

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: "Evaluación de un paquete tecnológico "mineral, orgánico y biológico" en la fertilización edáfica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola en el Cantón Huaca – Carchi"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Fweltala Cusangua Edison Stalin

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Fweltala Cusangua Edison Stalin con el número de cédula 0401575774 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de un paquete tecnológico "mineral, orgánico y biológico" en la fertilización edáfica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola en el Cantón Huaca – Carchi"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

TUTOR

Tulcán, enero de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Fweltala Cusangua Edison Stalin con cédula de identidad número 0401575774 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



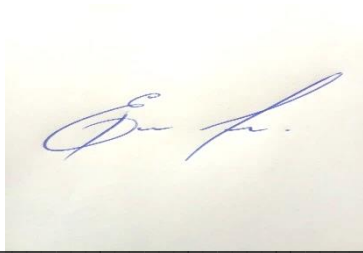
Fweltala Cusangua Edison Stalin

AUTOR

Tulcán, enero de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Fuiltala Cusangua Edison Stalin declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de un paquete tecnológico "mineral, orgánico y biológico" en la fertilización edáfica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola en el Cantón Huaca – Carchi" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Fuiltala Cusangua Edison Stalin

AUTOR

Tulcán, enero de 2026

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza brindada para poder culminar esta formación profesional.

A mi madre Carmen Cusangua, que con su apoyo su dedicación y todo su esfuerzo hicieron de mí una mejor persona.

A mis hermanos que me apoyaron durante todo este trascurso de mi carrera, siempre estaré muy agradecido por todo aquello que me brindaron.

A mi padre Julio Fweltala por ser esa persona que siempre estuvo allí cuando más lo necesite, gracias padre por ese apoyo incondicional.

A mis abuelitos Rosita y Félix, porque siempre confiaron en mí y siempre me ayudaron a salir adelante.

A los docentes de la carrera de esta hermosa carrera de agropecuaria, por la formación académica, y por todos los años que compartimos juntos.

A todas las personas que creyeron en mí y creyeron en este proyecto que cada día crece más y más, gracias por todo ese cariño y confianza que depositaron en mí.

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mi madre, a mi padre, mis hermanos y mi novia por ese apoyo incondicional a lo largo de esta formación académica.

Y también a la persona que más extraño en esta vida, a mi abuelito Alfonso Cusangua sé que desde el cielo me cuida y esta investigación es para él con mucho cariño.

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos	18
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 Origen del cultivo de papa.....	23
2.2.2 Taxonomía del cultivo.....	23
2.2.3 Morfología.....	23
2.2.4 Requerimiento edafoclimático.....	25
2.2.5 Material genético y variedades	26
2.2.6 Nutrición vegetal y estrategias de fertilización.....	28
2.2.7 Fisiología de la densidad de siembra.....	32
2.2.8 Variables agronómicas y comerciales.....	34
III. METODOLOGÍA	37
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	37
3.1.1. Enfoque	37
3.1.2. Tipo de Investigación	37

3.2. HIPÓTESIS	37
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	37
3.3.1. Definición de las variables	37
3.3.2. Operacionalización de las variables.....	38
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	39
3.4.1. Área de estudio	39
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental.....	39
3.4.3. Características del diseño experimental	40
3.4.4. Distribución y características del experimento	40
3.4.5. Población y muestra de la investigación	40
3.4.6. Procedimientos	41
3.4.7. Variables evaluadas.....	43
3.4.7.1. Altura de planta.....	43
3.4.7.2. Número de tallos.....	43
3.4.7.3. Diámetro del tallo	43
3.4.7.4. Peso.....	43
3.4.7.5. Clasificación por categorías.....	43
3.4.7.8. Análisis costo - beneficio	43
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. RESULTADOS	45
4.1.1. Altura de planta.....	45
4.1.2. Número de tallos.....	46
4.1.3. Diámetro de tallo	47
4.1.4. Número de tubérculos.....	49
4.1.5. Peso promedio de tubérculo	51
4.1.6. Rendimiento por ha	53
4.1.7. Análisis costo - beneficio	54

4.2. DISCUSIÓN	57
4.2.1. Dinámica del crecimiento vegetativo y arquitectura de la planta	57
4.2.2. Rendimiento agrícola: Fuerza Bruta vs. Eficiencia Tecnológica	58
4.2.3. Calidad del tubérculo y eficiencia de traslocación	58
4.2.4. Eficiencia de uso de nutrientes (EUN) y sostenibilidad edáfica.....	59
4.2.5. Síntesis económica y recomendación técnica	59
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1. CONCLUSIONES	61
5.2. RECOMENDACIONES	61
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
VII. ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa	23
Tabla 2. Operacionalización de variables	38
Tabla 3. Tratamientos del experimento	39
Tabla 4. Características del experimento	40
Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de planta (60 a 90 dds).....	45
Tabla 6. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (75 a 90 dds)	46
Tabla 7. Análisis de varianza para el número de tallos (60 a 90 dds)	47
Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para el número de tallos (60 a 90 dds)	47
Tabla 9. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (60 a 90 dds)	48
Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (60 a 90 dds)	49
Tabla 11. Análisis de varianza para Número de tubérculos (180 dds).....	50
Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para Número de tubérculos (180 dds)	51
Tabla 13. Análisis de varianza para el peso promedio de tubérculo por categorías	52
Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para el peso promedio de tubérculo categoría 3	52
Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento por categorías (180 dds)	53
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento kg/ha por categorías (180dds)	54
Tabla 17. Análisis costo/beneficio.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tubérculo de Papa Variedad Súper Chola	28
Figura 2. Ubicación del experimento	39
Figura 3. Distribución del ensayo.....	40
Figura 4. Parcela neta.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.	66
Anexo 2. Análisis de suelo del sitio del experimento	68
Anexo 3. PERMAXION® DESARROLLO.....	69
Anexo 4. PERMAXION® PRODUCCIÓN.....	70
Anexo 5. Proceso experimental	71
Anexo 6. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio	72

RESUMEN

La presente investigación evaluó la eficiencia agronómica, productiva y económica del Paquete Tecnológico Mineral-Orgánico (SobioTech) frente a un Manejo Convencional Mejorado (Solvesa + Enmiendas) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* var. Súper Chola), bajo dos densidades de siembra (20,000 y 25,000 plantas/ha) en el cantón Huaca, provincia del Carchi. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial, conformado por 4 tratamientos y 6 repeticiones. Los resultados determinaron que el Paquete Tecnológico maximizó la arquitectura de la planta, incrementando la brotación a 6,90 tallos/planta por efecto bioestimulante, aunque la alta densidad limitó el desarrollo del diámetro del tallo. Asimismo, se validó la eficiencia de la tecnología mineral-orgánica: el tratamiento T3 (Paquete + 20,000 pl/ha) logró un rendimiento de 41,88 t/ha, igualando estadísticamente al testigo químico convencional (44,39 t/ha), lo que demuestra que el desbloqueo de nutrientes mediante Silicio permite obtener altos rendimientos con menor carga de fósforo mineral. Económicamente, el manejo convencional (T1) generó la mayor utilidad neta (\$10,100 USD/ha) y relación Beneficio/Costo (1,84); no obstante, el tratamiento T3 se consolidó como una alternativa competitiva y sostenible con una utilidad de \$9,800 USD/ha y un B/C de 1,79. Se concluye que la implementación del paquete biológico constituye una alternativa técnica y financiera viable exclusivamente en densidades conservadoras, optimizando la sostenibilidad del sistema productivo en la zona norte del Ecuador.

Palabras Claves: *Solanum tuberosum*, Paquete Tecnológico, Silicio, densidad de siembra, rendimiento, rentabilidad.

ABSTRACT

This study evaluated the agronomic, productive, and economic efficiency of the Mineral- Organic Technology Package (SobioTech) compared to Improved Conventional Management (Solvesa + Amendments) in the cultivation of potatoes (*Solanum tuberosum* var. Super Chola) under two planting densities (20,000 and 25,000 plants/ha) in the Huaca canton, Carchi province. A Randomized Complete Block Design (RCBD) with a factorial arrangement was used, consisting of 4 treatments and 3 replicates. The results determined that the Technology Package maximized plant architecture, increasing sprouting to 6.90 stems/plant due to the biostimulant effect, although the high density limited stem diameter development. Likewise, the efficiency of mineral-organic technology was validated: treatment T3 (Package + 20,000 pl/ha) achieved a yield of 41.88 t/ha, statistically equal to the conventional chemical control (44.39 t/ha), demonstrating that the release of nutrients through silicon allows high yields to be obtained with a lower mineral phosphorus load. Economically, conventional management (T1) generated the highest net profit (\$10,100 USD/ha) and benefit/cost ratio (1.84). However, T3 treatment established itself as a competitive and sustainable alternative with a profit of \$9,800 USD/ha and a B/C ratio of 1.79. It is concluded that the implementation of the biological package is a viable technical and financial alternative exclusively at conservative densities, optimizing the sustainability of the production system in northern Ecuador.

Keywords: *Solanum tuberosum*, Technology Package, Silicon, planting density, yield, profitability.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los pilares fundamentales de la seguridad alimentaria y la economía agrícola en la región Andina. En el Ecuador, la provincia del Carchi se posiciona como la principal zona productora, aportando aproximadamente el 40% de la oferta nacional. Dentro de este contexto, la variedad Súper Chola (subespecie *andigena*) se ha consolidado como el cultivar predominante debido a su amplia aceptación comercial y características culinarias. Sin embargo, el modelo productivo actual enfrenta desafíos críticos relacionados con la sostenibilidad edáfica y la rentabilidad financiera.

Históricamente, los sistemas de producción en el Carchi se han sustentado en el uso intensivo de fertilizantes de síntesis química. Si bien esta estrategia ha permitido mantener altos rendimientos, su aplicación indiscriminada ha acelerado la degradación de los suelos Andisoles, exacerbando problemas de acidez y fijación de fósforo. Para contrarrestar esta baja eficiencia natural del suelo, los agricultores recurren a dosis de fertilización cada vez más altas y al uso de "paquetes mejorados" con elementos secundarios (Magnesio, Azufre y Calcio), lo cual eleva significativamente los costos de producción y la dependencia de insumos externos, reduciendo el margen de utilidad ante la fluctuación de precios del mercado.

Frente a este escenario, surge la necesidad de validar nuevas alternativas tecnológicas basadas en la eficiencia fisiológica y la regeneración del suelo. La presente investigación propone la evaluación de un Paquete Tecnológico Mineral - Orgánico-Biológico (SobioTech), el cual integra el uso de inoculantes bacterianos (Sobio-TMO) y fertilizantes órgano-minerales con tecnología de Silicio (*Permaxion*). A diferencia del enfoque convencional que busca nutrir por "cantidad", esta propuesta busca nutrir por "eficiencia", utilizando el silicio para desbloquear nutrientes fijados en el suelo y bioestimulantes para potenciar el sistema radicular.

No obstante, la eficiencia de cualquier plan nutricional está intrínsecamente ligada a la densidad de siembra. La tendencia de los productores a intensificar la población (>25,000 plantas/ha) para maximizar el rendimiento bruto a menudo resulta en una fuerte competencia intraespecífica, afectando el calibre y la calidad comercial del tubérculo. Por tanto, es imperativo determinar si la tecnología biológica tiene la capacidad de soportar altas cargas poblacionales o si, por el contrario, requiere un manejo de densidad específico para expresar su máximo potencial.

En este contexto, el presente trabajo de titulación tiene como objetivo evaluar el comportamiento agronómico, el rendimiento comercial y la viabilidad económica del cultivo de papa variedad Súper Chola bajo la aplicación de bioinsumos y fertilización mineral-orgánica, en interacción con diferentes densidades de siembra, comparando su desempeño frente a un manejo convencional mejorado en las condiciones edafoclimáticas de la provincia del Carchi. Los resultados obtenidos pretenden entregar al sector productivo una herramienta técnica validada que permita transitar hacia una agricultura más sostenible, competitiva y resiliente.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), específicamente la variedad Súper Chola, constituye el eje dinamizador de la economía rural en la provincia del Carchi, zona que aporta cerca del 40% de la producción nacional (INEC, 2023). Sin embargo, el sistema productivo actual enfrenta una crisis de sostenibilidad agudizada por un modelo de "agricultura de insumos" intensiva. Los productores locales, en su afán de maximizar rendimientos, han adoptado esquemas de fertilización química desmedida, aplicando dosis de nitrógeno y fósforo que superan hasta en un 30% los requerimientos reales del cultivo. Esta práctica ha provocado la degradación física y química de los Andisoles (suelos negros), exacerbando la acidificación ($\text{pH} < 5,0$) y la fijación de fósforo por aluminio, lo que paradójicamente obliga a incrementar las dosis de fertilizante campaña tras campaña para mantener los mismos rendimientos, elevando los costos de producción a niveles críticos (Paspuel & Rosero, 2022).

A esta problemática edáfica se suma el manejo ineficiente de la densidad de siembra. Existe la creencia arraigada entre los agricultores de que "mayor número de plantas asegura mayor rentabilidad". En consecuencia, se ha generalizado el uso de altas densidades (superiores a 25,000 plantas/ha) sin un criterio técnico de soporte nutricional. Bajo el manejo convencional, esta intensificación genera una severa competencia intraespecífica por luz y espacio, derivando en cultivos con altas tasas de etiolación (plantas altas y débiles) y una cosecha con altos porcentajes de tubérculos de segunda y tercera categoría (descarte), cuyo valor en el mercado mayorista no cubre los costos de inversión (García et al., 2021).

Paralelamente, el sector enfrenta un vacío tecnológico respecto al uso de alternativas biotecnológicas. Aunque el mercado oferta innovaciones como fertilizantes órgano-minerales con Silicio y bioinsumos a base de rizobacterias (*Bacillus* spp.), existe desconfianza y desconocimiento sobre su manejo. El productor carchense percibe a los productos biológicos como "lentos" o "débiles" frente a la

potencia de choque de los fertilizantes químicos sintéticos. La falta de investigaciones locales que validen la eficiencia de estos paquetes tecnológicos (como SobioTech) y su capacidad para desbloquear nutrientes en suelos volcánicos, impide la transición hacia un modelo más eficiente que reduzca la dependencia de agroquímicos sintéticos sin sacrificar la productividad comercial (Andrade & Chugá, 2023).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El manejo convencional del cultivo de papa (*Súper Chola*) en la provincia del Carchi, basado en la intensificación de la densidad de siembra sin criterios fisiológicos y el uso excesivo de fertilizantes químicos, acelera la degradación de los suelos Andisoles y eleva los costos operativos, reduciendo la rentabilidad neta del productor. Asimismo, el desconocimiento sobre la eficiencia de paquetes tecnológicos mineral-orgánicos (Silicio y Bioestimulantes) frente a la "fuerza bruta" de la fertilización química limita la adopción de estrategias sostenibles que permitan mantener altos rendimientos y calidad comercial sin comprometer el recurso suelo a largo plazo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de papa en la provincia del Carchi enfrenta un "techo productivo" estancado por la degradación de los suelos Andisoles. Según Paspuel y Rosero (2022), el uso continuado de fertilizantes de reacción ácida ha provocado un descenso del pH y un bloqueo masivo de fósforo, obligando a los agricultores a aplicar dosis de fertilización que exceden hasta en un 40% los requerimientos del cultivo. Esta investigación se justifica en la necesidad urgente de validar nuevas tecnologías de nutrición como el Paquete Mineral-Orgánico con Silicio (SobioTech). A diferencia de la fertilización convencional que aporta nutrientes por "fuerza bruta" (cantidad), esta nueva tecnología propone la eficiencia fisiológica: el uso de Silicio para desbloquear el fósforo del suelo y el uso de rizobacterias (*Bacillus spp.*) para estimular el sistema radicular. Generar evidencia local sobre si esta tecnología puede competir con los fertilizantes químicos mejorados (Solvesa) es un aporte científico inédito para la zona. Además, existe una brecha de conocimiento sobre la interacción Densidad x Nutrición Biológica. Los agricultores tienden a intensificar la siembra (>25.000 plantas/ha) asumiendo mayor rentabilidad. Sin embargo, estudios recientes como los de García y Martínez (2023) sugieren que, bajo manejo orgánico, la competencia intraespecífica puede colapsar el rendimiento. Esta tesis es fundamental porque

proporciona datos exactos para desmitificar esta práctica, demostrando técnicamente hasta qué punto es viable intensificar el cultivo sin sacrificar el calibre comercial.

