

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: "Evaluación de bioinsumos y fertilización edáfica en el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Centro Experimental San Francisco - UPEC"

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

AUTOR: Hernández Rosero Joseph Alexander

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Hernández Rosero Joseph Alexander con el número de cédula 0401918495 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de bioinsumos y fertilización edáfica en el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Centro Experimental San Francisco - UPEC"

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.

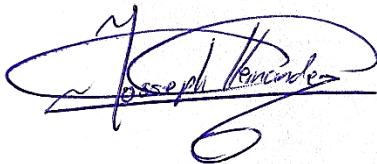
TUTOR

Tulcán, abril 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, Hernández Rosero Joseph Alexander con cédula de identidad número 0401918495 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Joseph Alexander Hernández Rosero', with a horizontal line drawn through it.

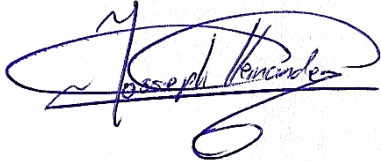
Hernández Rosero Joseph Alexander

AUTOR

Tulcán, abril de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Hernández Rosero Josseph Alexander declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de bioinsumos y fertilización edáfica en el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Centro Experimental San Francisco - UPEC" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Hernández Rosero Josseph Alexander

AUTOR

Tulcán, abril de 2026

AGRADECIMIENTO

A **Dios**, Agradezco profundamente a Dios por ser mi guía en cada paso de este camino. Por darme fortaleza en los momentos de debilidad, sabiduría para tomar decisiones y esperanza para no rendirme. Su presencia ha sido mi sostén en los días difíciles y mi luz en los momentos de incertidumbre. Gracias por bendecirme con la oportunidad de alcanzar esta meta y por rodearme de personas que han sido fundamentales en este proceso.

A mis queridos padres, **Leonardo Hernández y Carmen Rosero** hoy culmino una etapa importante de mi vida, y no puedo hacerlo sin mirar atrás y reconocer todo lo que han sido para mí. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Ustedes han sido mi guía, mi fuerza y mi mayor inspiración. Todo lo que soy y todo lo que he logrado lleva su huella. Este logro también les pertenece.

A mi amada esposa, **Karina Chávez**; Gracias por ser mi compañera en cada momento de este camino. Por tu paciencia, tu apoyo constante y por darme fuerzas cuando más lo necesitaba. Tu amor ha sido mi refugio en los días difíciles y mi alegría en cada pequeño avance. Este logro no habría sido posible sin ti a mi lado. Eres parte fundamental de este sueño hecho realidad.

A mis queridas hermanas, **Daniela Hernández y Samantha Hernández**; Gracias por estar siempre presentes, por sus palabras de ánimo, su cariño y su confianza en mí. Han sido un apoyo invaluable en este proceso, recordándome siempre que no estoy solo. Su amor y compañía han sido un motor para seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes.

A mi tutor de tesis; **MsC. Guillermo Jácome** mi más sincero agradecimiento por su guía, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por motivarme a dar lo mejor de mí y por contribuir de manera tan significativa en mi formación académica y profesional.

Hernández Rosero Joseph Alexander

DEDICATORIA

A **Dios**, por ser mi guía constante en cada paso de este camino, por darme la fortaleza cuando sentí que no podía continuar, por iluminar mi mente en los momentos de duda y por regalarme la oportunidad de alcanzar este logro. Todo lo que soy y todo lo que he conseguido es gracias a tu amor infinito y tu presencia en mi vida.

A mis padres, **Carmen Rosero y Leonardo Hernández** quienes son el pilar fundamental de todo lo que soy. Gracias por su amor, su apoyo incondicional durante todo este tiempo, no se como expresar todo lo que siento al pensar en los sacrificios que han hecho por mí, dejando de lujos por darme lo mejor. Gracias por querer que triunfe en la vida, por brindarme estudios y una buena educación. Lo que soy hoy es gracias a ustedes. A pesar de los problemas, siempre hemos sido familia, y eso me enseña que puedo contar con ustedes en los buenos y malos momentos. Prometo que poco a poco les retribuiré todo lo que han hecho por mí. Este triunfo también es suyo, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible. Los amo.

A mis hermanas, **Daniela Hernández y Samantha Hernández** mis amores gracias por ser mi compañía, mi apoyo y mi alegría en los momentos más difíciles. Gracias por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento, por su cariño sincero y por recordarme siempre quién soy. Este logro también lleva una parte de ustedes, porque han sido parte esencial de mi vida y de mi motivación.

A mi esposa, **Karina Chávez** el amor de mi vida, quien ha sido mi refugio y mi fuerza en este camino. Gracias por tu paciencia, por tu comprensión, por sostenerme en los momentos de cansancio y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Tu amor ha sido mi mayor impulso para no rendirme. Este logro también es tuyo, porque sin ti este camino habría sido mucho más difícil.

Hernández Rosero Josseph Alexander

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.....	18
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1 Origen del cultivo de zanahoria	22
2.2.2 Taxonomía del cultivo.....	22
2.2.3 Morfología.....	23
2.2.4 Requerimiento edafoclimático	24
2.2.5 Material genético y variedades.....	25
2.2.6 Nutrición mineral y calidad de raíz.....	28
2.2.7 Bioinsumos.....	29
2.2.8 Inoculantes Bacterianos: <i>Methylobacterium symbioticum</i>	29
2.2.9 Hidrolizados Proteicos y Aminoácidos (Biosangre).....	30

III. METODOLOGÍA	31
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	31
3.1.1. Enfoque	31
3.1.2. Tipo de Investigación	31
3.2. HIPÓTESIS	31
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	32
3.3.1. Definición de las variables	32
3.3.2. Operacionalización de las variables	33
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	35
3.4.1. Área de estudio	35
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental.....	35
3.4.3. Características del diseño experimental	36
3.4.4. Distribución y características del experimento	36
3.4.5. Población y muestra de la investigación	37
3.4.6. Procedimientos	38
3.4.7. Variables evaluadas.....	40
3.4.7.1. Altura de planta.....	40
3.4.7.2. Número de hojas	40
3.4.7.3. Diámetro del tallo (Cuello).....	40
3.4.7.4. Longitud de raíz	40
3.4.7.5. Diámetro de raíz	41
3.4.7.6. Peso.....	41
3.4.7.7. Clasificación por categorías.....	41
3.4.7.8. Análisis costo - beneficio.....	41
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42

4.1. RESULTADOS	42
4.1.1. Altura de planta.....	42
4.1.2. Número de hojas	43
4.1.3. Diámetro de tallo (cuello).....	44
4.1.4. Longitud de raíz	46
4.1.5. Diámetro de raíz	47
4.1.6. Rendimiento por ha.....	49
4.1.7. Análisis costo - beneficio.....	51
4.2. DISCUSIÓN	54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. CONCLUSIONES	58
5.2. RECOMENDACIONES	59
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
VII. ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de zanahoria	23
Tabla 2. Operacionalización de variables	33
Tabla 3. Tratamientos del experimento	36
Tabla 4. Características del experimento.....	36
Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de planta (60 a 105 dds)	42
Tabla 6. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (75 a 105 dds)	43
Tabla 7. Análisis de varianza para el número de hojas (60 a 105 dds)	44
Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas (90 y 105 dds)	44
Tabla 9. Análisis de varianza para el diámetro de tallo – cuello (60 a 105 dds)	45
Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo – cuello (75 a 105 dds)	46
Tabla 11. Análisis de varianza para longitud de raíz (150 dds)	46
Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para longitud de raíz (150 dds)	47
Tabla 13. Análisis de varianza para diámetro de raíz (150 dds)	48
Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de raíz (150 dds)	49
Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento por categorías (150dds) .	50
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento por categorías (150dds)	51
Tabla 17. Análisis costo/beneficio	53
Tabla 18. Normalidad y homogeneidad de varianzas	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Raíz Zanahoria Variedad Vilmorin (Royal Chantenay)	27
Figura 2. Raíz Zanahoria Variedad Imperial (Híbrido F1)	28
Figura 3. Ubicación del experimento.....	35
Figura 4. Distribución del ensayo	37
Figura 5. Parcela neta.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	63
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	64
Anexo 3. Análisis de suelo del sitio del experimento	66
Anexo 4. Análisis de Biosangre	67
Anexo 5. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad de varianzas.....	70
Anexo 6. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial	70

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la aplicación de bioinsumos (*Methylobacterium symbioticum* e Hidrolizado proteico) y diferentes niveles de fertilización edáfica en el comportamiento agronómico, rendimiento y rentabilidad de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.), Vilmorin e Imperial, en el cantón Huaca, provincia del Carchi. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2 x 7, conformado por 14 tratamientos y 4 repeticiones. Los resultados determinaron que la interacción entre la variedad híbrida Imperial y el bioinsumo Biosangre junto al 100% de fertilización química (T10) maximizó el desarrollo vegetativo, alcanzando una altura de 51.03 cm y un rendimiento total récord de 86.52 t/ha. Asimismo, se validó la eficiencia de la bio-sustitución: el tratamiento T8 (Imperial + BlueN + 50% fertilización) logró un rendimiento de 79.92 t/ha, igualando estadísticamente al testigo químico convencional (78.40 t/ha), lo que demuestra que la fijación biológica de nitrógeno permite reducir la carga química a la mitad sin mermas productivas. Económicamente, la variedad Imperial generó la mayor utilidad neta (\$11,301 USD/ha) y relación Beneficio/Costo (3.29), superando ampliamente a la variedad Vilmorin, cuyo menor precio de mercado limitó su rentabilidad. Se concluye que la implementación de estrategias de bio-intervención y genética superior constituye una alternativa técnica y financiera viable para optimizar la producción de zanahoria en la zona norte del Ecuador

