapingo Serie Horticultura*, 17(3).
- Valdovinos-Nava, W., Chan-Cupul, W., Hernández-Ortega, H. A., & Ruíz-Sánchez, E. (2020). Effects of biological and mineral fertilization on the growth, nutrition, and yield of *Capsicum chinense* under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*.
doi:<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771586>
- Vargas, M., & Loayza, A. (2020). Propiedades Anestésicas y Anticancerígenas de la Capsaicina. *Revista de Investigación en Información en Salud*, 20-30.
- Veliz, C. S. (2019). LA AGRICULTURA ORGÁNICA EN CUBA, UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE . *Doctoral dissertation, Universidad de La Habana*.
- Vergara, G. S. (2023). Respuestas de la aplicación de tres abonos orgánicos en el cultivo de pimiento (*Capsicum Annuum*). *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Villagomez, J. I. (2022). Efecto de la fertilización en el cultivo de ají (*Capsicum* spp) en el recinto cuatro de mayo, parroquia Cone, Yaguachi, Guayas. *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Wagi, S., & Ahmed, A. (2019). *Bacillus* spp.: potent microfactories of bacterial IAA. *PeerJ*, 7, e7258. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.7258>

- Wanj, M., Shen, F., Huang, J., Zhanf, R., Liu, w., & Zhou, Q. (2019). Effects of soil compaction on plant growth, nutrient absorption, and root respiration in soybean seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22835-22845.
- Wanj, S., & Liu, J. (2019). Efficiency of *Nannochloropsis oculata* and *Bacillus polymyxa* symbiotic composite at ammonium and phosphate removal from synthetic wastewater. *Environmental Technology*, 40(19), 2494-2503.
- Wu, X., Liu, Y., Jia, B., & Tao, L. (2025). Cuatro décadas de biofertilizantes de *Bacillus* : avances y perspectivas futuras en la agricultura. *Microorganisms*, 13(1), 187-190. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms13010187>
- Wu, Y., Zhao, C., farmer, J., & Sun, J. (2015). Effects of bio-organic fertilizer on pepper growth and Fusarium wilt biocontrol. *Scientia Horticulturae*, 193, 114-120. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.039>
- Xinmai, W., Yan, L., Baolei, J., Lili, T., Han, L., Jingbang, W., . . . Yanlai, Y. (2025). Cuatro décadas de biofertilizantes de *Bacillus* : avances y perspectivas futuras en la agricultura. *Microorganisms*, 13(1),187. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms13010187>
- Yuanyuan, H., Zhansheng, W., Yanhui, H., Bang-Ce, Y., & Chun, L. (2017). Rhizospheric *Bacillus subtilis* exhibits biocontrol effect against *Rhizoctonia solani* in pepper (*Capsicum annuum*). *BioMed Research International*. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/9397619>
- Zambrano, R. (2024). *Estudio prospectivo al 2030 de la producción de ají habanero en la parroquia San Agustín del Cantón Sucre en la provincia de Manabí: diseño de escenarios y estrategias para la producción destinada a la exportación*. Universidad de Posgrado del Estado. Obtenido de https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/6626/1/TRABAJO%20DE%20TITULACI%C3%93N%20ZAMBRANO%20CHAVEZ_RODRIGO%20IVAN_14_03_2024.pdf
- Zapata-Garcia, S., Temnani, A., Berrios, P., Espinoza, P., Monllor, C., & Pérez-Pastor, A. (2024). Optimizing Crop Water Productivity in Greenhouse Pepper. *Agronomy*, 14(5), 902. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy14050902>

Anexos

Anexo 1: Informe de laboratorio del análisis de abono orgánico sólido



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
 info@agrarprojekt.com
 www.agrarprojekt.com

INFORME: ANÁLISIS DE ABONO ORGÁNICO SÓLIDO

PT0901.REV01

Pág 1/2

Código Agrarprojekt:	RLY-071223	Informe de Ensayo N°	2101
Fecha de Recepción:	07-12-23	Fecha de Informe:	25-12-23

DATOS DEL CLIENTE			
Cliente:	Marco Alexander Rueda Loyo		
Solicitado por:	Marco Alexander Rueda Loyo		
Ubicación:	Ibarra	Teléfono:	0963267525

PROCESO DE ANÁLISIS
<p>Método utilizado para la preparación de la muestra: Conductividad Eléctrica (C.E) y pH: Preparación del Extracto Según Método Volumen 1:1½ (Reglamento de Holanda para Sustratos) Contenido Total de Nutrientes: Secado de la muestra a ensayar hasta 0 % de humedad - Determinación del % Materia Seca - Trituración de la muestra a ensayar ("40 mesh") - Incineración - Dilución en "Agua Regia".</p>

MÉTODOS DE REFERENCIA UTILIZADOS	
PARÁMETROS	MÉTODO
Materia Seca	AOAC 930.04
Humedad	AOAC 930.04
Densidad (materia fresca)	Gravimetrico
Densidad Aparente	Gravimetrico
pH	EPA 9045 D
Conductividad (C.E.)	SM 2510 B
Materia Orgánica (L.O.I., "Loss on Ignition")	AOAC 967.05 / DIN 19684-3
Carbono (C)	AOAC 967.05
Nitrógeno Total Kjeldahl (N-Total)	AOAC 978.04
Fósforo (P)	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B / AOAC 975.03
Magnesio (Mg)	AOAC 975.03
Calcio (Ca)	AOAC 975.03
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Hierro (Fe)	AOAC 975.03
Manganeso (Mn)	AOAC 975.03
Cobre (Cu)	AOAC 975.03
Zinc (Zn)	AOAC 975.03
Boro (B)	AOAC 982.01

Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: RLY-071223

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Tipo de Muestra:	Abono Orgánico Sólido
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Humus Abono Orgánico Sólido

Contenido Total de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg)

Análisis	Unidad	*Valores de Orientación: Niveles Adecuadas para un Compost de Buena Calidad	Resultado
Materia Seca	%	50 - 70	26,2
Humedad	%	30 - 50	73,9
Densidad (materia fresca, presión 0.1 kg/cm ²)	g/litro	-	856
Densidad Aparente (0% Humedad)	g/litro	> 200	224
pH (Volumen 1:1 1/2)	-	7,0 - 8,5	6,8
Conductividad - CE (Volumen 1:1 1/2)	mS/cm	> 4	1,93
Materia Orgánica	%	> 65	47,0
Carbono (C)	%	> 38	27,3
Relación Carbono- Nitrógeno (C:N)	%	10:1 hasta 20:1	17 : 1
Nitrógeno Total (N)	%	> 2,0	1,65
Fósforo (P)	%	> 0,2	0,64
Potasio (K)	%	> 1,5	0,36
Magnesio (Mg)	%	> 0,2	0,33
Calcio (Ca)	%	> 1,5	2,90
Sodio (Na)	%	< 0,2	0,11
Hierro (Fe)	ppm	-	2660
Manganeso (Mn)	ppm	-	258
Cobre (Cu)	ppm	-	22,4
Zinc (Zn)	ppm	-	104
Boro (B)	ppm	-	44,8

* Fuente: R. Gottschall. Kompostierung ("Compostaje"). Verlag C.F. Mueller, Karlsruhe, Alemania. 295 pp.

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.



Agrarprojekt S.A.
Dr. Karl Sponagel
Director del Laboratorio

Anexo 2: Informe de laboratorio del análisis de suelo



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
 info@agrارprojekt.com
 www.agrarprojekt.com

INFORME: ANÁLISIS DE SUELO

PT0901.REV01

Pág 1/2

Código Agrarprojekt:	RLY-071223	Informe de Ensayo N°	2101
Fecha de Recepción:	07-12-23	Fecha de Informe:	25-12-23

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Marco Alexander Rueda Loyo		
Solicitado por:	Marco Alexander Rueda Loyo		
Ubicación:	Ibarra	Teléfono:	0963267525

PROCESO DE ANÁLISIS

Método utilizado para la preparación de la muestra y elaboración de extractos:
 Secado → Tamizar para excluir partículas mayores y desmenuzar terrones → Mezcla homogénea
 pH: en H₂O y KCl, Método Volumen 1:2
 C.E.: Método Volumen 1:2 (extracto en H₂O)
 NH₄, K, Ca y Mg: Extracción con NaCl 0.05 M
 Fe, Mn, Zn y Cu: Extracción con DTPA / CaCl₂
 P: Extracción con NaHCO₃ 0,5 M (Método Olsen)
 NO₃, SO₄, Na, Cl y B: Extracto Agua

MÉTODOS DE REFERENCIA UTILIZADOS

PARÁMETROS	MÉTODO
pH	EPA 9045 D
Conductividad (C.E.)	SM 2510 B
Nitrato (NO ₃)	ISO 7890-1 / DIN-38405-D9-2
Amonio (NH ₄)	SM 4500-NH ₃ D
Fosfato (PO ₄)	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B
Magnesio (Mg)	EPA 7000 B
Calcio (Ca)	EPA 7000 B
Sulfato (SO ₄)	SM 4500-SO ₄ E
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Cloruro (Cl ⁻)	SM 4500-Cl G / SM-4500-CL-D Método Potenciométrico
Hierro (Fe)	EPA 7000 B
Manganeso (Mn)	EPA 7000 B
Cobre (Cu)	EPA 7000 B
Zinc (Zn)	EPA 7000 B
Boro (B)	DIN-38405-D17
Molibdeno (Mo)	EPA 7010
Silicio (Si)	EPA 7010
Aluminio (Al)	EPA 7010
Bicarbonatos (HCO ₃)	SM 2320 B
Materia Orgánica (LOI, "Loss On Ignition")	AOAC 967.05 / DIN 19684-3
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	EPA 9081
% Saturación de Bases	EPA 9081
Fracción de Partículas	ISO 11277

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: RLY-071223

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Ají
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Suelo # 2, Chaltura

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Análisis	Unidad	*Método Extracción	*Niveles Óptimos para Ají - Cultivo Intensivo	Resultado
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	3 - 12	3,0
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,5 - 1,0	0,13
	pH (en H ₂ O)	-	Vol. 1:2	-	6,8
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,4 - 6,8	5,9
Macronutrientes	Nitrato (NO ₃ -N)	mg/kg	Extracto Agua	-	9,6
	Amonio (NH ₄ -N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	10,1
	(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	-	30 - 50	19,7
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO ₃ 0.5M	25 - 40	34,8
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	120 - 260	95,0
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	40 - 120	105
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	400 - 1000	269
	Azufre (SO ₄ -S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 15	3,5
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	25 - 50	20,1
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	6 - 30	13,4
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,0 - 4,0	3,3
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,2 - 6,0	1,0
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,26
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	10,2
	Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	3,6
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	107

* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.
 -- No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
 - La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
 - El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
 - Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.

Agrarprojekt S.A.
 Dr. Karl Sponagel
 Director del Laboratorio