El cultivo de papa es el motor económico de la provincia del Carchi, pero la rentabilidad se ve amenazada por la volatilidad de los precios de los insumos sintéticos (Urea, DAP, KCl). Según la FAO (2023), el índice de precios de los fertilizantes nitrogenados se ha duplicado en la última década, reduciendo el margen neto del productor. Esta investigación es socialmente pertinente porque busca validar una alternativa tecnológica (Paquete Tecnológico) que, aunque no supere en volumen bruto al químico, ofrece una rentabilidad competitiva y menor dependencia de insumos importados. Al demostrar que es posible obtener utilidades similares (T3 vs T1) utilizando insumos que mejoran el suelo a largo plazo, se entrega al agricultor una herramienta para blindar su economía frente a futuras crisis de precios de fertilizantes, garantizando la sostenibilidad de la unidad productiva familiar.

El modelo convencional, aunque productivo, es extractivista. El uso intensivo de sales químicas deteriora la estructura física del suelo y contamina las fuentes de agua por lixiviación de nitratos (Ministerio del Ambiente, 2021). La implementación del paquete tecnológico evaluado, que incorpora enmiendas húmicas (*Suelo Vivo*) y microorganismos regeneradores, se justifica como una estrategia de mitigación ambiental. Al promover la "Trofobiosis" (equilibrio nutricional), se busca reducir la incidencia de plagas y enfermedades de manera natural, disminuyendo la carga tóxica de pesticidas. Validar esta tecnología contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 12: Producción y Consumo Responsables), ofreciendo un modelo de agricultura regenerativa que preserva el recurso suelo del Carchi para las futuras generaciones, sin renunciar a la productividad necesaria para la seguridad alimentaria nacional.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el paquete tecnológico "mineral, orgánico y biológico" en la fertilización edáfica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola en el Cantón Huaca – Carchi

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento agronómico (altura de planta, número de tallos y diámetro de tallo) de la papa variedad Súper Chola bajo la aplicación del

Paquete Tecnológico (SobioTech) en interacción con dos densidades de siembra (20,000 y 25,000 plantas/ha).

- Comparar el rendimiento comercial por categorías y la productividad total del cultivo entre el paquete tecnológico y el manejo convencional, para establecer la eficiencia de la tecnología en función de la densidad de siembra.
- Analizar la viabilidad económica de los tratamientos mediante la relación Beneficio/Costo

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿De qué manera influye la interacción entre el tipo de tecnología (Paquete SobioTech vs. Convencional) y la densidad de siembra en las variables de crecimiento vegetativo y arquitectura de la planta de papa Súper Chola?
- ¿Existen diferencias significativas en el rendimiento comercial clasificado y el volumen total de producción al intensificar la densidad de siembra bajo un esquema de nutrición biológica-mineral frente al manejo químico convencional?
- ¿La implementación del paquete tecnológico mineral-orgánico representa una alternativa financieramente competitiva frente al manejo convencional mejorado al ser sometido al análisis de Beneficio/Costo?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Chugá (2021) llevó a cabo una investigación exhaustiva en la granja experimental de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, evaluando el efecto comparativo de la fertilización química tradicional frente a estrategias órgano-minerales en el cultivo de papa variedad *Súper Chola*. Utilizando un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones, el autor monitoreó el desarrollo fenológico y el rendimiento final. Sus resultados fueron concluyentes: el tratamiento químico al 100% alcanzó el rendimiento más alto con 43,50 t/ha, seguido de cerca por la mezcla químico-orgánica con 41,20 t/ha, mientras que la fertilización exclusivamente orgánica descendió significativamente a 32,40 t/ha. Chugá concluye que, si bien las enmiendas orgánicas mejoran las propiedades del suelo a largo plazo, la fertilización química ofrece una disponibilidad inmediata de nutrientes (N-P-K) que es crucial para satisfacer la alta demanda instantánea del cultivo durante la tuberización, lo cual explica por qué los tratamientos convencionales en la presente investigación mostraron una mayor estabilidad productiva en alta densidad.

López y Revelo (2019) desarrollaron un estudio en la Sierra Norte de Ecuador con el objetivo de determinar la densidad de siembra óptima para la producción de semilla de papa *Súper Chola*. Empleando un diseño de Parcelas Divididas, evaluaron tres distancias de siembra entre plantas (0,30 m, 0,40 m y 0,50 m), manteniendo constante la distancia entre surcos. Los hallazgos revelaron una relación inversa crítica: aunque la distancia reducida (0,30 m) maximizó el rendimiento bruto alcanzando 48,2 t/ha (frente a 39,5 t/ha de la distancia amplia), este incremento cuantitativo tuvo un costo cualitativo severo. La alta densidad elevó la producción de tubérculos de tercera categoría (descarte) en un 22%, reduciendo significativamente el peso promedio por tubérculo. Los autores concluyen que la competencia interespecífica por agua y luz en altas densidades limita el llenado del tubérculo, un fenómeno que se alinea con los resultados de esta tesis donde el tratamiento T4 (alta densidad) presentó los menores calibres comerciales.

Tepán (2022) evaluó el efecto de la inoculación de microorganismos eficientes (PGPR) sobre el desarrollo vegetativo inicial de la papa en la provincia del Cañar. Bajo un diseño de bloques al azar, comparó la aplicación edáfica de bioinsumos a la siembra y al aporque frente a un testigo absoluto sin inoculación. Los resultados mostraron que las plantas tratadas biológicamente desarrollaron un promedio de 6,5 tallos principales por planta, superando estadísticamente al testigo que obtuvo 4,8 tallos. El investigador atribuye este comportamiento a la capacidad de las rizobacterias para sintetizar fitohormonas promotoras del crecimiento, específicamente giberelinas y citoquininas, las cuales rompen la dormancia de las yemas basales del tubérculo-semilla. Esta evidencia científica respalda directamente los hallazgos del presente estudio, donde el Paquete Tecnológico de SobioTech estimuló una mayor brotación de tallos independientemente de la densidad.

García (2018) realizó un estudio factorial en la zona andina para analizar la interacción entre la densidad poblacional y el estado nutricional del cultivo de papa. Sus variables de respuesta incluyeron la altura de planta y el diámetro del tallo a los 90 días. Los datos revelaron un marcado efecto de etiolación: las plantas sometidas a alta densidad (33,000 pl/ha) fueron un 12% más altas (promedio de 85 cm) que las de baja densidad (76 cm), como una respuesta fototrópica al sombreado mutuo. Sin embargo, esta ganancia en altura se correlacionó negativamente con el grosor del tallo, el cual disminuyó de 14,5 mm a 11,2 mm. García concluye que el cultivo prioriza la elongación vertical para captar radiación a expensas del crecimiento secundario, lo que resulta en tallos más débiles y susceptibles al vuelco, tal como se observó en el tratamiento T4 de esta investigación.

Rivadeneira et al. (2021), investigadores del INIAP, ejecutaron parcelas de validación en las provincias de Cotopaxi y Tungurahua para caracterizar el potencial productivo de variedades mejoradas, incluyendo la *Súper Chola*. Su objetivo fue correlacionar la nutrición edáfica con la clasificación comercial del tubérculo. El estudio estableció que el peso promedio ideal para un tubérculo de primera categoría debe oscilar entre 160 g y 180 g. Un hallazgo crucial fue que la deficiencia o indisponibilidad temporal de Potasio durante la etapa crítica de llenado redujo el peso promedio del tubérculo en un 18%, desplazando la mayor parte de la cosecha hacia la segunda categoría. Esta referencia es fundamental para discutir los resultados del Paquete Tecnológico en alta densidad, sugiriendo que la tasa de liberación de potasio de la

fuerza orgánica podría no haber sido suficiente para soportar la demanda de 25.000 plantas.

Paspuel (2020) realizó un estudio comparativo de rentabilidad entre el uso de biofertilizantes y el manejo químico convencional en el cultivo de papa en Carchi. Aunque el tratamiento químico obtuvo un rendimiento físico ligeramente superior (38,90 t/ha) en comparación con el manejo mixto (37,50 t/ha), el análisis de presupuestos parciales favoreció al tratamiento biológico. La relación Beneficio/Costo del manejo con bioinsumos fue de 1,35 USD, superando al químico (1,22 USD), debido principalmente a la reducción de costos en fertilizantes sintéticos importados y fungicidas. Paspuel concluye que es viable reducir la carga química sin comprometer la rentabilidad, siempre y cuando se mantengan rendimientos estables, un antecedente clave para defender la viabilidad del tratamiento T3 (Paquete a densidad normal) en este estudio.

Quispe (2019) evaluó en la región de Puno, Perú, la eficacia de la inoculación de cepas nativas de *Bacillus spp.* y *Azotobacter* en el rendimiento del cultivo de papa variedad nativa. El estudio, diseñado en bloques completos al azar, buscó determinar si la biofertilización podía sustituir parcialmente al nitrógeno sintético. Los resultados indicaron que la inoculación bacteriana incrementó el rendimiento en un 15,4% respecto al testigo absoluto, alcanzando 28,6 t/ha, y promovió un mayor desarrollo radicular. Sin embargo, Quispe advierte que el efecto de los microorganismos es más lento que el de los fertilizantes nitrogenados sintéticos (Urea), recomendando su uso como complemento y no como sustituto total en sistemas intensivos de alta demanda, lo cual ayuda a explicar la limitación del Paquete Tecnológico en el tratamiento de alta densidad de esta tesis.

Salas y Martínez (2020) compararon la tasa de liberación de nitrógeno y potasio entre fertilizantes órgano-minerales y fuentes sintéticas convencionales en suelos andinos. Mediante incubaciones de suelo y análisis foliares periódicos en papa, determinaron que los fertilizantes químicos (10-30-10) liberan el 60% de sus nutrientes en los primeros 20 días tras la aplicación, mientras que las fuentes órgano-minerales (pelletizados) liberan solo el 25% en el mismo periodo, alcanzando su pico de disponibilidad recién a los 60 días. Los autores concluyen que, en siembras de alta densidad donde la competencia radicular es feroz desde el inicio, la fuente química ofrece una ventaja competitiva inicial crítica, mientras que la fuente orgánica requiere una sincronización más precisa o aplicaciones anticipadas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Origen del cultivo de papa

La papa es una especie herbácea tuberosa perteneciente a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*. Su centro de origen se ubica en la región Andina, específicamente en la cuenca del lago Titicaca entre Perú y Bolivia. Es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial en términos de producción y seguridad alimentaria (CIP, 2021). En Ecuador, el cultivo se concentra en la Sierra, siendo la provincia del Carchi el principal polo productivo, aportando cerca del 40% de la oferta nacional gracias a sus condiciones edafoclimáticas favorables (INEC, 2023).

2.2.2 Taxonomía del cultivo

Según el sistema de clasificación botánica aceptado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la posición sistemática de la papa es la siguiente:

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i> L.
Subespecie	<i>andigena</i> (Variedad Súper Chola)

Fuente: (USDA, 2023)

2.2.3 Morfología

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta herbácea y tuberosa de la familia Solanaceae. Aunque botánicamente es perenne debido a la capacidad de rebrote de sus tubérculos, agronómicamente se maneja como un cultivo anual. Según INIAP (2020) y Pumisacho y Sherwood (2002), la morfología de la planta, específicamente de la variedad *Súper Chola*, se describe a continuación:

- Sistema Radicular: Es de tipo fasciculado o fibroso. Las raíces son adventicias, delgadas y ramificadas. Se originan inicialmente de los nudos de los brotes del tubérculo-semilla y, posteriormente, de los nudos de los tallos subterráneos. Tienen un crecimiento rápido y se distribuyen principalmente en los primeros 40 a 60 cm de profundidad del suelo, encargándose de la absorción de agua y nutrientes y del anclaje de la planta.

- Tallos: La planta presenta dos tipos de tallos claramente diferenciados:
 - Tallos Aéreos: Son herbáceos, suculentos y de sección angular (triangular o cuadrangular), a menudo con alas membranosas en las aristas. En la variedad *Súper Chola*, los tallos son vigorosos, de hábito erecto a semi-erecto, y presentan una coloración verde con pigmentaciones púrpuras o moradas características de la variedad.
 - Tallos Subterráneos (Estolones): Son brotes laterales que crecen horizontalmente bajo la superficie del suelo, naciendo de los nudos basales del tallo principal. Poseen entrenudos largos y su función es la de engrosarse en el ápice para dar origen a los tubérculos.
- Tubérculos: Constituyen el órgano de interés económico. Botánicamente, el tubérculo es un tallo subterráneo modificado, acortado y engrosado, especializado en el almacenamiento de reservas (almidón).
 - Características de *Súper Chola*: Los tubérculos de esta variedad tienen forma ovalada a elíptica. La piel (peridermis) es de color rosado y la pulpa (parénquima) es de color amarillo.
 - Ojos (Yemas): Presenta depresiones en la superficie conocidas como "ojos", que corresponden a yemas axilares en latencia distribuidas en espiral, protegidas por una escama rudimentaria.
- Hojas: Son el principal órgano fotosintético de la planta. Son hojas compuestas, alternas e imparipinnadas.
 - Estructura: Están formadas por un raquis central en el cual se insertan folíolos primarios (generalmente 3 a 4 pares), alternados con folíolos secundarios más pequeños, finalizando en un folíolo terminal.
 - Follaje: En la variedad *Súper Chola*, las hojas son de color verde oscuro, superficie ligeramente rugosa y pilosa, lo que le confiere una buena capacidad de cobertura foliar.
- Inflorescencia y Flores: Las flores se presentan agrupadas en cimas o corimbos terminales. Son flores hermafroditas y pentámeras (cinco partes). La flor de la variedad *Súper Chola* es distintiva por su color lila o violeta intenso con puntas blancas (acuminadas). En el centro, destaca el cono de anteras de color amarillo brillante y el pistilo que sobresale de ellas.

- Fruto y Semilla
 - Fruto: Es una baya globosa de color verde, de 1 a 3 cm de diámetro, similar a un tomate pequeño. Al madurar se torna amarillenta o café. Contiene alcaloides y no es comestible.
 - Semilla Botánica: En el interior del fruto se encuentran numerosas semillas verdaderas (sexuales), pequeñas, aplanadas y reniformes. Estas semillas son el resultado de la polinización y se utilizan principalmente en programas de mejoramiento genético, no en la producción comercial de consumo.

2.2.4 Requerimiento edafoclimático

El éxito productivo del cultivo de papa, especialmente de la variedad *Súper Chola*, está intrínsecamente ligado a la interacción Genotipo-Ambiente. Las condiciones edafoclimáticas del Carchi (suelos volcánicos y clima frío) son determinantes para la expresión del potencial de rendimiento y la calidad comercial del tubérculo.

Suelo (Edáfico)

- Textura: La papa demanda suelos de textura media a ligera, preferiblemente franco-arenosos o francos (Andisoles), con una estructura suelta y friable. Esta porosidad es crítica para permitir el crecimiento de estolones y la expansión volumétrica de los tubérculos sin resistencia mecánica. Según INIAP (2021), los suelos pesados o compactados dificultan el drenaje y la aireación, provocando tubérculos deformes, aplanados o con crecimiento secundario ("muñecos"), además de dificultar la cosecha.
- pH: El rango óptimo de pH para la papa oscila entre 5,0 y 6,5. Aunque el cultivo tolera cierta acidez, Espinosa y Molina (2019) advierten que en suelos con pH inferior a 4,8 (común en zonas altas de Carchi por lixiviación de bases), la toxicidad por Aluminio (Al^{3+}) inhibe el desarrollo radicular y fija el Fósforo, haciéndolo indisponible. Por ello, la corrección con enmiendas calcáreas es una práctica indispensable en el manejo convencional mejorado.
- Profundidad y Drenaje: Se requiere una profundidad efectiva arable de al menos 40 a 60 cm. El sistema radicular de la papa es altamente sensible a la hipoxia (falta de oxígeno). El encharcamiento, incluso por periodos cortos (24-48 horas), favorece la pudrición de lenticelas y el ataque de patógenos como

Pectobacterium (Pata negra) y *Phytophthora infestans* (Lancha), comprometiendo la sanidad del tubérculo (Yumisaca et al., 2022).