Palabras Claves: *Daucus carota*, bioinsumos, *Methylobacterium symbioticum*, fertilización edáfica, rendimiento, rentabilidad.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of applying bio-inputs (*Methylobacterium symbioticum* and protein hydrolysate) and different levels of edaphic fertilization on the agronomic behaviour, yield and profitability of two carrot varieties (*Daucus carota* L.), Vilmorin and Imperial, in the canton of Huaca, Carchi province. A Randomized Complete Block Design (RCBD) with a 2 x 7 factorial arrangement was used, consisting of 14 treatments and 4 repetitions. The results showed that the interaction between the hybrid variety Imperial and the Biosangre bio-input, combined with 100% chemical fertilisation (T10), maximized vegetative growth, reaching a height of 51.03 cm and a record total yield of 86.52 t/ha. Furthermore, the efficiency of bio-substitution was validated: treatment T8 (Imperial + BlueN + 50% fertilization) achieved a yield of 79.92 t/ha, statistically matching the conventional chemical control (78.40 t/ha), which demonstrates that biological nitrogen fixation allows the chemical load to be halved without any loss of yield. Economically, the Imperial variety generated the highest net profit (\$11,301 USD/ha) and benefit-to-cost ratio (3.29), far exceeding the Vilmorin variety, whose lower market price limited its profitability. To conclude, the implementation of bio-intervention strategies and superior genetics constitutes a viable technical and financial alternative for optimizing carrot production in northern Ecuador.

Keywords: *Daucus carota*, bio-inputs, *Methylobacterium symbioticum*, edaphic fertilization, yield, profitability.

INTRODUCCIÓN

La zanahoria (*Daucus carota* L.) se consolida como una de las hortalizas de raíz de mayor importancia económica y alimentaria a nivel global, valorada por su aporte nutricional en carotenos y fibra. En el contexto ecuatoriano, la producción de zanahoria se concentra mayoritariamente en la región interandina, donde la provincia del Carchi juega un rol protagónico, aportando significativamente al abastecimiento de los mercados mayoristas del norte y centro del país. En cantones como Huaca, este cultivo representa el sustento principal de cientos de familias dedicadas a la agricultura familiar campesina.

Sin embargo, los sistemas productivos actuales enfrentan desafíos críticos que amenazan su sostenibilidad. El modelo convencional predominante se caracteriza por una dependencia excesiva de fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados, utilizados indiscriminadamente bajo la premisa de maximizar rendimientos sin considerar la salud edáfica. Esta práctica ha desencadenado un proceso acelerado de degradación química en los suelos Andisoles, acidificando el perfil y reduciendo la eficiencia biológica del cultivo. A esto se suma un escenario económico adverso: el incremento volátil en los precios internacionales de la urea y el fosfato diamónico (DAP) ha elevado los costos de producción, estrechando los márgenes de rentabilidad para el agricultor.

Adicionalmente, la competitividad del sector se ve limitada por el uso generalizado de material genético de polinización abierta, como la variedad *Vilmorin* (Royal Chantenay). Si bien es una semilla accesible, presenta deficiencias en calidad postcosecha, sufriendo pérdida de pigmentación y turgencia durante el lavado, lo que resulta en precios de venta castigados. Frente a esto, la introducción de híbridos modernos tipo *Imperial* y la implementación de tecnologías de bio-intervención surgen como alternativas necesarias. El uso de inoculantes bacterianos a base de *Methylobacterium symbioticum* (fijadores de nitrógeno foliar) e hidrolizados proteicos enzimáticos (bioestimulantes ricos en potasio) promete optimizar la nutrición del cultivo, permitiendo reducir la carga química sin sacrificar la productividad.

Bajo estas premisas, la presente investigación se planteó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de bioinsumos y diferentes niveles de fertilización edáfica

en el comportamiento agronómico, rendimiento y rentabilidad de dos variedades de zanahoria en el Centro Experimental San Francisco de la UPEC. El estudio busca validar técnicamente una estrategia de "bio-sustitución" que permita disminuir el uso de fertilizantes sintéticos, mejorar la calidad comercial de la raíz mediante genética superior y bioestimulación potásica, y, en última instancia, ofrecer al productor carchense una alternativa tecnológica que incremente su beneficio económico y promueva la sostenibilidad ambiental de sus suelos.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) representa un rubro estratégico para la soberanía alimentaria y la economía familiar en la provincia del Carchi, particularmente en el cantón Huaca, donde las condiciones edafoclimáticas favorecen su producción intensiva. Sin embargo, el modelo productivo predominante se sustenta en un paradigma de "revolución verde" caracterizado por la dependencia sistemática de fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados. Este esquema, si bien ha sostenido los rendimientos históricos, ha generado un círculo vicioso de degradación edáfica: la acidificación progresiva de los suelos Andisoles y el desbalance microbiológico reducen la eficiencia de uso de nutrientes, obligando al agricultor a incrementar las dosis campaña tras campaña para mantener la productividad (García & Martínez, 2023). Económicamente, este manejo impacta directamente en la estructura de costos, donde la fertilización química absorbe hasta el 40% del capital operativo, exponiendo al productor a la volatilidad de los precios internacionales de insumos como la urea y el fosfato diamónico (DAP).

A nivel de material vegetal, la problemática se agudiza por el uso generalizado de variedades de polinización abierta (OP) como *Vilmorin* (Royal Chantenay). Aunque de semilla accesible, estos genotipos presentan limitaciones fisiológicas críticas frente a las exigencias del mercado actual: alta heterogeneidad en calibre, menor potencial de rendimiento por unidad de superficie y una epidermis sensible que sufre micro-abrasiones durante el lavado mecánico postcosecha. Esta pérdida de integridad física y pigmentación (carotenos) se traduce en un alto porcentaje de rechazo y precios de venta castigados en los mercados mayoristas, restando competitividad frente a zonas productoras que ya han migrado hacia híbridos F1 de calidad superior (Mendoza et al., 2022).

Paralelamente, existe un vacío tecnológico en la adopción de estrategias de bio-intervención. A pesar de que el mercado oferta tecnologías avanzadas como inoculantes a base de *Methylobacterium symbioticum* (bacterias diazótroficas foliares)

e hidrolizados proteicos enzimáticos (bioles de alta eficiencia), su validación local es incipiente. Los productores desconocen los protocolos técnicos para integrar estos bioinsumos en un plan de manejo que permita sustituir parcialmente la carga química sin arriesgar la cosecha. La ausencia de datos locales sobre la interacción entre genética mejorada (híbridos) y nutrición biológica impide la transición hacia sistemas más resilientes y rentables (Sánchez, 2024).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El monocultivo y la fertilización sintética indiscriminada en los sistemas de producción de zanahoria del cantón Huaca aceleran la degradación de los suelos Andisoles y elevan los costos operativos, reduciendo la rentabilidad del productor. Asimismo, la dependencia de variedades de bajo potencial genético y la nula adopción de bioinsumos limitan la eficiencia nutricional y la calidad postcosecha, afectando la competitividad del sector frente a mercados exigentes.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de estrategias de bio-intervención mediante inoculantes bacterianos e hidrolizados proteicos optimiza la actividad microbiológica de la rizosfera y potencia la fertilidad natural de los suelos Andisoles. Esto permitirá reducir la carga química acumulada, mejorando la estructura edáfica y la disponibilidad de nutrientes a largo plazo, lo que aportará al bienestar del ecosistema andino brindando una agricultura más resiliente y regenerativa frente al deterioro ambiental (Sánchez, 2024). Este tipo de tecnologías ayudarán a los agricultores de Huaca a sostener sus niveles de producción, recuperando la salud de sus terrenos y contribuyendo a una soberanía alimentaria local.

El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Methylobacterium symbioticum*) y bioestimulantes orgánicos formará parte de una alternativa tecnológicamente viable y amigable con el medio ambiente. Estos insumos suministran nitrógeno atmosférico y potasio orgánico de alta asimilación, evitando la salinización y degradación de los suelos agrícolas; además, su integración en el manejo agronómico permitirá al agricultor un ahorro significativo en los costos de producción al reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos importados como la urea (Vargas-Payares et al., 2023).

En la presente investigación se busca validar protocolos de fertilización biológica que permitan competir en rendimiento con el manejo químico convencional,

proporcionando alternativas innovadoras que aumenten la productividad del cultivo de zanahoria. Mediante la sustitución parcial de insumos, se garantizará una mayor rentabilidad económica para las familias productoras, transformando los sistemas tradicionales en modelos eficientes que maximicen el retorno de inversión a través de cosechas de calidad extra (García & Martínez, 2023).

La interacción entre bioinsumos (BlueN y Biosangre) y genética superior (Híbrido Imperial) influirá significativamente en la calidad comercial de la raíz, mejorando el calibre, el color y la uniformidad de la cosecha. Esta sinergia generará un fuerte efecto en la resistencia mecánica al lavado y permitirá una mayor duración de vida en percha, disminuyendo las pérdidas por descarte y asegurando el acceso a precios preferenciales en mercados exigentes (Agro Karina, 2024).