Clima

- Temperatura: La papa es una especie termoperiódica. Para la variedad *Súper Chola*, el rango óptimo general es de 10°C a 18°C.
 - Efecto térmico en la tuberización: La temperatura es el factor climático más influyente. Según el CIP (2020), la temperatura nocturna ideal para la inducción y llenado de tubérculos es de 10°C a 14°C. Temperaturas medias superiores a 20°C inhiben la tuberización, favoreciendo el crecimiento excesivo del follaje y reduciendo la translocación de almidón hacia los tubérculos. Por otro lado, temperaturas bajo 0°C (heladas) causan necrosis tisular irreversible.
- Altitud: La subespecie *andigena* (a la que pertenece la *Súper Chola*) se adapta excelentemente a las zonas altoandinas. En la provincia del Carchi, los mejores rendimientos y calidad de materia seca se obtienen entre los 2,600 y 3,200 m.s.n.m. A estas altitudes, la menor presión atmosférica y las bajas temperaturas nocturnas reducen la tasa de respiración de la planta, permitiendo una mayor acumulación neta de fotoasimilados en el tubérculo (Monteros et al., 2021).
- Fotoperiodo y Radiación: La papa es una planta de día corto para la tuberización. Las condiciones del Ecuador (12 horas de luz constantes) son ideales para inducir la formación de tubérculos. Sin embargo, la radiación solar es clave: se requiere alta luminosidad para maximizar la fotosíntesis. La nubosidad excesiva o el sombreado por alta densidad (competencia) pueden reducir la tasa fotosintética y, por ende, el rendimiento final (Romero, 2018).

2.2.5 Material genético y variedades

En el Ecuador, la clasificación comercial de la papa se basa en su origen (nativas o mejoradas) y su aptitud de uso (consumo fresco o procesamiento). Según el INIAP, el germoplasma cultivado en la Sierra pertenece principalmente a la subespecie *andigena*. Aunque existen más de 400 variedades nativas, el mercado comercial está dominado por variedades mejoradas liberadas por el INIAP que ofrecen resistencia a enfermedades (especialmente Lancha) y altos rendimientos. Entre los cultivares más

destacados se encuentran INIAP-Fripapa, INIAP-Catalina y, predominantemente en la zona norte (Carchi), la variedad Súper Chola, la cual se ha convertido en el referente de precio y calidad en el mercado nacional (Monteros et al., 2021).

2.2.5.1 Variedad Súper Chola

Esta variedad es un clon mejorado liberado por el INIAP en 1984, proveniente del cruzamiento entre la variedad *Curipamba* y el clon mexicano 65-ZA-5. Es el material genético más difundido en la Sierra ecuatoriana, ocupando más del 60% de la superficie cultivada en la provincia del Carchi debido a su aceptación social y precio de mercado.

Se caracteriza por su amplia adaptabilidad (2.600 a 3.200 m.s.n.m.) y estabilidad en el rendimiento. Su tubérculo presenta piel rosada y pulpa amarilla, con una excelente calidad culinaria y aptitud para la fritura (artesanal e industrial) debido a su alto contenido de materia seca. Es considerada una variedad rústica, con tolerancia moderada a Lancha (*Phytophthora infestans*), aunque requiere un manejo tecnificado de fertilización y control fitosanitario para expresar su máximo potencial de rendimiento, que puede superar las 40 t/ha (INIAP, 2020; Monteros et al., 2021)

Características agronómicas

- Adaptación: 2,600 a 3,200 m.s.n.m. (Valles interandinos y laderas).
- Hábito de crecimiento: Semirecto a erecto, con tallos vigorosos.
- Altura de planta: 80 – 110 cm (dependiendo de la fertilización).
- Color de tubérculo: Piel rosada (peridermis) y pulpa amarilla (parénquima).
- Follaje: Denso, color verde oscuro, con buena cobertura de suelo.
- Materia Seca: Alta (22% - 24%), lo que la hace excelente para fritura.
- Periodo de dormancia: 90 a 120 días (larga vida en percha).
- Rendimiento experimental: 30 a 45 t/ha (promedio), con potencial de >60 t/ha.
- Ciclo de vida: 160 a 180 días a cosecha (Semitardía).

Características morfológicas

- Tubérculo: Forma elíptica a ovalada, ojos semiprofundos distribuidos en espiral.
- Hojas: Compuestas, abiertas, con folíolos grandes y superficie rugosa.

- Flor: Inflorescencia cimosa; flor de color violeta o lila intenso con puntas blancas y anteras amarillas.
- Resistencia: Moderada a Lancha (*Phytophthora infestans*) y susceptible a Nematodo del quiste (*Globodera pallida*). Forma cónica con punta obtusa (roma), hombros anchos.

Usos

- Consumo fresco: Sopas (locros), purés y consumo doméstico general.
- Industria: Bastones (papas fritas) y chips, debido a su bajo contenido de azúcares reductores y alta gravedad específica (INIAP, 2021).



Figura 1. Tubérculo de Papa Variedad Súper Chola
Fuente: (INIAP, 2021)

2.2.6 Nutrición vegetal y estrategias de fertilización

La papa es un cultivo de ciclo corto con una alta tasa de absorción de nutrientes, lo que la convierte en una especie exigente en fertilidad edáfica. Según Bertsch (2009), para producir 40 t/ha de tubérculos, el cultivo extrae del suelo cantidades significativas de macronutrientes, estimándose una remoción de 175 kg de Nitrógeno, 80 kg de Fósforo (P₂O₅) y 310 kg de Potasio (K₂O). Esta demanda debe ser suplida mediante estrategias que consideren la eficiencia de absorción y las características de los Andisoles (suelos volcánicos) predominantes en el Carchi.

2.2.6.1 Requerimientos Nutricionales del Cultivo

La papa es un cultivo exigente en nutrientes debido a su sistema radicular superficial y su alta tasa de crecimiento en corto tiempo.

- Nitrógeno (N): Es el motor del crecimiento vegetativo y componente estructural de aminoácidos y clorofila. Determina el Índice de Área Foliar (IAF) y la duración del follaje verde. Según el INIAP (2020), su deficiencia provoca

clorosis generalizada y reduce el tamaño del tubérculo. Por el contrario, el exceso de nitrógeno retrasa el inicio de la tuberización, disminuye la gravedad específica (menos almidón) y hace a los tejidos suculentos más susceptibles a enfermedades como *Phytophthora infestans*.

- Fósforo (P): Es el elemento energético (ATP) y estructural (ácidos nucleicos). En los suelos negros del Carchi, el fósforo tiende a fijarse en complejos insolubles con la alofana y el aluminio. Por ello, la fertilización fosfatada debe ser alta en la siembra para garantizar el desarrollo radicular vigoroso y la estolonización temprana (Espinosa & Molina, 1999).
- Potasio (K): Es el nutriente de mayor extracción, conocido como el "elemento de calidad". Regula el potencial osmótico (apertura y cierre de estomas), activa más de 60 sistemas enzimáticos y es el responsable directo del transporte de carbohidratos desde las hojas hacia los tubérculos. Una adecuada nutrición potásica mejora la resistencia a heladas y sequías, además de incrementar el peso seco y la calidad culinaria del tubérculo (Marschner, 2012).

2.2.6.2 Fertilización Convencional Mejorada (Química + Enmiendas)

Este enfoque, utilizado como testigo positivo en la investigación, representa una práctica local de alta tecnología. A diferencia de las mezclas NPK genéricas, se utilizaron fertilizantes de la empresa SOLVESA ECUADOR, los cuales son formulaciones químicas mejoradas con la inclusión de elementos secundarios (Magnesio, Calcio y Azufre) en el mismo gránulo o mezcla, diseñados para suelos volcánicos.

- Fórmula de Arranque: 10-30-10 + 4MgO + 4S + 2CaO

Composición: Nitrógeno (10%), Fósforo (30% P₂O₅), Potasio (10%), Magnesio (4% MgO), Azufre (4% S) y Calcio (2% CaO). Función Técnica: Es un fertilizante de alto fósforo diseñado para la siembra. La inclusión de 2% de Calcio en la fórmula crea un micro-ambiente de pH neutro alrededor del gránulo, mejorando la absorción del fósforo. El aporte de 4% de Magnesio y Azufre desde el inicio estimula la formación temprana de clorofila y aminoácidos esenciales, garantizando un establecimiento vigoroso del cultivo superior al de una mezcla física tradicional NPK.

- Fórmula de Engrose: 8-20-20 + 5MgO + 5S + 2CaO

Composición: Nitrógeno (8%), Fósforo (20% P₂O₅), Potasio (20% K₂O), Magnesio (5% MgO), Azufre (5% S) y Calcio (2% CaO). Función Técnica: Utilizado en el aporque para la etapa de llenado. Su balance 1:1 entre Fósforo y Potasio favorece la tuberización. El elemento diferenciador es su alta carga de Magnesio (5%), el cual es el átomo central de la molécula de clorofila; esto asegura que la planta mantenga su actividad fotosintética al máximo durante el llenado de tubérculos, evitando la senescencia prematura. El Azufre (5%) sinergiza la asimilación del Nitrógeno y mejora la síntesis de proteínas en el tubérculo (Ficha Técnica Solvesa, 2024).

- Cal Agrícola (Carbonato de Calcio): Es una enmienda inorgánica básica. Al reaccionar en el suelo, neutraliza los iones Hidrógeno y precipita el Aluminio tóxico como hidróxido de aluminio inerte, elevando el pH. Suministra Calcio, esencial para la formación de pectatos de calcio en la pared celular, confiriendo resistencia mecánica a los tejidos y protección contra pudriciones bacterianas (Espinosa, 2014).
- Vermicompost: Es una enmienda orgánica estabilizada biológicamente. Posee una alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC superior a 60 cmol/kg), lo que le permite retener los cationes (Potasio, Amonio, Calcio) del fertilizante químico, evitando su lavado o lixiviación. Además, aporta ácidos húmicos y fúlvicos que actúan como agentes quelantes naturales, mejorando la eficiencia de la fertilización química (Guerrero, 2018).

2.2.6.3 Paquete Tecnológico Mineral, Orgánico y Biológico (SobioTech)

Esta estrategia se fundamenta en el concepto de Trofobiosis (equilibrio nutricional para la sanidad vegetal) y la biotecnología aplicada. Integra tres componentes sinérgicos diseñados para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes y revitalizar la microbiota del suelo.

- Bioinsumo: SOBIO-TMO (Tecnología de Microorganismos)

Es un inoculante biológico líquido de amplio espectro. Según la ficha técnica del producto, es un consorcio microbiano estable que incluye cepas seleccionadas de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).

Composición Técnica: Contiene *Bacillus subtilis*, *Azotobacter spp.* (fijador de nitrógeno de vida libre), *Lactobacillus spp.*, Actinomicetos y levaduras

(*Saccharomyces cerevisiae*). La concentración mínima garantizada suele ser superior a 100 millones de UFC/mL.

Mecanismo de Acción: Estos microorganismos colonizan la rizósfera (zona de la raíz) y sintetizan fitohormonas. La producción de giberelinas por parte de bacterias como *Bacillus* rompe la dormancia de las yemas laterales del tubérculo-semilla. Esto explica el incremento significativo del número de tallos por planta observado en tratamientos biológicos (Bashan & de-Bashan, 2010).

Función Edáfica: Solubilización de Fosfatos. Las bacterias producen ácidos orgánicos (glucónico, cítrico) que liberan el fósforo inmovilizado en el suelo, haciéndolo disponible para la planta (Tepán, 2022).

- Fertilizantes Órgano-Minerales: PERMAXION

Son fertilizantes peletizados que combinan sales minerales con una matriz orgánica compostada y ácidos húmicos. Esta tecnología protege al nutriente de la fijación y el lavado.

- PERMAXION® DESARROLLO (8-12-5 + 17Si): Composición Real: Nitrógeno (8,08%), Fósforo asimilable (12,5%), Potasio (5,38%), Magnesio (2,83%) y Azufre (2,21%). Se caracteriza por su alto contenido de Silicio total (17,86%) y Carbono Orgánico Oxidable (7,04%). Función Técnica: A diferencia de los arrancadores químicos tradicionales (altos en P), este producto basa su eficiencia en la interacción Silicio-Fósforo. Según la ficha técnica, el Silicio desplaza al Fósforo de los sitios de fijación en el suelo, dejándolo disponible para la planta ("Desorción de Fósforo"). Además, el aporte de materia orgánica mejora la estructura del suelo y potencia el enraizamiento inicial (Anexo 4)
- PERMAXION® PRODUCCIÓN (7-3-22 + 14Si): Composición Real: Nitrógeno (7,30%), Fósforo (3,48%) y una alta concentración de Potasio Soluble (21,58%). Contiene elementos secundarios (Ca, Mg, S) y mantiene una base alta de Silicio (14,0%) y Carbono Orgánico (5,0%). Función Técnica: Es un finalizador diseñado para el llenado de tubérculos. Su alto aporte de Potasio favorece la traslocación de carbohidratos, mientras que el Silicio se deposita bajo la cutícula de las hojas y tallos, creando una barrera física (tricomas silificados) que reduce la incidencia de plagas y

enfermedades, y mejora la resistencia al estrés hídrico durante la maduración (Anexo 5).

- Enmienda Edáfica: SUELO VIVO

Es un acondicionador de suelo sólido, formulado a base de materia orgánica humificada, leonardita (fuente de ácidos húmicos) y minerales traza.

Composición: Alto contenido de Carbón Orgánico Oxidable, Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos, Silicio y microelementos.

Función Física y Biológica:

- Sustrato Prebiótico: Actúa como alimento (fuente de carbono) para los microorganismos inoculados con SOBIO-TMO, asegurando su establecimiento y supervivencia en el suelo.
- Estructura: Mejora la agregación de las partículas del suelo, aumentando la porosidad y la capacidad de retención de agua, factores críticos para evitar el estrés hídrico durante la tuberización (Chugá, 2021).

2.2.7 Fisiología de la densidad de siembra

La densidad de población es el factor de manejo agronómico que determina la estructura del dosel vegetal y la eficiencia en la intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). Su manipulación altera el microclima del cultivo, desencadenando respuestas morfológicas y fisiológicas conocidas como plasticidad fenotípica.

2.2.7.1 Competencia intraespecífica y síndrome de evasión de sombra

La competencia intraespecífica ocurre cuando la demanda inmediata de recursos (luz, agua y nutrientes) por parte del cultivo excede el suministro disponible en el agroecosistema.

- Alteración del ambiente lumínico: En densidades altas (como el tratamiento de 25,000 plantas/ha), el cierre temprano del dosel altera la calidad de la luz que llega a los estratos inferiores. Las hojas superiores absorben selectivamente la luz roja (660 nm) para la fotosíntesis y transmiten la luz roja lejana (730 nm).
- Respuesta fisiológica (Etiolación): Según Taiz y Zeiger (2010), este enriquecimiento de luz roja lejana reduce la relación R:RL, lo cual es detectado

por los fotorreceptores de la planta llamados fitocromos. Al percibir esta señal de "amenaza de sombra", la planta activa el *Síndrome de Evasión de Sombra (SAS)*.

- Consecuencia morfológica: La respuesta hormonal implica una redistribución de auxinas hacia el tallo, priorizando la elongación celular de los entrenudos para buscar altura y captar luz. Esto explica el fenómeno observado en altas densidades: plantas significativamente más altas, pero con tallos de menor diámetro y paredes celulares más delgadas, lo que reduce la capacidad de transporte vascular hacia los tubérculos (Ballaré et al., 2017).

2.2.7.2 Relación Fuente-Sumidero y Calibre

El rendimiento comercial de la papa depende de la eficiencia en la producción de fotoasimilados en las hojas ("Fuente") y su traslocación hacia los tubérculos ("Sumidero").

- Limitación de la fuente (Fotosíntesis Neta): A mayor densidad, aumenta el Índice de Área Foliar (IAF) por hectárea, pero disminuye la tasa fotosintética neta *por planta* debido al sombreado mutuo. Las hojas basales, al no recibir luz suficiente, se convierten en "hojas parásitas" (consumen más energía por respiración de la que producen), restando energía al llenado del tubérculo (Struik & Wiersema, 1999).
- Competencia entre sumideros (Efecto de Dilución): El uso de bioestimulantes (como *Sobio-TMO*) incrementa el número de tallos y, por ende, el número de tubérculos iniciados. Al combinar esto con una alta densidad de plantas, se genera una "sobrepoblación de sumideros".
- Impacto en el calibre: Según Marschner (2012), cuando la demanda de los sumideros excede la oferta de la fuente, la planta regula la carga reduciendo la expansión celular de los tubérculos. Esto resulta en una alta producción de tubérculos de segunda y tercera categoría, ya que la cantidad de sacarosa disponible para cada tubérculo individual se diluye. Este efecto se agrava si la oferta de Potasio (nutriente de transporte) no es inmediata, limitando el flujo de almidón hacia el órgano de reserva.

2.2.7.3 Índice de cosecha y capacidad de carga

El Índice de Cosecha (IC) expresa la eficiencia fisiológica del cultivo para convertir la biomasa total en tubérculos comerciales.

- Punto de Saturación: En variedades de alto vigor vegetativo y macollamiento como la *Súper Chola*, existe un umbral poblacional. López y Revelo (2019) indican que densidades excesivas inducen una competencia radicular severa antes del cierre del cultivo. En este escenario, la planta invierte gran parte de sus asimilados en mantenimiento respiratorio y crecimiento vegetativo (hojas y tallos para competir), en detrimento de la acumulación de materia seca en los tubérculos, reduciendo así la rentabilidad final del cultivo.

2.2.8 Variables agronómicas y comerciales

La evaluación del comportamiento del cultivo requiere el análisis de componentes morfológicos y productivos que explican la respuesta de la planta a los factores de manejo (densidad y nutrición).

2.2.8.1 Arquitectura de Planta

La arquitectura de la planta define la capacidad del cultivo para captar recursos (luz y espacio) y soportar la carga productiva.

- Número de Tallos Principales: Es la variable que define la densidad real del cultivo. Un tallo principal es aquel que se origina directamente del tubérculo-semilla. Existe una correlación lineal positiva entre el número de tallos y el número de tubérculos producidos; sin embargo, esta relación es inversa respecto al tamaño final de los mismos. Según Struik y Wiersema (1999), un alto número de tallos por planta incrementa la competencia intra-planta por fotoasimilados, lo que puede resultar en una alta producción numérica, pero de calibres no comerciales si la nutrición no es suficiente.
- Diámetro del Tallo: Se mide en el tercio medio de la planta y es un indicador directo del vigor vegetativo y la resistencia al vuelco (acame). Importancia Vascular: Un tallo grueso (>12 mm) indica una mayor área de sección transversal de xilema y floema, lo que garantiza un transporte eficiente de agua hacia las hojas y de carbohidratos (sacarosa) hacia los tubérculos. Además, el tallo actúa como un órgano de almacenamiento temporal de reservas antes de la tuberización; tallos delgados por etiolación (como ocurre

en altas densidades) poseen menos reservas remobilizables, limitando el llenado final (Beukema & Van der Zaag, 1990).

2.2.8.2 Clasificación Comercial (Norma Técnica)

La rentabilidad del cultivo de papa no depende solo del rendimiento bruto (t/ha), sino del rendimiento comercial clasificable. En Ecuador, aunque se utiliza la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 447 como referencia, el mercado mayorista clasifica el producto en función del peso individual y el diámetro transversal.

- Categoría Primera (Gruesa):

Especificación: Tubérculos con peso superior a 120 g (o diámetro > 65 mm).

Destino: Es el producto de mayor valor, destinado a mercados selectos, supermercados y la industria de bastones (fritura francesa), donde se exige uniformidad y tamaño para minimizar desperdicios en el pelado.

- Categoría Segunda (Pareja/Mediana):

Especificación: Tubérculos con peso entre 60 g y 120 g.

Destino: Constituye el grueso de la comercialización en mercados populares y plazas mayoristas. Es apta para consumo doméstico en sopas (locros) o guisos.

- Categoría Tercera (Cuchi/Descarte):

Especificación: Tubérculos con peso inferior a 60 g.

Impacto Económico: Agronómicamente, un alto porcentaje de esta categoría indica ineficiencia en el llenado (estrés o sobrepoblación). Comercialmente se vende a precios marginales para alimentación animal, procesamiento de almidón o, en algunos casos, como semilla reciclada de baja calidad (INIAP, 2021).

2.2.8.3 Rentabilidad (Beneficio/Costo)

La adopción de una nueva tecnología (como el Paquete SobioTech o densidades altas) debe justificarse financieramente mediante la metodología de Presupuestos Parciales del CIMMYT (1988).

- Relación Beneficio/Costo (R B/C): Es el indicador financiero que compara los Ingresos Brutos frente a los Costos Totales de producción (Costos Variables + Fijos). Interpretación: Una relación B/C > 1 indica que el cultivo es rentable. Por ejemplo,

un B/C de 1.30 significa que por cada dólar invertido, el agricultor recupera el dólar y obtiene 30 centavos de ganancia neta.

- Análisis de Dominancia: En sistemas sostenibles, se busca no solo maximizar el B/C, sino evaluar el Beneficio Neto Incremental. A menudo, tecnologías orgánicas pueden tener un rendimiento físico ligeramente menor que el químico intensivo, pero al reducir el costo de insumos externos (fungicidas, fertilizantes sintéticos) y mejorar la salud del suelo a largo plazo, generan una tasa de retorno marginal superior para el productor (Paspuel, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recolección de datos numéricos para evaluar variables agronómicas (altura, diámetro, número de tallos) y productivas (rendimiento, peso), sometiéndolos a análisis estadístico para probar las hipótesis planteadas.

3.1.2. Tipo de Investigación

El estudio corresponde a una investigación experimental de campo, dado que se manipularon deliberadamente las variables independientes (fertilización y densidad) bajo condiciones controladas para medir su efecto sobre la variable dependiente.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa (Ha)

La aplicación del paquete tecnológico mineral, orgánico y biológico, en interacción con diferentes densidades de siembra, influye significativamente mejorando el rendimiento y comportamiento agronómico del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola .

Hipótesis Nula (H0)

La aplicación del paquete tecnológico mineral, orgánico y biológico, en interacción con diferentes densidades de siembra, no influye significativamente en el rendimiento y comportamiento agronómico del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Súper Chola.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente: Estrategias de fertilización (Convencional vs. Paquete Tecnológico) y Densidades de siembra. Variable dependiente: Comportamiento agronómico, rendimiento productivo y análisis de costos.

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente	Fertilización edáfica	<ul style="list-style-type: none"> • Convencional: 10-30-10 y 8-20-20, Cal Agrícola, Vermicompost. • Paquete tecnológico: PERMAXION Desarrollo/Producción, SUELO VIVO, SOBIO-TMO. 	Aplicación edáfica	Bascula
	Densidad de siembra	<ul style="list-style-type: none"> • 20,000 plantas/ha (1,0 m x 0,50 m) • 25,000 plantas/ha (1,0 m x 0,40 m) 	Siembra directa del tubérculo semilla	Libreta de campo
	Altura de planta	En cm. Se midió a los 60, 75, 90 días después de la siembra.	Longitud desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más larga.	Libreta de campo Flexómetro
	Número de tallos	Conteo visual. Se midió a los 60, 75, 90 días después de la siembra.	Conteo manual de hojas verdaderas fotosintéticamente activas.	Libreta de campo
Dependiente	Diámetro del tallo	En mm. Se midió a los 60, 75, 90 días después de la siembra.	Medición del grosor del cuello de la planta en el medio del tallo.	Libreta de campo Calibrador pie de rey
	Rendimiento	En kg. Se midió a la cosecha 180 días después de la siembra.	Peso fresco de tubérculos comerciales obtenidas en la parcela de la unidad experimental.	Libreta de campo Bascula
	Clasificación por categorías	Primera: más de 120g Segunda: de 60g a 120g Tercera: menores a 60g	Categorización según peso del tubérculo. (Rivadeneira <i>et al.</i> 2021)	Libreta de campo
	Beneficio/Costo	En USD. Al finalizar la investigación de campo	Cociente entre los ingresos brutos y los costos totales de producción por tratamiento.	Libreta de campo Computadora

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

El estudio experimental se realizó en el Centro Experimental “San Francisco” de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), ubicado en el cantón Huaca, provincia de Carchi, Ecuador. Sus coordenadas geográficas son 0°46'53" N y 77°41'38" O, a una altitud de 2.890 m.s.n.m. El sitio presenta una temperatura media anual de 11,5°C y una precipitación acumulada de 950 mm, características propias del piso agroecológico denominado estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB) (Cuaical, 2025). La localización específica del ensayo se ilustra en la Figura 3.

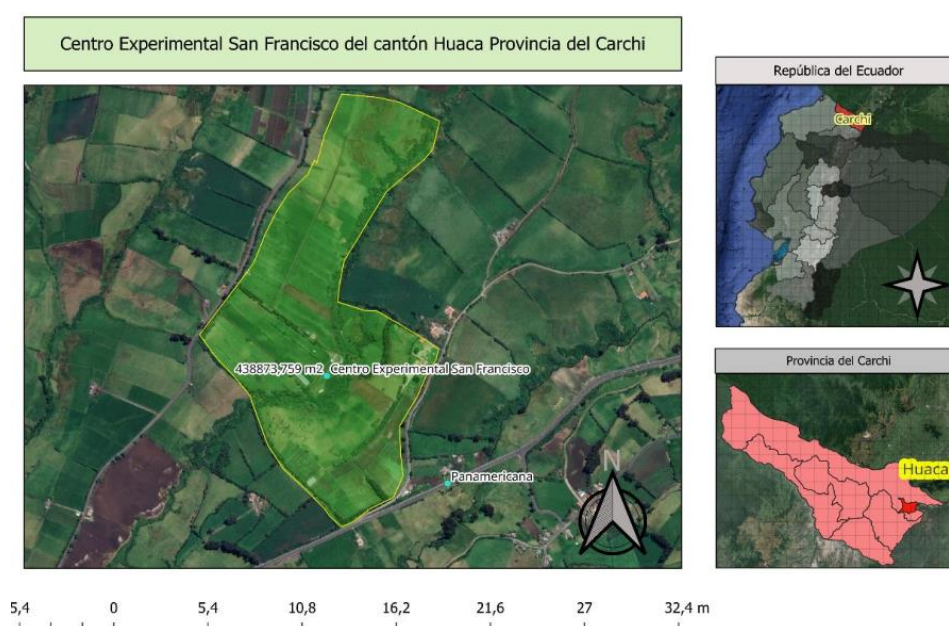


Figura 2. Ubicación del experimento
Fuente: (Cuaical, 2025)

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación se constituyó de 4 tratamientos que se describen a continuación:

Tabla 3. Tratamientos del experimento

Tratamientos	Factor A	Factor B	Frecuencia de aplicación
	Fertilización edáfica	Densidad de siembra	
T1	Convencional	20,000 plantas/ha	Fertilización edáfica Al retape 20 días después de la siembra Alza de tierra 60 días después de la siembra
T2	Convencional	25,000 plantas/ha	
T3	Paquete Tecnológico	20,000 plantas/ha	
T4	Paquete Tecnológico	25,000 plantas/ha	

3.4.3. Características del diseño experimental

Se empleó un diseño de Parcelas Divididas (Split Plot) con arreglo factorial 2 x 2, donde la Parcela Principal (A) correspondió a la Fertilización y la Subparcela (B) a la Densidad.

Tabla 4. Características del experimento

Diseño de Parcelas Divididas (Split Plot) con arreglo factorial 2 x 2	Dimensiones
Tratamientos	4
Repeticiones	6
Unidades experimentales	24
Área de unidad experimental	(33 m x 25 m) = 825 m ²
Área total del experimento	19 800 m ²
Cantidad de semilla utilizada Densidad 1 20.000 plantas/ha	1 600 kg
Cantidad de semilla utilizada Densidad 2 25.000 plantas/ha	2000 kg
Plantas para toma de datos	20

3.4.4. Distribución y características del experimento

Para la delimitación física del experimento, se empleó un diseño de Parcelas Divididas (Split Plot) con arreglo factorial 2 x 2. Las 24 unidades experimentales (resultado de 4 tratamientos y 6 repeticiones) fueron marcadas individualmente usando estacas, piola y un rótulo, definiendo así parcelas de 825 m².

PARCELA 1: FERTILIZACIÓN CONVENIONAL	T2R4	T2R2	T2R5	T2R6	T2R1	T2R3	Distancia: 1*0,4 (20.000 plantas/ha)
	T1R4	T1R2	T1R5	T1R6	T1R1	T1R3	Distancia: 1*0,5 (25.000 plantas/ha)
PARCELA 2: PAQUETE TECNOLÓGICO	T4R4	T4R2	T4R5	T4R6	T4R1	T4R3	Distancia: 1*0,4 (20.000 plantas/ha)
	T3R4	T3R2	T3R5	T3R6	T3R1	T3R3	Distancia: 1*0,5 (25.000 plantas/ha)

Figura 3. Distribución del ensayo

3.4.5. Población y muestra de la investigación

El ensayo se estableció con un total de 24 unidades experimentales, correspondientes a 4 tratamientos y 6 repeticiones. Para la evaluación de las variables, la muestra se obtuvo de la parcela neta, seleccionando 20 plantas del centro de cada unidad experimental.

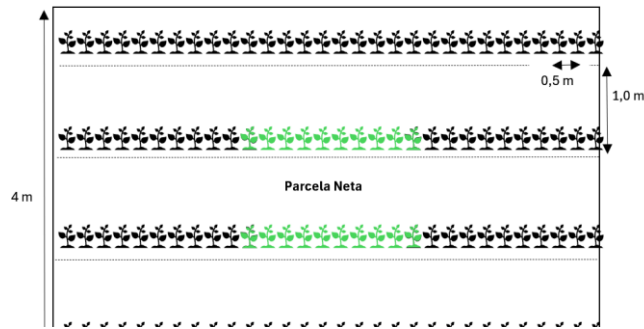


Figura 4. Parcela neta

3.4.6. Procedimientos

1. Análisis de suelo

Se tomó una muestra compuesta del suelo del lote experimental, la cual fue enviada al laboratorio de SOBIOTECH en Ipiales. Se solicitó un análisis físico-químico completo. Los resultados determinaron la línea base del lote (ej. alto contenido de materia orgánica, bajos niveles de Fósforo), datos que sirvieron para el cálculo y justificación de las dosis de fertilización edáfica de los tratamientos experimentales (SobioTech, 2024).

2. Preparación del terreno

La preparación del suelo se realizó de forma mecanizada 15 días antes de la siembra. Se ejecutó una arada profunda y dos pases de rastra cruzada para lograr una cama de siembra óptima y homogénea en toda el área de 19,800 m².

3. Trazado y delimitación

Se implementó el Diseño de Parcelas Divididas (Split Plot) con 6 repeticiones. Se asignó al azar la Parcela Principal (Factor A: Fertilización, Convencional o Paquete Tecnológico). Dentro de cada Parcela Principal, se asignaron las dos Subparcelas (Factor B: Densidad, 20,000 pl/ha y 25,000 pl/ha), resultando en 24 unidades experimentales, cada una de 825 m².