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar bioinsumos y fertilización edáfica en el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Centro Experimental San Francisco – UPEC.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo la aplicación de bioinsumos (*Methylobacterium symbioticum* e Hidrolizado proteico) en interacción con diferentes niveles de fertilización edáfica.
- Comparar el rendimiento comercial por categorías y la productividad total del cultivo en función de los tratamientos evaluados para establecer la eficiencia de la sustitución parcial de fertilizantes químicos.
- 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 los bioinsumos (*Methylobacterium symbioticum* e Hidrolizado proteico) y los niveles de fertilización edáfica en las variables de crecimiento vegetativo y desarrollo de la raíz de las variedades de zanahoria evaluadas?

- ¿Qué diferencias existen en el rendimiento comercial por categorías y la productividad total del cultivo entre los tratamientos de sustitución parcial y la fertilización química convencional?
- ¿Cuál es la alternativa tecnológica más rentable para la producción de zanahoria en la zona, determinada mediante el análisis de la relación Beneficio/Costo de los tratamientos aplicados?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

López y Santillán (2020), en su investigación titulada "Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) en Lamas, Perú", utilizaron un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con 5 tratamientos y 3 repeticiones, sumando un total de 15 unidades experimentales. Las variables de estudio fueron altura de planta, peso de raíz y rendimiento total. Los resultados mostraron que la inoculación bacteriana permitió reducir hasta un 50% la fertilización nitrogenada sin afectar el rendimiento estadístico, obteniendo una producción de 28.4 t/ha con el tratamiento combinado de *Azospirillum* más fertilización reducida, valor estadísticamente similar al testigo químico al 100% que rindió 29.1 t/ha. Se concluye que el uso de biofertilizantes optimiza la absorción de nutrientes y compensa la reducción de urea sintética, validando la viabilidad técnica de la bio-sustitución parcial en el cultivo.

Mena (2021), en su tesis titulada "Evaluación de tres bioles a base de residuos orgánicos enriquecidos con minerales en el cultivo de zanahoria en el cantón Riobamba", empleó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones para evaluar el efecto de la aplicación foliar de bioles enriquecidos. Evaluó variables como longitud de raíz, diámetro, peso a la cosecha y calidad comercial. Los resultados indicaron que los tratamientos con bioles enriquecidos alcanzaron los mayores rendimientos productivos (42.5 t/ha), superando significativamente al testigo convencional (35.8 t/ha). Además, el diámetro de raíz mejoró, pasando de 3.2 cm en el testigo a 4.1 cm con la aplicación de biol. Concluyó que el aporte de micronutrientes quelatados y materia orgánica soluble presentes en los bioles estimula el engrosamiento de la raíz y mejora la calidad comercial del producto final.

Apaza (2019), en su estudio "Respuesta del cultivo de zanahoria a diferentes niveles de fertilización potásica en el Altiplano", utilizó un diseño de bloques al azar

evaluando dosis crecientes de potasio (0, 40, 80 y 120 kg/ha). Las variables clave fueron diámetro de raíz, longitud y rendimiento de primera calidad. Los resultados demostraron una correlación lineal positiva entre la dosis de potasio y el calibre del producto; el tratamiento con la dosis alta de potasio alcanzó un diámetro promedio de 4.5 cm y un rendimiento de 58 t/ha, mientras que el tratamiento sin potasio se limitó a 3.1 cm y 32 t/ha. Concluyó que el potasio es el elemento nutricional determinante para el llenado y peso final de la zanahoria, siendo indispensable su aplicación en etapas fenológicas avanzadas para maximizar el rendimiento.

Vargas et al. (2023), en su artículo científico "Eficacia agronómica de *Methylobacterium symbioticum* como biofertilizante nitrogenado en cultivos intensivos", evaluaron la capacidad de esta bacteria endófito para sustituir unidades de nitrógeno químico en hortalizas. Emplearon un diseño experimental parcelado midiendo contenido de clorofila (SPAD), biomasa aérea y rendimiento. Los resultados revelaron que las plantas tratadas con *M. symbioticum* mantuvieron niveles de clorofila estadísticamente iguales a las fertilizadas con 100% de urea, logrando rendimientos equivalentes con una reducción del 25% al 50% de nitrógeno sintético. Concluyeron que la bacteria coloniza eficazmente la filósfera y proporciona nitrógeno metabolizable de manera constante, mejorando la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) y permitiendo estrategias de fertilización más sostenibles.

Quispe (2020), en su investigación "Evaluación comparativa de tres variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo condiciones de valle interandino", comparó el comportamiento agronómico de las variedades 'Nantes', 'Chantenay' e 'Imperial' bajo un diseño DBCA. Evaluó rendimiento total, porcentaje de descarte y resistencia a enfermedades. Los resultados destacaron a la variedad Imperial como la más productiva, con un rendimiento de 65.4 t/ha, superando significativamente a la variedad Nantes que obtuvo 48.2 t/ha. Sin embargo, Imperial también presentó un mayor porcentaje de raíces bifurcadas o de descarte (8%) en comparación con Nantes (4%). Concluyó que, a pesar del mayor volumen de descarte, la variedad Imperial es agronómicamente superior por su capacidad de generar mayor biomasa y su rusticidad ante condiciones adversas.

Churata (2019), en su trabajo "Efecto de la aplicación de bioestimulantes foliares en el rendimiento de zanahoria var. Chantenay", utilizó un diseño DBCA con 4 tratamientos (aminoácidos, algas, testigo) y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de planta, vigor y rendimiento comercial. Encontró que la aplicación

foliar de aminoácidos a los 45 y 60 días incrementó la altura de planta a 48.5 cm, superando los 40.2 cm del testigo, y elevó el rendimiento a 52.1 t/ha. Concluyó que la bioestimulación foliar en etapas de crecimiento activo potencia la división celular y la elongación del tallo, resultando en plantas de mayor porte y capacidad fotosintética, lo cual se traduce en un mejor llenado de la raíz.

Guamaní (2021), en su estudio económico titulado "Análisis de rentabilidad de híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo sistemas de producción tecnificada en la provincia de Pichincha", evaluó la relación costo-beneficio de tres cultivares híbridos frente a variedades de polinización abierta. Determinó que, aunque el costo de la semilla híbrida representa hasta un 15% de los costos directos (frente al 5% en variedades convencionales), el retorno sobre la inversión es superior debido a la calidad de la raíz (Categoría Primera). Concluyó que los híbridos generan una Utilidad Neta promedio de \$8,500 USD/ha, mientras que las variedades tradicionales apenas alcanzan los \$5,200 USD/ha debido al castigo en el precio de venta por defectos físicos y menor vida en percha.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Origen del cultivo de zanahoria

Su centro de origen primario se sitúa en Asia Central, específicamente en las regiones de Afganistán e Irán, donde se encuentran las mayores diversidades genéticas de tipos silvestres con raíces de colores violeta y amarillo (ricas en antocianinas y xantofilas). Desde allí, la especie se dispersó hacia la región del Mediterráneo y posteriormente al resto de Europa. Cabe destacar que la zanahoria de color naranja, rica en carotenos y tal como la conocemos hoy comercialmente (variedades como *Imperial* y *Vilmorin*), es el resultado de procesos de mejoramiento genético realizados en Holanda durante el siglo XVII (Infoagro, 2019; Parques Nacionales Argentina, 2024).

2.2.2 Taxonomía del cultivo

Según el sistema de clasificación botánica aceptado, la posición sistemática de la zanahoria es la siguiente:

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de zanahoria

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae (Umbelíferas)
Género	<i>Daucus</i>
Especie	<i>Daucus carota</i> L.

Fuente: (Infoagro, 2019)

2.2.3 Morfología

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una planta herbácea, bienal (aunque cultivada como anual), que se caracteriza por desarrollar una roseta de hojas en su fase vegetativa y una raíz hipertrofiada que constituye el órgano de interés económico. Según Intagri (2021) e Infoagro (2019), la estructura morfológica de la planta se describe a continuación:

- Raíz: Es el órgano principal de almacenamiento y la parte comercial del cultivo. Botánicamente es una raíz pivotante, napiforme, engrosada y carnosa.
 - Estructura interna: Presenta dos zonas diferenciadas: la corteza o floema (parte exterior), donde se acumulan azúcares y carotenos, y el cilindro central o xilema (corazón), que tiende a ser más fibroso y pálido.
 - Desarrollo: En suelos sueltos, puede profundizar hasta 30-50 cm, emitiendo raicillas secundarias finas para la absorción de nutrientes. La calidad comercial depende de la relación floema/xilema; variedades como *Imperial* destacan por tener un "corazón" pequeño y del mismo color que la corteza.
- Tallo: Durante la fase vegetativa (primer año), el tallo está extremadamente comprimido en forma de disco o "corona" a nivel del suelo, desde donde emergen las hojas.
 - Tallo Floral: Solo en la fase reproductiva (segundo año o por estrés), el tallo se elonga (escapo floral) alcanzando alturas de 60 a 150 cm, ramificándose en la parte superior para sostener las inflorescencias.
- Hojas: Son compuestas, alternas, pecioladas y muy divididas (pinnatisectas), con segmentos foliares lineales o lanceolados de color verde intenso.
 - Función: Forman una roseta basal helicoidal. Su arquitectura erecta es clave para la eficiencia fotosintética y facilita la cosecha mecánica o manual (arranque). En variedades mejoradas como *Vilmorin* o *Imperial*, el follaje es vigoroso y resistente a enfermedades foliares como *Alternaria*.

- Flores: Se agrupan en inflorescencias tipo umbela compuesta. Las flores son pequeñas, hermafroditas, de color blanco o ligeramente amarillento, con 5 pétalos y 5 estambres. La umbela principal (primaria) es la primera en abrir, seguida de umbelas secundarias. Es una planta predominantemente alógama (polinización cruzada por insectos).
- Fruto y Semilla: El fruto es un diaquenio (esquizocarpo) que se separa en dos mericarpos (semillas botánicas) a la madurez.
 - Características: Las semillas son pequeñas (aprox. 800-1000 semillas/g), de forma ovalada-aplanada, provistas originalmente de "barbas" o ganchos curvos que facilitan su dispersión, aunque en la semilla comercial estas suelen ser eliminadas (semilla "desbarbada") para mejorar la fluidez en la siembra.

2.2.4 Requerimiento edafoclimático

El éxito productivo del cultivo de zanahoria está intrínsecamente ligado a las condiciones del medio, siendo el suelo el factor más determinante para la calidad comercial de la raíz.

Suelo (Edáfico)

- Textura: La zanahoria demanda suelos de textura ligera, preferiblemente franco-arenosos o francos. Los suelos sueltos y friables permiten la penetración profunda de la raíz pivotante sin resistencia mecánica, favoreciendo la formación de raíces rectas, largas y uniformes. Por el contrario, los suelos arcillosos o compactados inducen deformaciones fisiológicas como raíces bifurcadas ("patas de araña"), torcidas o de menor longitud comercial (Infoagro, 2019).
- pH: El rango óptimo de pH oscila entre 5.8 y 7.0 (ligeramente ácido a neutro). En suelos con pH inferior a 5.5 (común en zonas altas con alta precipitación), la disponibilidad de fósforo y molibdeno disminuye drásticamente, mientras que la toxicidad por aluminio puede inhibir el crecimiento radicular (Intagri, 2021).
- Profundidad y Drenaje: Se requiere una profundidad efectiva mínima de 40-50 cm. El cultivo es altamente sensible al encharcamiento (*hipoxia radicular*), que provoca pudriciones bacterianas (*Erwinia*) y enfermedades fúngicas (*Sclerotinia*), además de afectar la respiración de la raíz y la absorción de nutrientes (Cambiagro, 2024).

Clima

- Temperatura: Es una especie de clima templado-frío. La temperatura óptima para el crecimiento foliar es de 18°C a 24°C, mientras que, para el llenado y coloración de la raíz, el rango ideal es más fresco, entre 13°C y 18°C (Infoagro, 2019).
- Efecto térmico: Temperaturas superiores a 25°C aceleran el metabolismo, produciendo raíces más fibrosas (lignificadas), con colores pálidos (menor síntesis de carotenos) y sabor fuerte. Temperaturas inferiores a 8°C detienen el crecimiento, pero mejoran la dulzura por acumulación de azúcares.
- Altitud: Se adapta excelentemente en zonas de valles interandinos y páramos bajos, entre los 1,800 y 3,000 m.s.n.m., como es el caso de Huaca y Tulcán. A mayor altitud, el ciclo del cultivo tiende a alargarse (hasta 150-160 días), pero la calidad organoléptica (sabor y textura) suele ser superior debido a la lenta acumulación de reservas (Intagri, 2021).
- Fotoperiodo: La zanahoria es una planta de día neutro para la formación de raíz, pero la alta radiación solar en la sierra ecuatoriana favorece una fotosíntesis eficiente, siempre que el suministro hídrico sea constante.

2.2.5 Material genético y variedades

En el Ecuador, la clasificación comercial de la zanahoria se basa principalmente en la forma y longitud de la raíz, agrupándose en tipos como: Nantes (cilíndricas y romas), Imperator (largas y puntiagudas), Danvers (cónicas) y Chantenay (cónicas, cortas y gruesas). Para la zona altoandina, predominan las variedades tipo Chantenay debido a su rusticidad y capacidad de penetración en suelos pesados o francos, diferenciándose entre variedades de polinización abierta y materiales híbridos de alto rendimiento (Viteri et al., 2021).

2.2.5.1 Variedad Vilmorin (Royal Chantenay)

Esta variedad, conocida tradicionalmente como "Royal Chantenay", es un material de polinización abierta (OP) ampliamente difundido entre los pequeños productores de la Sierra ecuatoriana. Se caracteriza por desarrollar raíces cónicas y gruesas, ideales para suelos que no son perfectamente sueltos. Aunque es una planta rústica y vigorosa, su principal limitante comercial radica en la sensibilidad de su epidermis; durante el proceso de lavado mecánico tiende a perder pigmentación, adquiriendo

una tonalidad pálida que reduce su valor en el mercado fresco frente a los híbridos modernos (Agrosad, 2023).

Características agronómicas

- Adaptación: 1.800 a 2.800 m.s.n.m.
- Hábito de crecimiento: Roseta erecta semi-abierta.
- Altura de planta: 40 – 55 cm.
- Color de raíz: Naranja medio a claro (cortex) con corazón diferenciado.
- Follaje: Vigoroso, color verde intenso, inserción de hojas fuerte.
- Largo de raíz: 12 a 15 cm.
- Diámetro de hombro: 5 a 7 cm.
- Rendimiento experimental: 40 a 50 t/ha (bajo manejo convencional).
- Ciclo de vida: 130 a 150 días a cosecha (en altura).

Características morfológicas

- Raíz: Forma cónica con punta obtusa (roma), hombros anchos.
- Hojas: Compuestas, pinnatisectas, pubescentes.
- Flor: Inflorescencia en umbela compuesta (solo en fase reproductiva).
- Resistencia: Moderada a heladas ligeras.

Usos

- Consumo fresco: Sopas y guisos caseros.
- Industria: Deshidratados y balanceados (Agrosad, 2023).



Figura 1. Raíz Zanahoria Variedad Vilmorin (Royal Chantenay)
Fuente: (Agrosad, 2023)

2.2.5.2 Variedad Imperial (Híbrido F1)

Esta es una nueva alternativa de producción de alta tecnología desarrollada por la casa semillera Takii (Japón), introducida para maximizar la rentabilidad en zonas de cultivo intensivo como el Carchi. Es un híbrido tipo "Kuroda/Chantenay" mejorado que destaca por la uniformidad de sus raíces y su coloración naranja profundo, tanto en el xilema como en el floema. Su principal ventaja competitiva es la resistencia mecánica de su piel; soporta el lavado agresivo y el transporte a larga distancia sin perder brillo ni color, lo que le permite acceder a precios preferenciales en el mercado. Además, presenta tolerancia genética a enfermedades foliares como *Alternaria dauci* y resistencia al rajado o *cracking* (Agro Karina, 2024).

Características agronómicas

- Adaptación: 2.000 a 3.000 m.s.n.m. (Ideal para la zona de Huaca/Tulcán).
- Hábito de crecimiento: Roseta erecta y compacta (permite mayor densidad).
- Altura de planta: 45 – 60 cm.
- Color de raíz: Naranja intenso brillante (Piel y corazón uniformes).
- Follaje: Fuerte inserción coronal, ideal para cosecha manual al arranque.
- Largo de raíz: 18 a 22 cm.
- Diámetro de hombro: 4 a 6 cm (más cilíndrica que la común).
- Rendimiento experimental: 80 a 90 t/ha (Tecnología alta).
- Ciclo de vida: 140 a 150 días a cosecha.

Características morfológicas

- Raíz: Lisa, cilíndrica-cónica, con terminación redondeada.
- Piel (Epidermis): Lisa y resistente a la abrasión.
- Flor: No emite floración prematura (*Bolting*) bajo condiciones de estrés.
- Sanidad: Tolerante a *Alternaria* y *Oídium*.

Usos

- Consumo fresco premium: Supermercados y mercados mayoristas exigentes.
- Agroindustria: Jugos y congelados (por su alto contenido de carotenos) (Agro Karina, 2024).



Figura 2. Raíz Zanahoria Variedad Imperial (Híbrido F1)

Fuente: (Agro Karina, 2024)

2.2.6 Nutrición mineral y calidad de raíz

Fósforo (P) como arrancador El fósforo es el elemento energético vital para la división celular inicial y el anclaje de la plántula. Dada su inmovilidad en el suelo, especialmente en Andisoles con alta retención de fosfatos (alofanas), su aplicación debe ser total al momento de la siembra y localizada cerca de la semilla para asegurar la intercepción radicular (AgroEs, 2013).

Potasio (K) y el llenado de órganos La zanahoria es una especie potásica por excelencia. El potasio regula la apertura estomática y activa las enzimas encargadas de la síntesis y transporte de azúcares y almidones hacia la raíz. Una deficiencia de K reduce el diámetro, el peso y la calidad organoléptica (dulzor) de la zanahoria. Se

estima una extracción de 4.5 kg de K₂O por cada tonelada de raíz producida (Apaza, 2019).

2.2.7 Bioinsumos

Los bioinsumos se definen como productos de origen biológico formulados a base de microorganismos benéficos (bacterias, hongos), extractos vegetales, subproductos animales o compuestos orgánicos bioactivos (aminoácidos, ácidos húmicos), los cuales, aplicados en bajas dosis, tienen la capacidad de modificar la fisiología de la planta. Su función principal no es la de fertilizar sino la de estimular procesos naturales para mejorar la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la eficiencia metabólica, resultando en un incremento del rendimiento y calidad de los cultivos (Churata, 2019). En la agricultura contemporánea, representan una herramienta clave para reducir la dependencia de insumos sintéticos y mitigar el impacto ambiental.