4. Siembra y Aplicación Basal (Retapado)

Se utilizó semilla certificada de la variedad Súper Chola, sembrada manualmente por tubérculo-semilla, respetando los espaciamientos para las dos densidades.

Fertilización de Fondo (Retapado):

Tratamientos Convencionales (T1, T2): Recibieron la dosis del fertilizante químico de fórmula 10-30-10 al momento del retape, en la cantidad establecida por la práctica local.

Tratamientos de Paquete Tecnológico (T3, T4): Recibieron la dosis basal de la enmienda Suelo vivo y del fertilizante Permaxion desarrollo, incorporados al momento del retape.

5. Aplicación de Bioinsumo (Edáfico)

Se aplicó el bioinsumo SOBIO-TMO únicamente en las parcelas correspondientes al Paquete Tecnológico (T3 y T4). La aplicación se realizó dirigida al suelo, siguiendo un protocolo de doble aspersion para asegurar la actividad microbiana de transformación de la Materia Orgánica.

6. Fertilización Edáfica de Aporque

A los 60 días después de la siembra (DDS), coincidiendo con la fase de alza de tierra (aporque), se realizó la fertilización complementaria: Tratamientos Convencionales (T1, T2): Recibieron la dosis del fertilizante químico de fórmula 8-20-20 en la labor del alza de tierra (cobertera). Tratamientos de Paquete Tecnológico (T3, T4): Recibieron el fertilizante mineral-orgánico Permaxion producción, rico en Potasio, el cual fue incorporado durante la labor del aporque para promover el calibre final del tubérculo.

7. Manejo Fitosanitario

Se ejecutó un monitoreo constante y se aplicaron controles preventivos y curativos con productos autorizados de forma homogénea en todas las 24 unidades experimentales, para que la variable de respuesta solo estuviera influenciada por la variación en la fertilización y la densidad.

8. Cosecha

La cosecha se ejecutó manualmente a los 180 dds. Se procedió a la extracción y pesaje del peso fresco de la parcela neta. Se clasificaron los tubérculos por categorías (primera, segunda, tercera) según los criterios definidos en la Tabla 2, y finalmente se calculó el indicador de Beneficio/Costo.

3.4.7. Variables evaluadas

3.4.7.1. Altura de planta

Se utilizó una cinta métrica o flexómetro para determinar la longitud en centímetros (cm), medida desde la base del cuello de la planta (nivel del suelo) hasta el ápice de la hoja más larga extendida. Esta evaluación se realizó quincenalmente a los 60, 75 y 90 días después de la siembra (dds), en las 20 plantas marcadas de la parcela neta.

3.4.7.2. Número de tallos

Se realizó mediante el conteo visual directo de los tallos principales por planta. Se registró en las mismas fechas que la altura de planta (60, 75 y 90 dds) en la muestra seleccionada.

3.4.7.3. Diámetro del tallo

Se empleó un calibrador digital (pie de rey) para medir en milímetros (mm) el grosor del tallo de la planta a nivel de la parte media. La medición se ejecutó a partir del inicio del engrosamiento del tallo, registrando datos a los 60, 75 y 90 días después de la siembra.

3.4.7.4. Peso de tubérculo (Rendimiento agrícola)

Se utilizó una balanza digital de precisión para determinar el peso fresco en kilogramos (kg) de la totalidad de tubérculos comerciales cosechados en la unidad experimental. Con este dato, se realizó la proyección del rendimiento a toneladas por hectárea (t/ha).

3.4.7.5. Clasificación por categorías

Posterior al pesado total, los tubérculos se clasificaron por peso en tres categorías: Primera (>150g), Segunda (80g a 149 g) y Tercera (<80 g). Se registró el peso en kilogramos de cada categoría para determinar la calidad comercial de los tratamientos.

3.4.7.8. Análisis costo - beneficio

Se realizó el análisis económico calculando la Relación Beneficio/Costo (B/C). Se consideraron los Ingresos Brutos (Rendimiento comercial x Precio de venta) y los Costos Totales (Costos fijos + Costos variables de cada tratamiento, incluyendo los

fertilizantes químicos, enmiendas, y bioinsumos). El cálculo se efectuó al finalizar la investigación.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos experimentales, obtenidos de un Diseño de Parcelas Divididas (Split Plot) con arreglo factorial 2 x 2 (24 unidades experimentales), fueron procesados en el entorno estadístico R Studio. Se procedió inicialmente a la verificación de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Bartlett). Una vez validados los supuestos, se corrió el Análisis de Varianza (ANOVA) bajo el modelo lineal aditivo para parcelas divididas, con el fin de determinar las diferencias significativas entre la fertilización (Parcela Principal), la densidad (Subparcela) y su interacción. Finalmente, se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para establecer la jerarquía estadística de los promedios entre los tratamientos evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Altura de planta

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 5) revelan una dinámica de crecimiento diferenciada a lo largo del ciclo del cultivo. Los coeficientes de variación para la subparcela (Error b) oscilaron entre 3.9% y 4.5%, lo que confirma una alta precisión experimental en la toma de datos biométricos.

En relación con los factores evaluados, el Factor A (Tipo de Tecnología) y la interacción (A x B) no mostraron significancia estadística ($p > 0.05$) en ninguna de las tres fechas de evaluación (60, 75 y 90 dds), lo que indica que la altura de la planta no estuvo condicionada por la fuente de fertilización empleada ni por su combinación con la densidad. Sin embargo, el Factor B (Densidad de Siembra) evidenció un comportamiento distinto a través del tiempo. A los 60 dds no se registraron diferencias ($p = 0.183$), lo que sugiere un crecimiento inicial homogéneo. No obstante, a partir de los 75 dds ($p = 0.030^*$) y a los 90 dds ($p = 0.048^*$), la densidad influyó significativamente en la altura. Este comportamiento se atribuye al cierre del dosel vegetal en etapas avanzadas, donde las mayores densidades de población inducen una competencia intraespecífica por la radiación solar, estimulando la elongación del tallo principal (etiología) como mecanismo de respuesta fisiológica.

Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de planta (60 a 90 dds)

F.v	GL	Altura 1	Altura 2	Altura 3
		(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)
		p valor		
Bloques	5	0.02549 *	0.03922 *	0.07285
Tipo_Tecnol	1	0.69627	0.26508	0.23418
Error (a)	5			
Dens_Siembra	1	0.18351	0.03040 *	0.04865 *
Interacción A x B	1	0.52978	0.45535	0.38306
Error (b)	10			
Total	23			
Media (cm)		58.91	67.93	77.78
CV a (%)		6.7	6.1	4.7
CV b (%)		4.5	4.3	3.9

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% (tabla 6) ratificó el efecto significativo de la densidad de siembra sobre el crecimiento vertical del cultivo a partir de los 75 dds. Se establecieron dos rangos estadísticos diferenciados: el grupo "a", correspondiente a la densidad alta (0.40 m entre plantas), registró los mayores promedios de altura con 69.42 cm y 79.18 cm a los 75 y 90 dds, respectivamente. Por el contrario, la densidad baja (0.50 m) se ubicó en el rango "b" con portes inferiores de 66.43 cm y 76.37 cm. Estos resultados corroboran que una mayor población de plantas por unidad de área intensifica la competencia por radiación solar, induciendo una respuesta de etiolación o alargamiento del tallo principal para captar luz.

Tabla 6. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (75 a 90 dds)

Factor Densidad Siembra	Altura 2 (75 dds)		Altura 3 (90 dds)	
	Medias (cm)	Grupos	Medias (cm)	Grupos
0.40 m (25k plantas/ha)	69.42	a	79.18	a
0.50 m (20k plantas/ha)	66.43	b	76.37	b

4.1.2. Número de tallos

El análisis de varianza presentado en la Tabla 7 demostró una alta confiabilidad experimental, con coeficientes de variación en la subparcela (CV b) que disminuyeron progresivamente desde 7.9% a los 60 dds hasta 4.7% a los 90 dds, indicando una gran estabilidad en los datos a medida que el cultivo se desarrolló.

Al evaluar las fuentes de variación, se determinó que el Factor A (Tipo de Tecnología) influyó de manera estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en todas las fechas de evaluación (60, 75 y 90 dds). Esto confirma que la estrategia de fertilización, específicamente el uso del paquete tecnológico tuvo un efecto directo y constante sobre la capacidad de brotación y formación de tallos principales en la planta. Por el contrario, ni el Factor B (Densidad de Siembra) ni la Interacción (A x B) mostraron significancia estadística ($p > 0.05$). Estos resultados sugieren que el potencial de la variedad *Súper Chola* para emitir tallos está determinado principalmente por la nutrición edáfica y el estímulo biológico inicial, siendo independiente de la competencia poblacional generada por las densidades de siembra evaluadas.

Tabla 7. Análisis de varianza para el número de tallos (60 a 90 dds)

F.v	GL	# Tallos 1	# Tallos 2	# Tallos 3
		(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)
		p valor		
Bloques	5	0.02485 *	0.34076	0.30459
Tipo_Tecnol	1	0.01730 *	0.01181 *	0.01304 *
Error (a)	5			
Dens_Siembra	1	0.68165	0.59023	0.72680
Interacción A x B	1	0.09090	0.09171	0.10259
Error (b)	10			
Total	23			
Media (#)		4.25	5.71	6.67
CV a (%)		11.8	6.1	4.8
CV b (%)		7.9	5.5	4.7

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% (Tabla 8) ratificó la superioridad estadística del Paquete Tecnológico sobre el manejo convencional en todas las etapas de evaluación. Este tratamiento se ubicó en el rango "a", registrando promedios de 4.61, 5.98 y 6.92 tallos por planta a los 60, 75 y 90 dds, respectivamente. Por el contrario, el Manejo Convencional se situó en el rango "b", con valores inferiores que oscilaron entre 3.90 y 6.42 tallos. Estos resultados confirman que la incorporación de enmiendas orgánicas y bioinsumos (SobioTMO) promovió una mayor brotación de yemas basales desde las fases iniciales del cultivo, una característica deseable para maximizar el número de sitios potenciales de tuberización.

Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para el número de tallos (60 a 90 dds)

Factor Tipo Tecnología	# Tallos 1		# Tallos 2		# Tallos 3	
	(60 dds)		(75 dds)		(90 dds)	
	Medias (#)	Grupos	Medias (#)	Grupos	Medias (#)	Grupos
Paquete Tecnológico (Colombia)	4.61	a	5.98	a	6.92	a
Manejo Convencional (Ecuador)	3.90	b	5.43	b	6.42	b

4.1.3. Diámetro de tallo

Como se observa en la Tabla 9, los datos mostraron una alta precisión experimental, reflejada en coeficientes de variación para la subparcela (CV b) que disminuyeron de 6,2% a 3,8% entre los 60 y 90 dds, lo que garantiza la confiabilidad de las mediciones del grosor del tallo.

El análisis estadístico determinó que el Factor A (Tipo de Tecnología) no generó diferencias significativas ($p > 0,05$) de forma aislada. Sin embargo, se detectó una alta significancia estadística ($p < 0,001$) para el Factor B (Densidad de Siembra) y una significancia media ($p < 0,01$) para la interacción (A x B) en todas las fechas de evaluación. Estos resultados indican que el engrosamiento del tallo no respondió

únicamente a la población de plantas, sino que estuvo condicionado por la interacción entre la densidad y la nutrición. Esto sugiere que, al aumentar la competencia por espacio (mayor densidad), la capacidad de la planta para mantener el grosor de su tallo dependió de la estrategia de fertilización empleada para mitigar dicho estrés.

Tabla 9. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (60 a 90 dds)

F.v	GL	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
		(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)
		p valor		
Bloques	5	0.0641665	0.1011279	0.1593370
Tipo_Tecnol	1	0.0657546	0.1402850	0.1770992
Error (a)	5			
Dens_Siembra	1	0.0003235 ***	0.0003269 ***	0.0002402 ***
Interacción A x B	1	0.0037054 **	0.0047827 **	0.0073509 **
Error (b)	10			
Total	23			
Media (#)		1.12	1.32	1.52
CV a (%)		5.0	4.2	3.6
CV b (%)		6.2	4.4	3.8

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

La prueba de comparación de medias para la interacción (Tabla 10) permitió esclarecer el comportamiento del diámetro del tallo. Se conformaron dos rangos estadísticos claramente diferenciados en todas las fechas de evaluación: El rango superior "a" estuvo integrado por los tratamientos T1, T2 y T3, los cuales no mostraron diferencias estadísticas entre sí, alcanzando grosores de hasta 1,61 mm a los 90 dds. Esto demuestra que el Manejo Convencional logró mantener el grosor del tallo independientemente de la densidad, y que el Paquete Tecnológico fue igualmente eficiente, pero solo en baja densidad (20,000 pl/ha). Por el contrario, el tratamiento T4 (Paquete Tecnológico con 25,000 pl/ha) se ubicó aisladamente en el rango inferior "b", registrando los tallos más delgados con promedios de 0,96 mm, 1,20 mm y 1,40 mm a los 60, 75 y 90 dds, respectivamente. Este comportamiento confirma que, bajo el manejo del paquete tecnológico evaluado, el aumento de la densidad poblacional generó un estrés por competencia que afectó negativamente el crecimiento secundario (engrosamiento) del tallo, un efecto que no se observó en el manejo químico convencional.

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (60 a 90 dds)

Tratamientos	Diámetro 1 (60 dds)		Diámetro 2 (75 dds)		Diámetro 3 (90 dds)	
	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos
	T1 Manejo Convencional (Ecuador) * 20k plantas/ha	1.22	a	1.41	a	1.61
T2 Manejo Convencional (Ecuador) * 25k plantas/ha	1.17	a	1.37	a	1.57	a
T3 Paquete Tecnológico (Colombia) * 20k plantas/ha	1.12	a	1.32	a	1.51	a
T4 Paquete Tecnológico (Colombia) * 25k plantas/ha	0.96	b	1.20	b	1.40	b

4.1.4. Número de tubérculos

El análisis de varianza para el número de tubérculos (Tabla 11) evidenció una variabilidad experimental aceptable, con coeficientes de variación en la subparcela (CV b) que fluctuaron entre 11,2% y 17,6%, valores normales para variables de rendimiento numérico en papa. Al desglosar la producción por categorías comerciales, se observaron respuestas estadísticas diferenciadas:

- Categoría Primera (>120g): Se determinó una alta significancia estadística ($p < 0,001$) exclusivamente para el Factor B (Densidad de Siembra). Esto indica que la cantidad de tubérculos de calibre grueso estuvo limitada por la competencia espacial, siendo independiente de la fuente de fertilización.
- Categoría Segunda (60g a 120g): El análisis mostró una alta significancia ($p = 0,004$) para el Factor A (Tipo de Tecnología). Esto sugiere que el uso del Paquete Tecnológico fue determinante para maximizar la formación de tubérculos medianos, diferenciándose estadísticamente del manejo convencional.
- Categoría Tercera (<60g): Para el descarte o "papa cuchi", se detectó una interacción significativa ($p = 0,026$) entre la tecnología y la densidad. Esto implica que la producción de tubérculos pequeños no comerciales dependió de la combinación de factores, incrementándose probablemente en condiciones de alta densidad bajo cierto manejo nutricional.

Finalmente, para el Número Total de Tubérculos, ambos factores actuaron de forma significativa e independiente (Tecnología $p=0,008$ y Densidad $p=0,011$), demostrando que tanto la nutrición como la población influyeron en la carga total de tubérculos por planta.