2.2.8 Inoculantes Bacterianos: *Methylobacterium symbioticum*

El producto comercial evaluado en esta investigación (BlueN) basa su acción en la bacteria *Methylobacterium symbioticum* (cepa SB23). Este microorganismo es un endófito facultativo exclusivo de la filósfera (parte aérea de la planta) que establece una relación simbiótica única con el cultivo.

- **Mecanismo de Acción:** La bacteria coloniza los estomas y el interior de las hojas, donde metaboliza el metanol (compuesto volátil liberado por la planta durante la degradación de la pectina en el crecimiento celular) como fuente de carbono y energía. A cambio, *M. symbioticum* expresa el complejo enzimático nitrogenasa, capaz de reducir el dinitrógeno atmosférico (N₂) inerte y transformarlo en iones amonio (NH₄⁺) biológicamente asimilables. Este nitrógeno es liberado directamente en el citoplasma de las células vegetales, integrándose rápidamente en la síntesis de proteínas y clorofila (Vargas-Payares et al., 2023).
- **Ventaja Técnica:** A diferencia de los inoculantes tradicionales a base de *Rhizobium* o *Azospirillum* que actúan en la raíz, *M. symbioticum* no se ve afectado por factores limitantes del suelo como pH ácido, salinidad o competencia microbiana rizosférica. Al residir en la hoja, proporciona un suministro constante de nitrógeno durante todo el ciclo vegetativo, mejorando la Eficiencia de Uso del Nitrógeno (NUE) y permitiendo estrategias de reducción de fertilización edáfica (Expocultivos, 2024).

2.2.9 Hidrolizados Proteicos y Aminoácidos (Biosangre)

El Biosangre es un bioestimulante orgánico líquido obtenido mediante procesos de hidrólisis enzimática controlada de sangre bovina fresca. A diferencia de la harina de sangre (que aporta nitrógeno de lenta mineralización), la hidrólisis con enzimas proteolíticas (como papaína y bromelaína) rompe las estructuras cuaternarias de la hemoglobina, liberando péptidos de cadena corta y L-aminoácidos libres de alta biodisponibilidad.

- **Composición Nutricional:** El análisis de laboratorio del bioinsumo utilizado en el ensayo reportó una composición rica en Potasio (14,024 ppm / 1.4%), Azufre (5,325 ppm) y Calcio (2,740 ppm), además de Nitrógeno orgánico y Hierro (hémetico) quelatado naturalmente (Labonort, 2025).
- **Función Fisiológica:**
 1. **Efecto Bioestimulante:** Los aminoácidos libres, especialmente la lisina y la prolina, actúan como osmoprotectores y precursores hormonales, permitiendo a la planta ahorrar energía metabólica que redirige hacia la división celular y el crecimiento de tejidos.
 2. **Efecto de Llenado:** El alto contenido de potasio orgánico soluble facilita la carga del floema y la translocación de fotoasimilados (azúcares) desde las hojas hacia el órgano de reserva (raíz), siendo determinante para el calibre y peso final de la zanahoria (Restrepo Rivera & Agredo España, 2020; Biotecnica, 2024).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis de datos numéricos (variables agronómicas y productivas) para determinar la significancia estadística de los tratamientos evaluados. Se utilizó la inferencia estadística para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas sobre el efecto de los bioinsumos en el cultivo de zanahoria.

3.1.2. Tipo de Investigación

El estudio corresponde a una investigación experimental de campo, ya que se manipularon deliberadamente las variables independientes (variedades y niveles de bioinsumos/fertilización) en condiciones controladas dentro del Centro Experimental San Francisco, con el fin de observar y cuantificar su efecto sobre el rendimiento del cultivo.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa (Ha)

La aplicación de bioinsumos (BlueN y Biosangre) en diferentes niveles de fertilización edáfica influye significativamente en el comportamiento agronómico de las variedades de zanahoria Vilmorin e Imperial.

Hipótesis Nula (H0)

La aplicación de bioinsumos (BlueN y Biosangre) en diferentes niveles de fertilización edáfica no influye significativamente en el comportamiento agronómico de las variedades de zanahoria Vilmorin e Imperial.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente

- Factor A: Variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.). Se evalúa el comportamiento genético de los cultivares Vilmorin e Imperial.
- Factor B: Bioinsumos y niveles de fertilización edáfica. Comprende la aplicación de BlueN (*Methylobacterium symbioticum*) y Biosangre (hidrolizado proteico) en interacción con tres niveles de fertilización química (100%, 75% y 50%).

Variable dependiente

- Comportamiento Agronómico: Variables de crecimiento vegetativo medidas durante el ciclo: Altura de planta (cm), número de hojas por planta y diámetro de cuello de raíz (mm).
- Rendimiento y Calidad: Variables medidas a la cosecha: Longitud de raíz (cm), diámetro de la raíz (cm), clasificación comercial (primera, segunda, tercera), peso por parcela neta (kg) y rendimiento proyectado (t/ha).
- Económica: Rentabilidad de los tratamientos mediante la Relación Beneficio/Costo (B/C).

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente	Factor A: Variedades	Genotipos: 1. Vilmorin 2. Imperial	Uso de semilla de casas comerciales Siembra al voleo en campo definitivo	Balanza digital
	Factor B: Bioinsumos y Fertilización	BlueN (<i>Methylobacterium symbioticum</i>): Dosis comercial (333 g/ha). Niveles de Fert. Química: A la siembra 18-46-0, 20 g/m ² A los 65 días después de la siembra 46-0-0, 5 g/m ² + 0-0-60, 10 g/m ² 100% (35 g/m ²), 50%, 0%.	Aplicación foliar en etapa V4-V6. (35 - 50 días después de la siembra)	Bomba de mochila
		Biosangre (Hidrolizado proteico): Dosis: 2% (2 L/100 L agua). Niveles de Fert. Química: A la siembra 18-46-0, 20 g/m ² A los 65 días después de la siembra 46-0-0, 5 g/m ² + 0-0-60, 10 g/m ² 100% (35 g/m ²), 50%, 0%.	Aplicación foliar en etapa V4-V6. (35 - 50 días después de la siembra)	Bomba de mochila
Dependiente	Altura de planta	En cm. Se midió a los 60, 75, 90 y 105 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 hojas	Conteo visual. Se midió a los 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Conteo manual de hojas verdaderas fotosintéticamente activas.	Libreta de campo
Diámetro del tallo (cuello)	En mm. Se midió a los 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Medición del grosor del cuello de la planta a nivel del suelo.	Libreta de campo Calibrador pie de rey
Longitud de raíz	En cm. Se midió a la cosecha.	Medición del largo de la raíz tuberosa comercial desde el hombro hasta el ápice.	Libreta de campo Flexómetro
Diámetro de raíz	En cm. Se midió a la cosecha.	Medición del grosor de la raíz en el tercio superior (zona más ancha).	Libreta de campo Calibrador pie de rey
Peso de raíz (Rendimiento)	En kg. Se midió a la cosecha.	Peso fresco de las raíces comerciales obtenidas en la parcela de la unidad experimental 4m ² .	Libreta de campo Bascula
Clasificación por categorías	Primera, Segunda, Tercera y Descarte	Categorización según tamaño y defectos físicos.	Libreta de campo
Relación 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

La presente investigación experimental se llevó a cabo en el Centro Experimental "San Francisco", perteneciente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). Políticamente, el predio se ubica en el cantón Huaca, provincia del Carchi. Geográficamente, el sitio se encuentra referenciado bajo las coordenadas 0°46'53" Latitud Norte y 77°41'38" Longitud Oeste. Según los registros agroecológicos de la zona, el centro experimental se sitúa a una altitud promedio de 2.890 m.s.n.m., presentando una temperatura media anual de 11.5 °C y una precipitación acumulada de 950 mm, condiciones características de la zona de estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB) (Cuaical, 2025). La ubicación espacial del ensayo se detalla en la Figura 3.

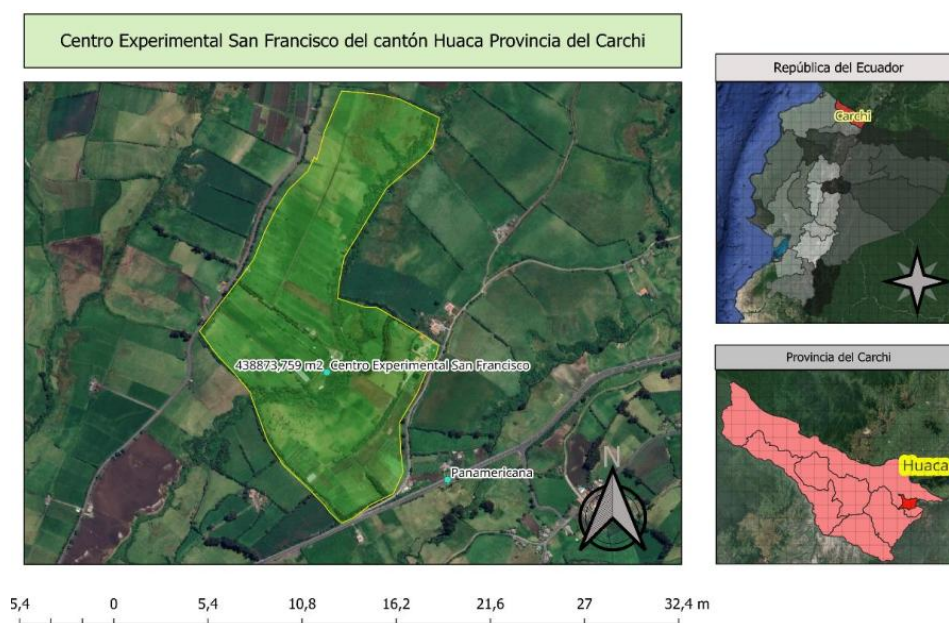


Figura 3. Ubicación del experimento
Fuente: (Cuaical, 2025)

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación se constituyó de 14 tratamientos que se describen a continuación:

Tabla 3. Tratamientos del experimento

Tratamientos	Factor A Variedad	Factor B Bioinsumos/Fertilización	Frecuencia de aplicación
T1	Vilmorin	BlueN + 100% Fertilización	Bioinsumos BlueN 1g/litro de agua Biosangre 20 cc/litro de agua Aplicación foliar en etapa V4-V6. (35 - 50 días después de la siembra) Fertilización edáfica 100% (35 g/m ²), A la siembra 18-46-0, 20 g/m ² A los 65 días después de la siembra 46-0-0, 5 g/m ² + 0-0-60, 10 g/m ²
T2	Vilmorin	BlueN + 50% Fertilización	
T3	Vilmorin	BlueN + 0% Fertilización	
T4	Vilmorin	BioSangre + 100% Fertilización	
T5	Vilmorin	BioSangre + 50% Fertilización	
T6	Vilmorin	BioSangre + 0% Fertilización	
T7	Imperial	BlueN + 100% Fertilización	
T8	Imperial	BlueN + 50% Fertilización	
T9	Imperial	BlueN + 0% Fertilización	
T10	Imperial	BioSangre + 100% Fertilización	
T11	Imperial	BioSangre + 50% Fertilización	
T12	Imperial	BioSangre + 0% Fertilización	
T13	Vilmorin	100% Fertilización	
T14	Imperial	100% Fertilización	

3.4.3. Características del diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2 x 7, lo que resultó en 14 tratamientos. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, dando un total de 56 unidades experimentales. De cada unidad, se evaluaron 20 plantas que conformaron la parcela neta de 4 m².

Tabla 4. Características del experimento

Diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 7	Dimensiones
Tratamientos	14
Repeticiones	4
Unidades experimentales	56
Área de unidad experimental	(2m x 2m)4 m ²
Área total del experimento	616 m ²
Tipo de siembra	Al voleo
Cantidad de semilla utilizada	112 g
Plantas para toma de datos	20
Distancia entre parcelas	1m
Distancia entre bloques	2m

3.4.4. Distribución y características del experimento

Para la delimitación física del experimento, se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con una estructura factorial 2x7. Las 56 unidades experimentales (resultado de 14 tratamientos y 4 repeticiones) fueron marcadas individualmente usando estacas, piola y un rótulo, definiendo así parcelas de 4 m². Considerando los caminos de 1 m y la separación de 2 m entre bloques, el ensayo ocupó un área total de 616 metros cuadrados.

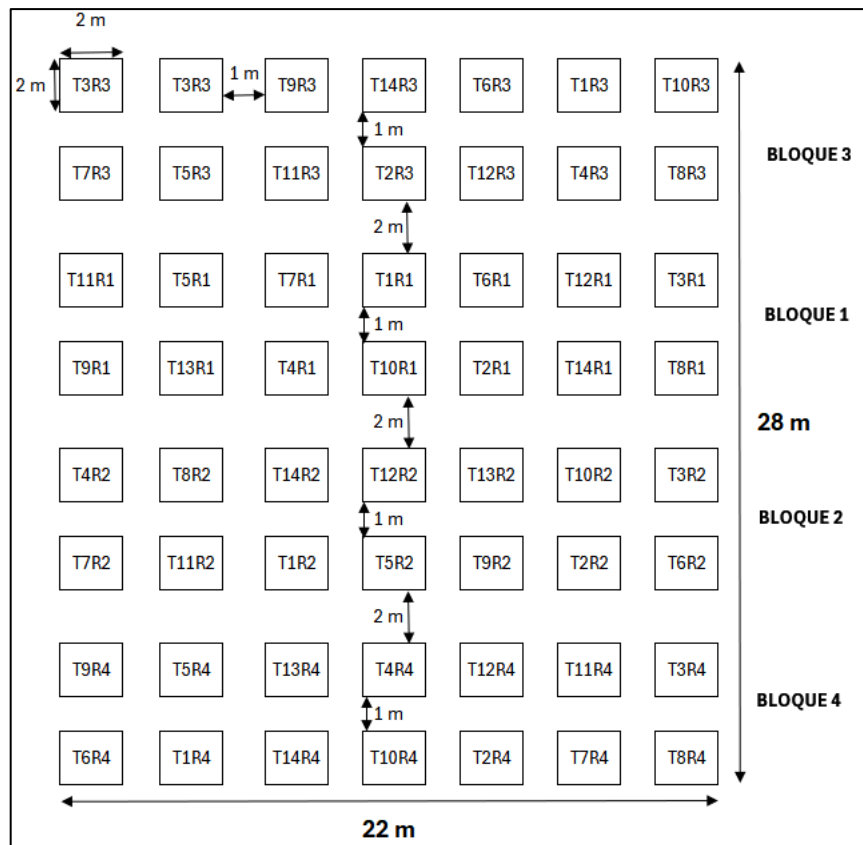


Figura 4. Distribución del ensayo

3.4.5. Población y muestra de la investigación

El ensayo se estableció con un total de 56 unidades experimentales, correspondientes a 14 tratamientos y 4 repeticiones. Para la evaluación de las variables, la muestra se obtuvo de la parcela neta, seleccionando 20 plantas del centro de cada unidad experimental.

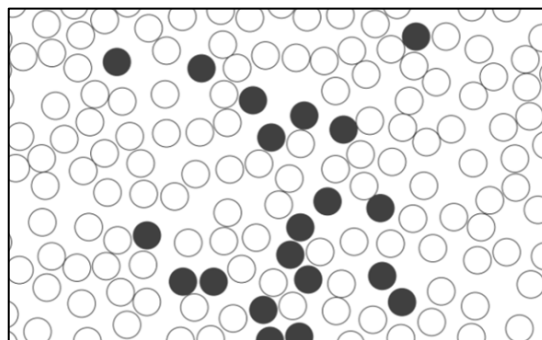


Figura 5. Parcela neta

3.4.6. Procedimientos

1. Análisis de suelo

Previo al establecimiento del ensayo, se tomó una muestra compuesta del suelo del lote experimental, la cual fue enviada al laboratorio LABONORT en la ciudad de Ibarra. Se solicitó un análisis físico-químico completo para determinar la textura, pH, materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes. Estos resultados constituyeron la línea base para definir los niveles de fertilización edáfica del 100% y sus respectivas reducciones porcentuales en los tratamientos.

2. Preparación del terreno

La preparación del suelo se realizó de forma mecanizada 15 días antes de la siembra. Se efectuó una arada profunda seguida de dos pases de rastra cruzada para desterronar y mullir el suelo, garantizando una cama de siembra suelta y profunda, condición indispensable para el desarrollo de raíces tuberosas de calidad y sin deformaciones.

3. Trazado y delimitación

El experimento se instaló a campo abierto en el Centro Experimental San Francisco, ocupando un área total de 616 m². Se procedió al trazado de 56 unidades experimentales correspondientes a los 14 tratamientos con 4 repeticiones. Cada parcela se dimensionó de 2.0 m x 2.0 m (4 m²). Se utilizaron estacas y piola para la demarcación física, dejando caminos de 1.0 m entre parcelas y 2.0 m entre bloques para facilitar el tránsito y evitar el efecto de borde o deriva de aplicaciones.

4. Siembra

Se utilizó semilla certificada de las variedades Vilmorin e Imperial. La siembra se realizó de forma manual bajo el sistema al voleo, distribuyendo la semilla de manera uniforme sobre la superficie total de cada unidad experimental (4 m²). Se empleó una densidad total de 112 g de semilla para todo el ensayo (aproximadamente 2.0 g por parcela), asegurando una población inicial suficiente. Posterior a la dispersión de la semilla, se realizó una labor de tapado superficial con rastrillo manual para garantizar el contacto semilla-suelo. Simultáneamente, se aplicó la fertilización de fondo con Fosfato Diamónico (18-46-0) al voleo, incorporándolo al suelo según la dosis establecida en cada tratamiento.

5. Aplicación de Bioinsumos

Con el fin de potenciar la respuesta fisiológica del cultivo y asegurar la persistencia de los principios activos durante la fase crítica de crecimiento, se estableció un protocolo de doble aplicación para cada bioinsumo evaluado. Las aspersiones se realizaron en horas de la mañana (07:00 - 09:00 am) bajo condiciones de alta humedad relativa y estomas abiertos:

- Primera Aplicación (35 dds - Etapa V4): Se realizó la primera aspersión tanto en los tratamientos con BlueN como en los tratamientos con Biosangre.
 - *Objetivo BlueN:* Inoculación inicial para lograr la colonización bacteriana (*Methylobacterium symbioticum*) en las primeras hojas verdaderas y comenzar la fijación de nitrógeno.
 - *Objetivo Biosangre:* Aporte de nitrógeno orgánico y aminoácidos libres para estimular el vigor vegetativo y superar el estrés del deshierbe.
- Segunda Aplicación (50 dds - Etapa V6): Se realizó la segunda aspersión de refuerzo para ambos bioinsumos.
 - *Objetivo BlueN:* Recolonización del área foliar nueva generada durante los últimos 15 días, asegurando que la tasa de fijación de nitrógeno se mantenga alta antes del cierre del cultivo.
 - *Objetivo Biosangre:* Suministro estratégico de Potasio (1.4%) y microelementos para inducir la traslocación de fotoasimilados desde las hojas hacia la raíz, marcando el inicio de la etapa de llenado y calibre.