Tabla 11. Análisis de varianza para Número de tubérculos (180 dds)

F.v	GL	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Total
		p valor			
Bloques	5	0.4908938	0.457805	0.01462 *	0.308939
Tipo_Tecnol	1	0.1058851	0.004574 **	0.48215	0.008804 **
Error (a)	5				
Dens_Siembra	1	0.0001387 **	0.120589	0.13929	0.011337 *
Interacción A x B	1	0.6072963	0.060156	0.02643 *	0.203378
Error (b)	10				
Total	23				
Media (#)		12.8	6.33	3.38	22.55
CV a (%)		9.5	16.0	17.4	8.6
CV b (%)		11.2	17.6	11.2	11.3

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

La prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% (Tabla 12) permitió desagregar el efecto de los factores sobre la prolificidad del cultivo y su distribución por calibres:

Factor A: Tipo de Tecnología El Paquete Tecnológico (Colombia) demostró ser estadísticamente superior en la producción de tubérculos totales y de calibre medio. Se ubicó en el rango "a" para la Categoría 2 (60g a 120g) con un promedio de 7,33, y para el Número Total con 24.19 tubérculos. Por el contrario, el Manejo Convencional registró valores inferiores (5.32 y 20.91 respectivamente), ubicándose en el rango "b". Esto confirma que la estrategia nutricional favoreció el cuajado y desarrollo de un mayor número de tubérculos.

Factor B: Densidad de Siembra Se observó un comportamiento inverso según la variable analizada. La densidad alta (0,40 m) favoreció significativamente la producción numérica de la Categoría 1, alcanzando 14,59 tubérculos (rango "a"). Sin embargo, para la variable Número Total, la densidad baja (0,50 m) resultó superior, ubicándose en el rango "a" con 24,16 tubérculos, frente a los 20,95 de la densidad alta.

Interacción (Tratamientos) Para la Categoría 3 (tubérculos menores a 60g), la prueba de medias detectó diferencias significativas en la interacción. El tratamiento T1 (Manejo Convencional a baja densidad) presentó la mayor cantidad de tubérculos de este calibre (4,15, rango "a"). En contraste, el tratamiento T2 (Manejo Convencional a alta densidad) registró la menor cantidad (2,91, rango "c"), mientras que los tratamientos del Paquete Tecnológico (T3 y T4) mostraron un comportamiento intermedio (rango "b"), indicando una distribución de calibres más equilibrada.

Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para Número de tubérculos (180 dds)

Factor Tipo Tecnología	Cat. 1		Cat. 2		Cat. 3		Total	
	Medias	Grupos	Medias	Grupos	Medias	Grupos	Medias	Grupos
Paquete Tecnológico (Colombia)			7.33	a			24.19	a
Manejo Convencional (Ecuador)			5.32	b			20.91	b
Factor Densidad Siembra								
0.40 m (25k plantas/ha)	14.59	a					20.95	b
0.50 m (20k plantas/ha)	11.07	b					24.16	a
Tratamientos								
T1 Manejo Convencional (Ecuador) * 20k plantas/ha					4.15	a		
T2 Manejo Convencional (Ecuador) * 25k plantas/ha					2.91	c		
T3 Paquete Tecnológico (Colombia) * 20k plantas/ha					3.10	b		
T4 Paquete Tecnológico (Colombia) * 25k plantas/ha					3.39	b		

4.1.5. Peso promedio de tubérculo

El análisis de varianza para el peso unitario del tubérculo (Tabla 13) registró coeficientes de variación en la subparcela (CV b) que fluctuaron entre 8,0% y 16,3%, lo cual garantiza la confiabilidad de los datos obtenidos en cuanto al calibre individual de la papa. Al evaluar las categorías de tamaño, se observaron comportamientos contrastantes:

- Categorías 1 (>120g) y 2 (60-120g): No se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) para ninguno de los factores ni su interacción. Esto indica que el peso individual de los tubérculos comerciales se mantuvo estable (promedios de 254,9 g y 65,6 g respectivamente), independientemente de la tecnología de fertilización o la densidad empleada. Es decir, aunque los tratamientos afectaron el número de tubérculos (como se vio en la tabla anterior), no afectaron el *tamaño promedio* de los que lograron alcanzar estas categorías.
- Categoría 3 (<60g): Se determinó una alta significancia estadística tanto para el Factor A (Tipo de Tecnología, $p = 0,004$) como para el Factor B (Densidad de Siembra, $p = 0,007$), sin presencia de interacción. Esto sugiere que el peso unitario de los tubérculos pequeños varió significativamente en función del manejo nutricional y la competencia poblacional.

Tabla 13. Análisis de varianza para el peso promedio de tubérculo por categorías

F.v	GL	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3
		p valor		
Bloques	5	0.62056	0.4703	0.027647 *
Tipo_Tecnol	1	0.09948	0.1948	0.004745 **
Error (a)	5			
Dens_Siembra	1	0.10949	0.8765	0.007044 **
Interacción A x B	1	0.10346	0.3201	0.817942
Error (b)	10			
Total	23			
Media (g)		254.93	65.60	26.32
CV a (%)		6.0	15.7	8.7
CV b (%)		9.6	16.3	8.0

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias (Tabla 14) para el peso unitario de los tubérculos de la Categoría 3 (menores a 60g) determinó diferencias estadísticas significativas en los dos factores evaluados:

Factor A: Tipo de Tecnología El Manejo Convencional se ubicó en el rango "a", registrando un peso promedio de 28,58 g, superando estadísticamente al Paquete Tecnológico (24,05 g), que se situó en el rango "b". Esto indica que, dentro de la fracción de tubérculos pequeños, el manejo químico convencional logró un mayor llenado individual, produciendo papas de Categoría 3 con mayor biomasa promedio en comparación con el paquete biológico.

Factor B: Densidad de Siembra Se observó un efecto directo de la población. La densidad alta (0,40 m / 25k plantas/ha) presentó un peso promedio superior (27,77 g, rango "a") en comparación con la densidad baja (24,86 g, rango "b"). Este comportamiento sugiere que, en condiciones de alta densidad, una parte significativa de los tubérculos que no alcanzaron el calibre medio se concentraron en el límite superior de la Categoría 3, elevando así el promedio de peso de este grupo en comparación con la siembra a baja densidad.

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para el peso promedio de tubérculo categoría 3

Factor Tipo Tecnología	Cat. 3	
	Medias	Grupos
Manejo Convencional (Ecuador)	28.58	a
Paquete Tecnológico (Colombia)	24.05	b
Factor Densidad Siembra		
0.40 m (25k plantas/ha)	27.77	a
0.50 m (20k plantas/ha)	24.86	b

4.1.6. Rendimiento por ha

El análisis de varianza para el rendimiento clasificado por categorías (Tabla 15) presentó coeficientes de variación en la subparcela (CV b) que oscilaron entre 12.5% y 22.5%, rangos aceptables para ensayos de rendimiento en campo.

Al evaluar la producción en kilogramos por hectárea, se observó que la distribución de calibres fue altamente dependiente de la interacción entre los factores:

- Categoría 1 (Gruesa): Se determinó significancia estadística para el Factor B (Densidad, $p=0,034$) y para la Interacción A x B ($p=0,045$). Esto indica que el rendimiento de papa de primera calidad no dependió solo de la población, sino de la estrategia nutricional que acompañó a dicha densidad.
- Categoría 2 (Mediana): Fue la variable más sensible al manejo. Mostró diferencias significativas para el Factor A (Tecnología, $p=0,030$), alta significancia para el Factor B (Densidad, $p=0,003$) y significancia en la Interacción ($p=0,049$). Esto sugiere que tanto el paquete tecnológico como la densidad influyen determinantemente en el volumen de producción de papa mediana.
- Categoría 3 (Pequeña): Únicamente la Interacción A x B resultó significativa ($p=0,042$), lo que implica que el rendimiento de papa pequeña varió según combinaciones específicas de tratamiento.
- Rendimiento Total (kg/ha): A diferencia del conteo numérico, en el peso total no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para los factores principales ni la interacción, aunque el Factor A (Tecnología) estuvo muy cerca del umbral de significancia ($p=0,053$).

Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento por categorías (180 dds)

F.v	GL	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Total
		p valor			
Bloques	5	0.54209	0.213174	0.02991 *	0.61631
Tipo_Tecnol	1	0.13779	0.030546 *	0.14856	0.05321
Error (a)	5				
Dens_Siembra	1	0.03436 *	0.003418 **	0.11587	0.17553
Interacción A x B	1	0.04543 *	0.04905 *	0.04276 *	0.10443
Error (b)	10				
Total	23				
Media (kg/ha)		36689.63	4650.02	1002.03	42341.68
CV a (%)		13.5	18.0	23.3	11.1
CV b (%)		13.7	22.5	12.5	12.9

Nota. Significado de los códigos: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 ' 0.1 ' ' 1.

La prueba de rangos múltiples de Tukey al 5% para la interacción (Tabla 16) permitió explicar cómo los tratamientos modificaron la estructura de la producción comercial: Categoría 1 (Papa Gruesa): El tratamiento T3 (Paquete Tecnológico a baja densidad) alcanzó el rendimiento numérico más alto en esta categoría con 39,662,77 kg/ha, ubicándose en el rango "a". Este tratamiento superó estadísticamente al T4 (Paquete Tecnológico a alta densidad), que descendió a 30,135,31 kg/ha (rango "b"). Los tratamientos convencionales (T1 y T2) mostraron un comportamiento intermedio y estable (rango "ab"). Esto confirma que el Paquete Tecnológico es altamente eficiente para llenar tubérculos gruesos, pero su rendimiento cae drásticamente si se somete a competencia por alta densidad.

Categoría 2 (Papa Mediana): Se evidenció un efecto marcado de la densidad. Los tratamientos de alta densidad (T2 y T4) se ubicaron en el rango superior "a", produciendo los mayores volúmenes de papa mediana (5,828 kg/ha y 5,101 kg/ha, respectivamente). Por el contrario, el tratamiento T3 (baja densidad) registró la menor producción de esta categoría (3,180 kg/ha, rango "b"), lo cual es agronómicamente positivo, ya que indica que bajo este manejo la planta logró que esos tubérculos crecieran lo suficiente para pasar a la Categoría 1.

Categoría 3 (Papa Pequeña): El tratamiento T1 (Convencional a baja densidad) generó la mayor cantidad de peso en tubérculos pequeños o de rechazo (11,146 kg/ha, rango "a"). En contraste, el T3 fue el más eficiente en reducir este rubro, presentando el menor peso de papa pequeña (699 kg/ha, rango "b"), lo que demuestra una mayor eficiencia en la translocación de fotoasimilados hacia los calibres comerciales.

Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento kg/ha por categorías (180dds)

Tratamientos	Cat. 1		Cat. 2		Cat. 3		Total
	Medias	Grupos	Medias	Grupos	Medias	Grupos	Medias
T1 Manejo Convencional (Ecuador) * 20k plantas/ha	38756.25	ab	4489.83	Ab	1146.00	a	44392.08
T2 Manejo Convencional (Ecuador) * 25k plantas/ha	38204.17	ab	5828.23	A	1090.83	ab	45123.23
T3 Paquete Tecnológico (Colombia) * 20k plantas/ha	39662.77	a	3180.20	B	699.41	b	43542.44
T4 Paquete Tecnológico (Colombia) * 25k plantas/ha	30135.31	b	5101.77	A	1071.87	ab	36308.96

4.1.7. Análisis costo - beneficio

El análisis económico detallado en la Tabla 17 permitió determinar la viabilidad financiera de los tratamientos bajo condiciones reales de mercado en la provincia

del Carchi, considerando la estructura de precios diferenciada por categoría comercial (Sacos de 50 kg: \$27,00 USD para primera, \$12,00 USD para segunda y \$3,00 USD para tercera).

Utilidad Neta El tratamiento T1 (Manejo Convencional Mejorado a 20,000 plantas/ha) se consolidó como la opción agronómica más rentable, generando una Utilidad Neta de \$10,100.09 USD/ha. Este resultado se sustenta en la alta producción de tubérculos de primera categoría (775 sacos/ha) y un costo de producción optimizado (\$11,974.60 USD/ha). Es crucial destacar el desempeño del tratamiento T3 (Paquete Tecnológico a 20,000 plantas/ha). A pesar de utilizar bioinsumos y fertilizantes tecnificados de mayor costo unitario, logró una Utilidad Neta de \$9,800.51 USD/ha. La diferencia con el mejor tratamiento convencional es de apenas \$299,58 USD/ha. Esto demuestra que la implementación de una agricultura sostenible y regenerativa (Paquete SobioTech) es financieramente competitiva frente al manejo químico intensivo, siempre y cuando se respete la densidad de siembra adecuada.

Relación Costo/Beneficio (C/B) En términos de eficiencia financiera, el tratamiento T1 lideró con un índice C/B de 1,84, indicando que, por cada dólar invertido en el ciclo productivo, el agricultor recupera su capital y obtiene \$0,84 USD de ganancia neta (Beneficio Directo). Le sigue de cerca el tratamiento T2 (Convencional a alta densidad) con un C/B de 1,82, mostrando que el manejo químico soporta bien la intensificación. El tratamiento T3 (Paquete Tecnológico) obtuvo un índice C/B de 1,79, lo cual ratifica su viabilidad económica (\$0,79 USD de ganancia por dólar invertido).

Brecha Económica por Densidad El análisis confirmó el riesgo financiero de intensificar la densidad bajo manejo orgánico-mineral. El tratamiento T4 (Paquete Tecnológico a 25,000 plantas/ha) presentó el desempeño más bajo, con una Utilidad Neta de \$4,980.80 USD/ha y un C/B de 1,40. Al comparar el T3 vs. T4, se evidencia que aumentar la densidad con el paquete tecnológico redujo la utilidad en un 49% (una pérdida de oportunidad de ~\$4,800 USD), debido principalmente a la caída en la producción de primera categoría y al incremento del costo de semilla y mano de obra.

Tabla 17. Análisis costo/beneficio

Tratamientos	RENDIMIENTO			PRECIO DE VENTA			INGRESOS				Costo por tratamiento USD/ha	Utilidad neta USD	Costo beneficio	Beneficio directo
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Total, ingresos				
	sacos/ha)	sacos/ha)	sacos/ha)	USD/saco	USD/saco	USD/saco	USD/saco	USD/saco	USD/saco	USD/saco				
T1	775,13	89,80	22,92	\$27,00	\$12,00	\$3,00	\$20.928,38	\$1.077,56	\$68,76	\$22.074,69	\$11.974,60	\$10.100,09	1,84	\$0,84
T2	764,08	116,56	21,82	\$27,00	\$12,00	\$3,00	\$20.630,25	\$1.398,78	\$65,45	\$22.094,48	\$12.133,00	\$9.961,48	1,82	\$0,82
T3	793,26	63,60	13,99	\$27,00	\$12,00	\$3,00	\$21.417,90	\$763,25	\$41,96	\$22.223,11	\$12.422,60	\$9.800,51	1,79	\$0,79
T4	602,71	102,04	21,44	\$27,00	\$12,00	\$3,00	\$16.273,07	\$1.224,42	\$64,31	\$17.561,80	\$12.581,00	\$4.980,80	1,40	\$0,40

Nota: (T1) Manejo Convencional (Ecuador) * 20k plantas/ha, (T2) Manejo Convencional (Ecuador) * 25k plantas/ha, (T3) Paquete Tecnológico (Colombia) * 20k plantas/ha, (T4) Paquete Tecnológico (Colombia) * 25k plantas/ha

4.2. DISCUSIÓN

La presente investigación evaluó la eficiencia agronómica y productiva del Paquete Tecnológico Mineral-Orgánico (SobioTech) frente a un Manejo Convencional Mejorado (Solvesa + Enmiendas) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* var. Súper Chola). Los resultados evidencian una interacción compleja entre la estrategia nutricional y la densidad de siembra, donde se contrastó la disponibilidad inmediata de nutrientes del químico frente a la eficiencia de desbloqueo del paquete biológico.

4.2.1. Dinámica del crecimiento vegetativo y arquitectura de la planta

El comportamiento agronómico del cultivo respondió de manera diferenciada a los estímulos. En la variable altura de planta, el análisis estadístico determinó que la densidad fue el factor dominante. Las parcelas sometidas a alta densidad (25,000 plantas/ha) registraron un porte superior (promedio 79,2 cm) frente a las de densidad convencional (76,4 cm), independientemente de la fuente de fertilización. Este fenómeno de etiolación coincide con lo reportado por García (2018), como una respuesta fisiológica de "evasión de sombra" donde el cultivo prioriza la elongación del tallo para captar radiación.

Sin embargo, el hallazgo más relevante en la etapa vegetativa fue el efecto bioestimulante del Paquete Tecnológico sobre el número de tallos. Los tratamientos inoculados con *Sobio-TMO* (T3 y T4) alcanzaron un promedio de 6,90 tallos/planta, superando estadísticamente al manejo convencional (6,40 tallos). Este diferencial valida lo expuesto por Tepán (2022), confirmando que la inoculación edáfica de bacterias PGPR (*Bacillus spp.*) estimula la síntesis de giberelinas, rompiendo la dormancia de yemas laterales e incrementando los sitios potenciales de tuberización.

No obstante, esta ganancia arquitectónica tuvo un costo fisiológico. La variable diámetro de tallo reveló una limitante: el tratamiento T4 (Paquete en Alta Densidad) presentó los tallos más delgados (1,40 mm). Esto sugiere que, aunque el fertilizante *Permaxion Desarrollo* aportó un 17,8% de Silicio (elemento estructural), este mecanismo no fue suficiente para compensar el estrés por hacinamiento de 25,000 plantas. En contraste, el manejo convencional (T2), apoyado por la alta carga directa de Calcio y Magnesio de los fertilizantes *Solvesa*, logró mantener un mayor grosor de tallo incluso bajo competencia.

4.2.2. Rendimiento agrícola: Fuerza Bruta vs. Eficiencia Tecnológica

En la variable crítica de rendimiento, los resultados refutaron la hipótesis de superioridad absoluta del paquete tecnológico, revelando que su éxito depende estrictamente de la densidad.

Los tratamientos de Manejo Convencional (T1 y T2) mostraron la mayor estabilidad productiva, alcanzando techos de 44,39 t/ha y 45,12 t/ha. Este alto desempeño se explica por la robustez del testigo: no fue una mezcla simple, sino el uso de fertilizantes complejos de Solvesa Ecuador enriquecidos con Magnesio (4-5%) y Azufre (4-5%), potenciados además con Cal Agrícola y Vermicompost. Esta sinergia de macronutrientes y secundarios de alta solubilidad permitió soportar la demanda masiva de 25,000 plantas/ha sin entrar en déficit, actuando por "suficiencia de recursos".

Por su parte, el Paquete Tecnológico mostró un comportamiento dual muy revelador: En densidad normal (T3: 20,000 pl/ha), el rendimiento fue de 41,88 t/ha, ubicándose en el mismo rango estadístico (AB) que el químico. Este es el hallazgo técnico más importante: el fertilizante *Permaxion Desarrollo* contiene solo 12,5% de Fósforo (frente al 30% del químico), pero gracias a su tecnología de Silicio (17,8%) y *Biopotent*, logró desbloquear el fósforo fijado en el suelo, igualando la productividad del químico con una dosis menor de nutriente mineral. Esto concuerda con Paspuel (2020) sobre la viabilidad de la eficiencia biológica.

Sin embargo, en alta densidad (T4), el rendimiento cayó a 36,31 t/ha. La explicación radica en la cinética de reacción: el mecanismo de "desbloqueo" del Silicio es más lento que la "inyección directa" de nutrientes del químico. Con una sobrecarga de 25,000 plantas, la velocidad de liberación del paquete tecnológico fue superada por la demanda del cultivo, resultando en un menor llenado.

4.2.3. Calidad del tubérculo y eficiencia de traslocación

La distribución de calibres confirmó que el T3 (Paquete a baja densidad) fue el tratamiento más eficiente agrónomicamente, minimizando el descarte (699 kg/ha). El aporte de Potasio protegido (21.5%) y Silicio (14%) del *Permaxion Producción* optimizó la traslocación de carbohidratos sin generar estrés salino, logrando un llenado exitoso de los sumideros generados por el bioinsumo.

En contraste, el tratamiento T4 evidenció el colapso del sistema por competencia, produciendo el mayor porcentaje de tubérculos de tercera categoría. El menor peso promedio individual (24,05 g) indica que la "dilución" de nutrientes fue severa; la planta generó muchos tubérculos (por el *Bacillus*), pero no tuvo la velocidad de asimilación de Potasio necesaria para llenarlos todos, quedando gran parte de la cosecha en calibres no comerciales.

4.2.4. Eficiencia de uso de nutrientes (EUN) y sostenibilidad edáfica

Un hallazgo agronómico trascendental de esta investigación radica en la Eficiencia de Uso del Fósforo. Al comparar el tratamiento T3 (Paquete Tecnológico) con el T1 (Convencional) en densidad normal, se observa que ambos lograron rendimientos estadísticamente similares (~41-44 t/ha). Sin embargo, el fertilizante *Permaxion Desarrollo* suministró apenas un 12,5% de P₂O₅, frente al 30% aportado por la fórmula química convencional.

Esto implica que el Paquete Tecnológico logró la misma respuesta productiva aplicando menos de la mitad de la carga fosfatada mineral. Este fenómeno se atribuye a la sinergia entre el Silicio y el consorcio microbiano (Sobio-TMO). Mientras que el manejo convencional se basó en saturar el suelo con fósforo para superar la fijación del Andisol, el manejo biotecnológico optó por solubilizar las reservas del suelo.

Los ácidos orgánicos producidos por *Bacillus* y la sustitución iónica del Silicio permitieron que la planta accediera al fósforo retenido históricamente en el suelo. Este resultado posiciona al tratamiento T3 no solo como una alternativa productiva, sino como una estrategia de mitigación ambiental, reduciendo la eutrofización y la dependencia de fertilizantes sintéticos importados, mejorando la salud biológica del suelo para futuros ciclos de rotación.

4.2.5. Síntesis económica y recomendación técnica

Aunque el rendimiento físico favoreció al manejo convencional por volumen bruto, la viabilidad del Paquete Tecnológico (T3) se sustenta en su competitividad relativa y sostenibilidad. Al lograr 41,88 t/ha igualando al mejor tratamiento químico, el T3 demuestra que la tecnología del Silicio y la Bioestimulación puede sustituir la carga química excesiva, siempre y cuando se maneje una densidad conservadora.

En conclusión, la discusión establece que el Manejo Convencional Mejorado (Solvesa) es la opción más segura para sistemas intensivos de alta densidad por su aporte inmediato de nutrientes. Sin embargo, el Paquete SobioTech se valida como la alternativa técnica ideal para densidades de 20,000 plantas/ha, donde su eficiencia tecnológica permite obtener altos rendimientos mejorando la salud del suelo a largo plazo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El Paquete Tecnológico incrementó la brotación a 6,90 tallos/planta por bioestimulación, superando al convencional (6,40). Sin embargo, en alta densidad (25,000 pl/ha), esta carga excesiva de tallos resultó en un diámetro reducido (1,40 mm), demostrando que el Silicio no pudo compensar el estrés por competencia frente al vigor del manejo convencional.
- El Manejo Convencional fue superior y estable en todos los escenarios (>44 t/ha). El Paquete Tecnológico solo funcionó en densidad media (20,000 pl/ha), donde igualó al químico (41,88 t/ha) mediante eficiencia nutricional. En alta densidad, el sistema biológico colapsó (36.31 t/ha), confirmando que su lenta liberación no soporta altas poblaciones.
- El tratamiento T1 (Convencional) fue el más rentable (\$10,100 USD/ha). El T3 (Paquete a 20,000 pl/ha) se validó como una alternativa competitiva y sostenible (\$9,800 USD/ha). Intensificar la densidad con el paquete tecnológico (T4) es un error financiero, reduciendo la utilidad neta en un 49%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar el Paquete Tecnológico exclusivamente en densidad de 20,000 plantas/ha. Bajo este esquema, la tecnología mineral-orgánica es altamente eficiente y rentable. No se recomienda su uso en altas densidades (25,000 pl/ha) con las dosis actuales, ya que la liberación lenta de nutrientes no cubre la demanda pico, afectando el calibre comercial.
- Para sistemas intensivos (25,000 plantas/ha), se recomienda mantener el Manejo Convencional Mejorado (Solvesa + Enmiendas). Su alta carga inmediata de NPK, Magnesio y Azufre demostró ser la única capaz de soportar la fuerte competencia intraespecífica sin sacrificar el rendimiento.
- Si se desea intensificar la siembra utilizando el Paquete Tecnológico, es imperativo aumentar la dosis de Permaxion Producción (+20%) o complementar con Potasio foliar en la etapa de llenado, para compensar la

"dilución" de nutrientes provocada por el mayor número de tallos.

- Debido a que el bioinsumo *Sobio-TMO* incrementa significativamente la brotación (6,9 tallos/planta), se recomienda realizar un aporte más alto y robusto para asegurar un buen volumen de suelo explorado y evitar el verdeo de tubérculos.
- Evaluar el efecto residual de la enmienda *Suelo Vivo* en un segundo ciclo de cultivo, ya que la regeneración biológica del suelo podría generar una rentabilidad acumulada superior a la química en el mediano plazo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abonamos S.A.S. & SobioTech. (2024). *Ficha técnica FTP 029: Permaxion Desarrollo - Fertilizante mineral orgánico con Biopotent* [Folleto técnico]. Anexo 4 del Trabajo de Integración Curricular.
- Abonamos S.A.S. & SobioTech. (2024). *Ficha técnica FTP 030: Permaxion Producción - Fertilizante mineral orgánico finalizador* [Folleto técnico]. Anexo 5 del Trabajo de Integración Curricular.
- Ballaré, C. L., Pierik, R., & Scopel, A. L. (2017). Plant shade avoidance mechanisms and implications for crop productivity. *Plant, Cell & Environment*, 40(11), 2567-2578. <https://doi.org/10.1111/pce.13038>.
- Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth. En E. Siddiqui (Ed.), *The molecular basis of plant genetic diversity* (pp. 77-136). InTechOpen. <https://doi.org/10.5772/9814>.
- Bertsch, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Beukema, H. P., & Van der Zaag, D. E. (1990). *Introduction to potato production*. Pudoc. Wageningen, Netherlands.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2020). *Temperatura nocturna y tuberización en papa*. CIP. Lima, Perú.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2021). *Datos de producción mundial de papa*. CIP. Lima, Perú.
- Chugá, D. (2021). *Evaluación de la fertilización química tradicional frente a estrategias órgano-minerales en el cultivo de papa variedad Súper Chola* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio Digital UPEC. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1155>.
- CIMMYT. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT. México, D.F.
- Cuaical Pozo, P. S. (2025). *Evaluación del efecto de bacterias fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad Voyager en el Centro Experimental San Francisco - UPEC* [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio Digital UPEC..
- Espinosa, J. (2014). *El encalado de suelos y la nutrición vegetal*. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IPNI.

- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Quito, Ecuador.
- FAO. (2023). *Índice de precios de los fertilizantes*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>.
- García, M. (2018). *Efecto de altas densidades de siembra sobre la arquitectura y rendimiento de papa variedad Súper Chola en Huaca, Carchi* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15000>.
- García, M., & Martínez. (2023). *Competencia intraespecífica bajo manejo orgánico en cultivos andinos*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 49(2), 12-20.
- García, M., López, R., & Revelo, J. (2021). *Densidad poblacional y su efecto en la calidad comercial de papa*. Boletín Técnico INIAP. Quito, Ecuador.
- Guerrero, R. (2018). *Manual de uso de enmiendas orgánicas y vermicompost*. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2020). *Manual técnico del cultivo de papa*. Boletín Técnico N° 182. INIAP. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2021). *Manejo del cultivo de papa en la provincia del Carchi*. Manual divulgativo. INIAP. Quito, Ecuador.
- López, R., & Revelo, J. (2019). *Densidad de siembra óptima para la producción de semilla de papa Súper Chola en la Sierra Norte de Ecuador*. *Revista de Agricultura Andina*, 12(1), 45-56.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3ra ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>.
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Impacto ambiental del uso intensivo de agroquímicos*. Informe Técnico. Quito, Ecuador.
- Monteros, C., Cuesta, X., & Jiménez, J. (2021). *Variedades de papa liberadas por el INIAP: Características y zonas de recomendación*. INIAP. Quito, Ecuador.
- Paspuel, G. (2020). *Análisis comparativo de rentabilidad entre biofertilizantes y manejo químico en papa*. *Revista Ojeando la Agenda*, 6(2), 22-35.
- Paspuel, G., & Rosero, J. (2022). *Impacto de la fertilización química intensiva en la salud de los suelos paperos del Carchi*. *Revista de Ciencias Agrícolas del Norte*, 7(2), 45-58.

- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de papa en el Ecuador*. INIAP-CIP. Quito, Ecuador.
- Quispe, A. (2019). *Eficacia de la inoculación de cepas nativas de Bacillus spp. y Azotobacter en papa*. *Revista Peruana de Agronomía*, 3(1), 10-18.
- Rivadeneira, J., Benítez, J., & Tapia, C. (2021). *Nutrición potásica y su efecto en el calibre y calidad de fritura de la papa Súper Chola*. *Siembra*, 8(2), e2871. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2871>.
- Romero. (2018). *Efecto del sombreado y nubosidad en la fotosíntesis de cultivos andinos*. *Ecología en Bolivia*, 53(2), 89-102.
- Salas, R., & Martínez, E. (2020). *Dinámica de liberación de nutrientes de fertilizantes sintéticos y órgano-minerales en Andisoles*. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1), 23-30.
- SobioTech. (2024). *Reporte de resultados de análisis de suelos: Finca San Francisco*. Laboratorio Físicoquímico SobioTech. Anexo 3 del Trabajo de Integración Curricular.
- Solvesa Ecuador. (2024). *Ficha Técnica de fertilizantes edáficos: Línea Papa* [Folleto técnico]. Departamento Técnico.
- Struik, P. C., & Wiersema, S. G. (1999). *Seed potato technology*. Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-759-2>.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5ta ed.). Sinauer Associates. Sunderland, MA.
- Tepán, L. (2022). *Evaluación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) en el cultivo de papa en condiciones de campo* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22000>.
- USDA. (2023). *Clasificación botánica de Solanum tuberosum*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://plants.usda.gov>.
- Yumisaca, F., Andrade, R., & Taipe, A. (2022). *Factores que predisponen la pudrición blanda en papa en suelos saturados*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 150-162.

VII. ANEXO

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGE CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Fuiltala Cusangua Edison Stalin				
DATE: Viernes, 23 de enero de 2026				
Topic: "Evaluación de un paquete tecnológico "mineral, orgánico y biológico" en la fertilización edáfica del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Súper Chola en el Cantón Huaca-Carchi"				
MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of Ideas and events	Poor flow of Ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED			
	TOTAL 9			



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autoras: Fualta Cusangua Edison Stalin

Fecha de recepción del abstract: 16 de enero de 2026

Fecha de entrega del informe: Viernes, 23 de enero de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.


Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9, por lo cual se validó dicho trabajo.

Atentamente


MA Martha Viveros
Responsable del
CIDEN

Anexo 2. Análisis de suelo del sitio del experimento

	LABORATORIO FISICOQUIMICOS	Código: LFQ-FO-01
	REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS	Versión: 1
		Fecha: 17 de Junio de 2024
		Página: 1 de 3

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					
Código:	1124 - 1120	Fecha Recepción	8/11/2024	Fecha entrega	21/11/2024
Nombre:	EDISON STALIN FUELTALA	Número de identificación:	-	Teléfono:	-
Muestra:	SUELO	Finca:	SAN FRANCISCO	Cantidad:	1 kg
E-mail:	jborda@hotmail.com			Lote:	-
Municipio:	TULCAN	Departamento:	CARCHI	Vereda:	SANTA MARTA
Cultivo(s):	PAPA	Solicitado por:	Jorge Borda		

ANÁLISIS FISICO-QUÍMICO SUELOS						
* UNIDADES: mg/kg = ppm; cmol(+)/kg= meq/100 g; dS/m= mmhos/cm						
** CONVENCIONES: ND: no detectable; NA: No analizado.						
DETERMINACIÓN DE TEXTURA						
Parámetro	Resultado	Unidad*	Rango	Método / Referencia		
Arena	74,49	%	20 70	Bouyoucos / NTC 6299		
Arcilla	5,63	%	10 25	Bouyoucos / NTC 6299		
Limo	19,88	%	30 50	Bouyoucos / NTC 6299		
Clase	ArenoFrancosa	Adimensional	Franca	Triángulo textural / NTC 6299		
Parámetro	Sigla	Resultado	Unidad*	Rango ***	Interpretación	Método / Referencia
pH	pH	5,83	pH-unidades	5,5 6,0	ADECUADO	1:1, agua. Potenciométrica/ NTC 5264
Conductividad Eléctrica	CE	0,08	dS/m	0 2	ADECUADO	1:5, agua. Potenciométrica/ NTC 5596
Materia Orgánica	MO	16,39	%	5 10	ALTO	Oxidación húmeda. Volumétrica/ NTC 5403
Aluminio	Al	0,00	cmol(+)/Kg	0 0,5	ADECUADO	Sln. KCl 1N. Volumétrica/ NTC 5263
Calcio	Ca	8,51	cmol(+)/Kg	3 6	ALTO	1M Acetato NH ₄ . AA / NTC 5349
Magnesio	Mg	2,24	cmol(+)/Kg	1,5 2,5	ADECUADO	1M Acetato NH ₄ . AA / NTC 5349
Potasio	K	0,59	cmol(+)/Kg	0,40 0,80	ADECUADO	1M Acetato NH ₄ . AA / NTC 5349
Sodio	Na	0,23	cmol(+)/Kg	0,00 1,00	ADECUADO	1M Acetato NH ₄ . AA / NTC 5349
Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva	CICE	11,57	cmol(+)/Kg	4,9 10,8	ALTO	Suma cationes
Fósforo	P	7,23	mgP/Kg	30 40	BAJO	Bray II. Colorimetría (UV/VIS) / NTC 5350
Azufre	S	12,27	mg/Kg	12 15	ADECUADO	Acetato 5M, Acético 0,25M. Turbidimétrica (UV/VIS) / NTC 5402
Cobre	Cu	0,19	mg/Kg	3 5	BAJO	Mehlich I. AA / NTC 5526
Zinc	Zn	3,50	mg/Kg	3 5	ADECUADO	Mehlich I. AA / NTC 5526
Boro	B	0,22	mg/Kg	0,5 1,0	BAJO	Ca(OH)PO ₄ . Colorimetría. / NTC 5404
Hierro	Fe	4,64	mg/Kg	50 75	BAJO	Mehlich I. AA / NTC 5526
Manganeso	Mn	11,99	mg/Kg	10 15	ADECUADO	Mehlich I. AA / NTC 5527
RELACIONES MATEMÁTICAS						
Saturación Al	0,00	%	0 20	100x[Al/CiCef]		
Saturación Ca	73,54	%	30 60	100x[Ca/CiCef]		
Saturación Mg	19,34	%	15 25	100x[Mg/CiCef]		
Saturación K	5,12	%	2 4	100x[K/CiCef]		
Saturación Na	2,00	%	1 2	100x[Na/CiCef]		
Ca/Mg	3,80	Adimensional	2 5	Relación matemática		
Mg/K	3,78	Adimensional	2 4	Relación matemática		
Ca/K	14,35	Adimensional	6 12	Relación matemática		
(Ca + Mg) / K	18,13	Adimensional	0 70	Relación matemática		
Ca - Mg - K	14,3 - 3,8 - 1,0	Adimensional	6 - 3 - 1	Relación matemática		
Ca + Mg + K	11,34	Adimensional	8 16	Relación matemática		

*** Rango de referencia para el cultivo de PAPA

Anexo 3. PERMAXION® DESARROLLO

PERMAXION DESARROLLO

Registro de productor ICA 00012328 / Registro de venta ICA 13118



Tipo de producto

Fertilizante mineral orgánico

Descripción

Fertilizante completo formulado de acuerdo a los requerimientos nutricionales de cultivos en etapa de crecimiento, que por medio de la tecnología PERMAXION y la acción de su ingrediente activo BIOPOTENT permite suministrar los nutrientes a los cultivos de forma controlada y balanceada, cuando estos lo requieren, logrando así su máximo potencial de expresión genética.

Beneficios

- Proporciona nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores.
- Mejora la estructura del suelo al aportar materia orgánica.
- Mejor balance en la nutrición, propiciando mayor desarrollo radicular, mayor vigor y rápido desarrollo de plantas jóvenes.
- Mayor sanidad del cultivo, debido a menor incidencia de plagas y enfermedades.
- Aumenta la cantidad de microorganismos benéficos del suelo.

Aplicación

Aplique entre 250 a 350 kilogramos por hectárea, incorporándolo en el suelo. Para la aplicación del producto, es recomendable la prescripción de un ingeniero agrónomo, con base en análisis de suelos o de tejido foliar.

Presentación

Bulto de 50 Kg

Característica del empaque

Material en polipropileno, laminado. Se utiliza liner.

Almacenamiento

El producto es estable bajo condiciones ambientales normales de temperatura y presión. Humedad relativa crítica 74%.

FTP 029 - V1 - 09/09/2024

Composición garantizada

Parámetros	Unidades
Nitrógeno total (N)	8,08%
Nitrógeno Amoniacal (N)	4,86%
Nitrógeno Ureico (N)	3,22%
Fósforo asimilable (P2O5)	12,5%
Potasio soluble en agua (K2O)	5,38%
Calcio total (CaO)	1,56%
Magnesio total (MgO)	2,83%
Azufre total (S)	2,21%
Azufre soluble en agua (S)	0,81%
Hierro total (Fe)	0,89%
Zinc total (Mn)	0,28%
Silicio total (SiO2)	17,86%
Carbono orgánico oxidable total	7,04%
pH en solución al 10%	6,38
Conductividad eléctrica (1:100)	2,47 dS/m
Capacidad de intercambio catiónico	41 meq/100 gr
Humedad máxima	9,83%
Salmonella	Ausente/25 g
Enterobacterias	0,0E+00UFC/g
Contenido metales pesados	< límites establecidos

EFICIENCIA EN NUTRICIÓN VEGETAL



Abonamos

Abonamos S.A.S. | NIT 090 923 630 | Calle 98 Sur # 45-325, Km 3 Variante Caldas
+57 300 912 0441 | +57 310 434 4314 | www.abonamos.com

SOBIOTECH

Sobiotech S.A.S. | NIT 900 322 398 | Km 25 Autopista Medellín Bogotá
+57 310 469 1306 | www.sobiotech.co

Anexo 4. PERMAXION® PRODUCCIÓN

PERMAXION PRODUCCIÓN

Registro de venta ICA 13813



Fertilizante
ORGÁNICO
bio-mineral



Tipo de producto:
Fertilizante mineral orgánico

Descripción
Fertilizante completo formulado de acuerdo a los requerimientos nutricionales de cultivos en producción, que por medio de la tecnología PERMAXION® permite suministrar los nutrientes a los cultivos de forma controlada y balanceada, cuando estos lo requieren, logrando así su máximo potencial de expresión genética.
Aporta de forma balanceada Nitrógeno, Fósforo y Potasio, para ser usado en cualquier cultivo en etapa de producción.

Beneficios

- Proporciona nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores.
- Mejora la estructura del suelo al aportar materia orgánica.
- Tiene una composición homogénea entre Nitrógeno, Fósforo y Potasio, de acuerdo con las necesidades del suelo en el cual se aplicará.

Aplicación
Para la aplicación del producto, es recomendable la prescripción de un ingeniero agrónomo, con base en análisis de suelos o de tejido foliar.

Presentación
Bulto de 10, 15, 20, 25, 40 y 50 Kg.
Bolsa de 500 g, 1, 5 y 10 Kg

Característica del empaque
Bulto. Material en polipropileno, laminado. Se utiliza liner.
Bolsa. Material en polietileno

Almacenamiento
El producto es estable bajo condiciones ambientales normales de temperatura y presión. Humedad relativa crítica 74%

Composición garantizada

Parámetros	Unidades
Nitrógeno Total (N)	7.30 %
Nitrógeno Amoniacal (N)	0.62 %
Nitrógeno Amoniacal (N)	0.36 %
Nitrógeno Ureico (N)	6.32 %
Fósforo Total (P 2 O 5)	3.48 %
Fósforo asimilable (P 2 O 5)	2.87 %
Potasio Total (K 2 O)	22.49 %
Potasio Soluble en agua (K 2 O)	21.58 %
Calcio Total (CaO)	2.75 %
Magnesio Total (MgO)	2.71 %
Azufre Total (S)	1.271 %
Sodio Total (Na)	0.45 %
Silicio Total (SiO 2)	14 %
Carbono Orgánico Oxidable Total	5 %
Relación C/N	0.68
Conductividad Eléctrica 1:100	6.24 dS/m
pH en 10%	6.24
Densidad real (base seca)	0.82 g/cm 3
Humedad	2.20 %
Salmonella spp	Ausente/25g
Coliformes Totales	<1.8 NMP/g
Huevos de helmintos	< 1 huevo/4g ST
Contenido metales pesados	< límites establecidos

EFICIENCIA EN NUTRICIÓN VEGETAL



FTP 030 - V1 - 09/09/2024

Abonamos

Abonamos S.A.S. | Nit 890.923.630 | Calle 96 Sur # 46-325, Km 3 Variante Caldas
+57 300 912 6441 | +57 310 434 4314 | www.abonamos.com

SOBIOTECH

Sobitech S.A.S. | Nit 900.322.399 | Km 25 Autopista Medellín Bogotá
+57 310 469 1306 | www.sobitech.co

Anexo 5. Proceso experimental



Figura 5. Preparación del terreno



Figura 6. Señalización del experimento



Figura 7. Siembra



Figura 8. Control Fitosanitario



Figura 9. Toma de datos



Figura 10. Toma de datos



Figura 11. Cosecha



Figura 12. Cosecha

Anexo 6. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio

```
# --- PASO 1: CARGA DE LIBRERÍAS Y DATOS ---
if(!require(agricolae)) install.packages("agricolae")
if(!require(tidyverse)) install.packages("tidyverse")
if(!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")

library(agricolae)
library(tidyverse)
library(ggplot2)

# IMPORTANTE: Copia tus datos desde el archivo "DATA" (incluyendo encabezados)
datos <- read.table("clipboard", header=TRUE, sep="\t", dec=".", fileEncoding="latin1")

# --- PASO 2: LIMPIEZA INTELIGENTE DE ETIQUETAS ---
datos$Tipo_Tecnol <- gsub(" ", "", datos$Tipo_Tecnol)
datos$Dens_Siembra <- gsub(" ", "", datos$Dens_Siembra)

# Convertir a Factores con Etiquetas Formales
datos$Tipo_Tecnol <- factor(datos$Tipo_Tecnol,
                           levels = c("CONVENCIONAL", "PAQ.TECN"),
                           labels = c("Manejo Convencional (Ecuador)", "Paquete Abonamos
(Colombia)"))

datos$Dens_Siembra <- factor(datos$Dens_Siembra,
                             levels = c("50cm", "40cm"),
                             labels = c("0.50 m (20k plantas/ha)", "0.40 m (25k plantas/ha)"))

datos$Bloq <- as.factor(datos$Bloq)

# --- PASO 3: ANÁLISIS DE VARIANZA (Split-Plot) ---
modelo <- sp.plot(block = datos$Bloq,
                  pplot = datos$Tipo_Tecnol, # Parcela Grande
```

```

    splot = datos$Dens_Siembra, # Sub Parcela
    Y = datos$KG.HA) # Variable Respuesta

# --- PASO 4: PRUEBAS DE COMPARACIÓN (TUKEY) ---
# Calculamos los objetos Tukey para usarlos en las gráficas
tukey_A <- HSD.test(y = datos$KG.HA, trt = datos$Tipo_Tecnol,
    DFerror = modelo$gl.a, MSerror = modelo$Ea, group = TRUE, console =
TRUE)

tukey_B <- HSD.test(y = datos$KG.HA, trt = datos$Dens_Siembra,
    DFerror = modelo$gl.b, MSerror = modelo$Eb, group = TRUE, console =
TRUE)

tukey_int <- HSD.test(y = datos$KG.HA, trt = interaction(datos$Tipo_Tecnol,
datos$Dens_Siembra),
    DFerror = modelo$gl.b, MSerror = modelo$Eb, group = TRUE, console =
TRUE)

# --- PASO 5: GRÁFICA FACTOR A (TECNOLOGÍA) ---
# 1. Resumir datos
resumen_A <- datos %>%
    group_by(Tipo_Tecnol) %>%
    summarise(promedio = mean(KG.HA, na.rm=T), de = sd(KG.HA, na.rm=T)) %>%
    arrange(desc(promedio))

# 2. Asignar letras de Tukey (Asegurando que coincidan con el nombre del
tratamiento)
resumen_A$letra <- tukey_A$groups[as.character(resumen_A$Tipo_Tecnol), "groups"]

# 3. Graficar
ggplot(resumen_A, aes(x = Tipo_Tecnol, y = promedio)) +
    geom_bar(stat = "identity", fill = "#4E84C4", color="black", width=0.6) + # Azul
académico
    geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.2) +
    geom_text(aes(y = promedio + de + 2500, label = letra), vjust = 0, size=7,
fontface="bold") +
    labs(title = "Efecto del Paquete Tecnológico en el Rendimiento",
x = "", y = "Rendimiento (Kg/ha)") +
    theme_bw(base_size = 14) +
    theme(axis.text.x = element_text(size=12, face="bold"))

# --- PASO 6: GRÁFICA FACTOR B (DENSIDAD) ---
# 1. Resumir datos
resumen_B <- datos %>%
    group_by(Dens_Siembra) %>%
    summarise(promedio = mean(KG.HA, na.rm=T), de = sd(KG.HA, na.rm=T)) %>%
    arrange(desc(promedio))

# 2. Asignar letras
resumen_B$letra <- tukey_B$groups[as.character(resumen_B$Dens_Siembra),
"groups"]

```

3. Graficar

```
ggplot(resumen_B, aes(x = Dens_Siembra, y = promedio)) +  
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray60", color="black", width=0.6) +  
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.2) +  
  geom_text(aes(y = promedio + de + 2500, label = letra), vjust = 0, size=7,  
fontface="bold") +  
  labs(title = "Efecto de la Densidad de Siembra",  
x = "", y = "Rendimiento (Kg/ha)") +  
  theme_bw(base_size = 14)
```

--- PASO 7: GRÁFICA DE INTERACCIÓN (Opcional si no hubo significancia) ---

```
resumen_int <- datos %>% group_by(Tipo_Tecnol, Dens_Siembra) %>%  
  summarise(promedio = mean(KG.HA, na.rm=T), de = sd(KG.HA, na.rm=T))  
  
letras_df <- data.frame(trat = rownames(tukey_int$groups), letra =  
tukey_int$groups$groups)  
resumen_int$interaccion <- interaction(resumen_int$Tipo_Tecnol,  
resumen_int$Dens_Siembra)  
resumen_int <- merge(resumen_int, letras_df, by.x="interaccion", by.y="trat")  
  
ggplot(resumen_int, aes(x = Tipo_Tecnol, y = promedio, fill = Dens_Siembra)) +  
  geom_bar(stat = "identity", position = position_dodge(0.9), color="black", width=0.7)  
+  
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de),  
width = 0.2, position = position_dodge(0.9)) +  
  geom_text(aes(y = promedio + de + 2500, label = letra),  
position = position_dodge(0.9), vjust = 0, size=5) +  
  labs(title = "Interacción: Paquete vs. Densidad", x = "", y = "Rendimiento (Kg/ha)", fill =  
"Densidad") +  
  theme_bw(base_size = 12) + scale_fill_grey(start = 0.4, end = 0.8)
```