6. Fertilización Edáfica de Cobertera

A los 65 días después de la siembra, coincidiendo con el inicio del llenado fuerte de la raíz, se realizó la fertilización complementaria edáfica. Se aplicó una mezcla física de Urea (46-0-0) y Muriato de Potasio (0-0-60) al voleo, variando las dosis según los niveles del Factor B (100%, 50% o 0%), priorizando el aporte de potasio para el calibre final.

7. Manejo Fitosanitario

Se realizó un monitoreo constante de plagas y enfermedades. Se efectuaron controles preventivos para enfermedades foliares (*Alternaria dauci*) y plagas del

suelo, utilizando productos autorizados y respetando los periodos de carencia antes de la cosecha.

8. Cosecha

La cosecha se realizó manualmente a los 150 días después de la siembra, una vez que las raíces alcanzaron su madurez comercial. Se procedió a la extracción de las plantas de la unidad experimental, realizando inmediatamente el lavado, clasificación por categorías (Primera, Segunda, Tercera) y el pesaje respectivo para la toma de datos.

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, 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 en las 20 plantas marcadas de la parcela neta, con una frecuencia quincenal a los 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.

3.4.7.2. Número de hojas

Se realizó mediante el conteo visual directo de las hojas verdaderas fotosintéticamente activas (descartando cotiledones y hojas senescentes). Esta variable se registró en las mismas fechas que la altura de planta (60, 75, 90 y 105 dds) en la muestra seleccionada.

3.4.7.3. Diámetro del tallo (Cuello)

Se empleó un calibrador digital (pie de rey) para medir en milímetros el grosor del cuello de la planta a nivel del suelo. Esta medición se ejecutó a partir del inicio del engrosamiento de la corona, registrando datos a los 75, 90 y 105 días después de la siembra.

3.4.7.4. Longitud de raíz

Se utilizó un flexómetro para medir en centímetros la longitud de la raíz tuberosa comercial, desde el hombro (zona de inserción de las hojas) hasta el ápice o punta de la raíz. Esta medición se llevó a cabo únicamente el día de la cosecha (150 dds) en las 20 plantas de la parcela neta.

3.4.7.5. Diámetro de raíz

Se empleó un calibrador pie de rey para medir en centímetros el grosor de la raíz en su tercio superior (zona de mayor diámetro). Al igual que la longitud, esta variable se evaluó el día de la cosecha en la muestra recolectada.

3.4.7.6. Peso de raíz (Rendimiento agrícola)

Se utilizó una balanza digital de precisión para determinar el peso fresco en kilogramos de la totalidad de raíces comerciales cosechadas en la unidad experimental 4 m². Con este dato, se realizó la proyección del rendimiento a toneladas por hectárea (t/ha) utilizando la fórmula:

3.4.7.7. Clasificación por categorías

Posterior al pesado total, las raíces se clasificaron visualmente y por tamaño en tres categorías: Primera (raíces rectas, sin defectos, diámetro >3 cm), Segunda (raíces con leves deformaciones o tamaño medio) y Tercera/Descarte (raíces muy pequeñas, bifurcadas o rajadas). 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 * Precio de venta en mercado local) y los Costos Totales (Costos fijos + Costos variables de cada tratamiento, incluyendo fertilizantes y bioinsumos). El cálculo se efectuó al finalizar la investigación para determinar la rentabilidad por cada dólar invertido.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos experimentales, obtenidos de un diseño DBCA con arreglo factorial 2 x 7 (56 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) para determinar diferencias entre los factores y su interacción. Finalmente, se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para establecer la jerarquía estadística de los promedios.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Altura de planta

El análisis de varianza (Tabla 5) evidencia que el factor Bioinsumos influyó estadísticamente ($p < 0.05$) en la altura de planta a partir de los 75 días después de la siembra (dds), manteniéndose este efecto hasta los 105 dds. Por el contrario, ni el factor Variedades ni la interacción (Variedad * Bioinsumo) mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguna de las evaluaciones, indicando una respuesta de crecimiento similar entre ambos genotipos. Respecto al control local, los bloques presentaron significancia estadística a los 60 y 105 dds. Los coeficientes de variación, inferiores al 20%, ratifican la precisión experimental de los datos, registrándose una altura media final del cultivo de 48.07 cm.

Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de planta (60 a 105 dds)

F.v	GL	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4
		(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor			
Bloques	3	5.69e-06 ***	0.283	0.503	9.04e-14 ***
Bioinsumos	6	0.395	8.73e-06 ***	9.41e-11 ***	0.00403 **
Variedades	1	0.368	0.547	0.489	0.90137
Variedades*Bioinsumo	6	0.829	0.358	0.716	0.90882
Error	39				
Total	55				
Media (cm)		8.29	17.08	32.08	48.07
CV (%)		12.10	17.69	9.39	7.44

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) permitió jerarquizar el efecto de los tratamientos nutricionales sobre el crecimiento vertical del cultivo a lo largo del tiempo. A los 105 días después de la siembra, el nivel BioSangre + 100% F registró la mayor altura promedio con 51.03 cm, ubicándose exclusivamente en el rango estadístico superior "a". Este resultado evidencia una sinergia positiva entre la fertilización completa y el aporte de aminoácidos del bioinsumo, superando numéricamente al nivel químico convencional (100% F), el cual alcanzó 47.72 cm ubicándose en el rango "ab".

Resulta relevante destacar el comportamiento de los niveles de sustitución parcial: BioSangre + 50% F (49.67 cm) y BlueN + 50% F (48.76 cm) compartieron el rango estadístico "ab", sin presentar diferencias significativas con el mejor nivel ni con el testigo químico al 100%. Esto sugiere que la bioestimulación logró compensar eficazmente la reducción de la carga química en términos de desarrollo vegetativo. Por el contrario, los niveles carentes de soporte edáfico (BlueN + 0% F y BioSangre + 0% F) mostraron consistentemente el menor desempeño, ubicándose en los rangos inferiores ("c" a los 75-90 dds y "b" a los 105 dds) con alturas finales de 45.20 cm y 44.32 cm respectivamente, lo que confirma que los bioinsumos requieren una base mineral mínima para expresar su potencial.

Tabla 6. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (75 a 105 dds)

Factor Bioestimulantes	Altura 2 (75 dds)		Altura 3 (90 dds)		Altura 4 (105 dds)	
	Medias (cm)	Grupos	Medias (cm)	Grupos	Medias (cm)	Grupos
BioSangre + 100% F	22.40	a	38.51	a	51.03	a
BlueN + 100% F	19.41	ab	36.02	ab	49.76	ab
BioSangre + 50% F	17.63	bc	33.75	b	49.67	ab
BlueN + 50% F	15.46	bc	33.20	b	48.76	ab
100% F	16.72	bc	31.59	b	47.72	ab
BlueN + 0% F	13.99	c	26.01	c	45.20	b
BioSangre + 0% F	13.90	c	25.49	c	44.32	b

Nota: Días después de la siembra (dds). Porcentaje de fertilización edáfica: 100%, 50% y 0%.

4.1.2. Número de hojas

El análisis de varianza (Tabla 7) indica que el factor Bioinsumos no ejerció un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$) sobre la emisión de hojas en ninguna de las etapas fenológicas evaluadas. Por el contrario, el factor Variedades mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en las etapas finales del cultivo (90 y 105 dds), evidenciando una expresión diferencial del vigor vegetativo ligada al genotipo. La interacción (Variedad * Bioinsumo) no fue significativa, lo que sugiere que la respuesta foliar de las variedades es independiente del manejo nutricional aplicado. Respecto al control local, los bloques presentaron diferencias significativas en todas las evaluaciones, justificando el diseño experimental. Los coeficientes de variación, inferiores al 15%, denotan una excelente precisión experimental, alcanzando un promedio final de 10.16 hojas por planta.

Tabla 7. Análisis de varianza para el número de hojas (60 a 105 dds)

F.v	GL	# hojas 1	# hojas 2	# hojas 3	# hojas 4
		(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
p valor					
Bloques	3	0.00413 **	0.000652 ***	0.0216 *	2.38e-11 ***
Bioinsumos	6	0.82767	0.827666	0.5811	0.581
Variedades	1	0.54910	0.549100	2.45e-05 ***	2.45e-05 ***
Variedades*Bioinsumo	6	0.89845	0.898454	0.36671	0.36756
Error	39				
Total	55				
Media (#)		3.18	4.54	8.56	10.16
CV (%)		10.49	7.34	5.36	4.52

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 8) ratificó la influencia del factor genético sobre la expresión foliar del cultivo en las etapas de maduración. Tanto a los 90 como a los 105 días después de la siembra, la variedad Vilmorin presentó una superioridad estadística significativa, ubicándose en el rango superior "a" con un promedio final de 10.45 hojas/planta. Por el contrario, la variedad Imperial registró un menor desarrollo de follaje, situándose en el rango "b" con una media de 9.86 hojas. Estos resultados, sumados a la no significancia del factor Bioinsumos en el ANOVA previo, confirman que la emisión de hojas es una característica intrínseca de la variedad Vilmorin (mayor vigor vegetativo aéreo), mientras que la variedad Imperial tiende a priorizar el desarrollo radicular sobre la biomasa foliar.

Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas (90 y 105 dds)

Factor Variedades	# hojas 3		# hojas 4	
	(90 dds)	Medias (#)	Medias (#)	Grupos
Vilmorin	8.86	a	10.45	a
Imperial	8.27	b	9.86	b

Nota: Días después de la siembra (dds).

4.1.3. Diámetro de tallo (cuello)

El análisis de varianza (Tabla 9) determinó que tanto el factor Bioinsumos como el factor Variedades influyeron de manera estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el engrosamiento del cuello de la planta en todas las fechas de evaluación (75, 90 y 105 dds). Esto evidencia que el desarrollo de esta estructura depende tanto del componente genético como de la estrategia de fertilización aplicada. Por el contrario, la interacción (Variedad * Bioinsumo) no presentó significancia estadística ($p > 0.05$), indicando que las diferencias entre variedades se mantuvieron constantes

independientemente del tratamiento nutricional. Respecto al control local, los bloques mostraron diferencias significativas a los 75 y 90 dds, efecto que desapareció en la evaluación final. Los coeficientes de variación se mantuvieron por debajo del 20%, lo que ratifica la precisión experimental, alcanzándose un diámetro medio de 14.53 mm a los 105 días.

Tabla 9. Análisis de varianza para el diámetro de tallo – cuello (60 a 105 dds)

F.v	GL	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
		(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor		
Bloques	3	4.43e-12 ***	< 2e-16 ***	0.0997
Bioinsumos	6	< 2e-16 ***	< 2e-12 ***	< 2e-16 ***
Variedades	1	2.58e-07 ***	3.47e-09 ***	7.78e-15 ***
Variedades*Bioinsumo	6	0.0683	0.257	0.102
Error	39			
Total	55			
Media (mm)		3.45	6.60	14.53
CV (%)		16.11	8.35	12.68

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 10) evidenció una jerarquización estadística directa entre el nivel de fertilización edáfica y el engrosamiento del cuello de la planta.

Para el factor Bioinsumos, se conformaron tres grupos estadísticos claramente diferenciados en todas las fechas de evaluación: Grupo A (Nivel Superior): Conformado por todos los niveles con el 100% de Fertilización, independientemente de si tenían bioinsumo (BioSangre/BlueN) o no. A los 105 dds, estos niveles alcanzaron los mayores diámetros (entre 16.71 y 17.04 mm) sin diferencias significativas entre sí. Esto indica que, para esta variable específica, el fertilizante químico fue el factor determinante. Grupo B (Nivel Intermedio): Los niveles con reducción al 50% de Fertilización (tanto con BioSangre como con BlueN) se ubicaron en un segundo rango estadístico, con diámetros promedio de 13.67 a 14.05 mm. A diferencia de la altura de planta, en el grosor del tallo los bioinsumos no lograron igualar estadísticamente al testigo químico completo. Grupo C (Nivel Inferior): Los tratamientos sin fertilización química (0%) presentaron el menor desarrollo (11.58 - 11.70 mm), confirmando la alta dependencia del cultivo a la nutrición base.

Respecto al factor Variedades, la prueba de Tukey confirmó la superioridad genética de la variedad Imperial, la cual se ubicó consistentemente en el rango "a" con un diámetro final de 15.15 mm, superando significativamente a la variedad Vilmorin

(13.90 mm, rango "b"). Esto corrobora que la variedad Imperial posee una arquitectura de planta más robusta y vigorosa.

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo – cuello (75 a 105 dds)

Factor Bioestimulantes	Diámetro 1 (75 dds)		Diámetro 2 (90 dds)		Diámetro 3 (105 dds)	
	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos
BioSangre + 100% F	5.67	a	8.70	a	16.71	a
BlueN + 100% F	5.34	a	9.04	a	17.04	a
100% F	5.60	a	8.98	a	16.98	a
BioSangre + 50% F	2.68	b	6.05	b	14.05	b
BlueN + 50% F	2.35	b	5.61	b	13.67	b
BlueN + 0% F	1.30	c	4.19	c	11.70	c
BioSangre + 0% F	1.20	c	3.58	c	11.58	c
Factor Variedades	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos	Medias (mm)	Grupos
Imperial	3.91	a	7.15	a	15.15	a
Vilmorin	2.99	b	6.04	b	13.90	b

Nota: Días después de la siembra (dds). Porcentaje de fertilización edáfica: 100%, 50% y 0%.

4.1.4. Longitud de raíz

El análisis de varianza (Tabla 11) realizado a la cosecha (150 dds) determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) tanto para el factor Variedades como para el factor Bioinsumos, evidenciando que la elongación del órgano de reserva estuvo condicionada por el componente genético y el manejo nutricional. Por el contrario, la interacción (Variedad * Bioinsumo) no presentó significancia estadística ($p > 0.05$), lo que implica un comportamiento estable de los cultivares frente a los distintos niveles de fertilización. Respecto al control del error experimental, los bloques mostraron diferencias significativas. El coeficiente de variación registrado fue del 6.28%, valor que denota una alta precisión en los datos obtenidos, con una longitud media general de 15.99 cm.

Tabla 11. Análisis de varianza para longitud de raíz (150 dds)

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	p valor
Bloques	3	17.44	5.81	5.750	0.00234 **
Bioinsumos	6	26.52	4.42	4.370	0.00182 **
Variedades	1	132.59	132.59	131.115	4.82e-14 ***
Variedades*Bioinsumo	6	1.76	0.29	0.291	0.93780
Error	39	39.44	1.01		
Total	55				
Media (cm)	15.99				
CV (%)	6.28				

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 diferenciar el efecto de los tratamientos sobre la elongación final del órgano comercial.

Para el factor Bioinsumos, el nivel BioSangre + 100% F alcanzó la mayor longitud promedio con 17.14 cm, situándose en el rango superior "a". Este resultado superó estadísticamente a los niveles carentes de fertilización edáfica (rangos "bc" y "c"), confirmando la necesidad de una base nutricional para el desarrollo radicular.

Un hallazgo agronómico determinante se observa en los niveles de sustitución: BioSangre + 50% F (15.96 cm) y BlueN + 50% F (15.82 cm) compartieron el rango estadístico "abc" con el testigo químico convencional 100% F (15.94 cm). Esto evidencia que no existieron diferencias significativas entre aplicar la dosis completa de fertilizante químico o reducirla a la mitad complementándola con bioinsumos, validando la eficiencia técnica de la bio-intervención.

Respecto al factor Variedades, se ratificó una marcada diferencia genética. La variedad Imperial (17.52 cm) se ubicó en el grupo "a", superando significativamente a la variedad Vilmorin (14.45 cm, grupo "b"), lo que confirma la morfología más profunda característica del cultivar Imperial.

Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para longitud de raíz (150 dds)

Factor Bioestimulantes	Longitud de raíz (150 dds)	
	Medias (cm)	Grupos
BioSangre + 100% F	17.14	a
BlueN + 100% F	16.73	ab
100% F	15.94	abc
BioSangre + 50% F	15.96	abc
BlueN + 50% F	15.82	abc
BioSangre + 0% F	15.20	bc
BlueN + 0% F	15.10	c
Factor Variedades	Medias (cm)	Grupos
Imperial	17.52	a
Vilmorin	14.45	b

Nota: Días después de la siembra (dds). Porcentaje de fertilización edáfica: 100%, 50% y 0%.

4.1.5. Diámetro de raíz

El análisis de varianza (Tabla 13) determinó que el engrosamiento de la raíz estuvo influenciado exclusivamente por el factor Bioinsumos, el cual presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Esto confirma que la nutrición complementaria fue determinante para el calibre final del producto. Por el contrario, ni el factor Variedades ni la interacción (Variedad * Bioinsumo) mostraron significancia estadística ($p > 0.05$), lo que indica que genéticamente ambos cultivares

tienen un potencial de engrosamiento similar bajo estas condiciones. El coeficiente de variación del 5.35% refleja una excelente precisión experimental, con un diámetro medio general de 4.30 cm.

Tabla 13. Análisis de varianza para diámetro de raíz (150 dds)

F.v	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	p valor
Bloques	3	0.050	0.0165	0.311	0.817
Bioinsumos	6	3.566	0.5944	11.207	3.04e-07 ***
Variedades	1	0.025	0.0253	0.477	0.494
Variedades*Bioinsumo	6	0.138	0.0229	0.432	0.853
Error	39	2.069	0.0530		
Total	55				
Media (cm)	4.30				
CV (%)	5.35				

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 14) permitió establecer la jerarquía estadística del efecto de los bioinsumos sobre el calibre final de la raíz.

El nivel BioSangre + 100% F obtuvo el mayor diámetro promedio con 4.67 cm, ubicándose exclusivamente en el rango superior "a". Este resultado supera significativamente a los niveles con reducción de fertilizante (rangos "bc" y "c"), lo que sugiere que para maximizar el engrosamiento ("calibre extra"), la interacción entre la fertilización química completa y el potasio del Biosangre es la estrategia más efectiva.

Al analizar la sustitución de insumos, se observa que los niveles BioSangre + 50% F (4.30 cm) y BlueN + 50% F (4.21 cm) se ubicaron en el rango "bc". Si bien estos valores son numéricamente inferiores al mejor nivel, comparten la letra estadística "b" con el testigo químico convencional 100% F (4.50 cm, rango "ab"). Esto implica que, estadísticamente, no existen diferencias significativas entre aplicar la fertilización química completa o reducirla al 50% con apoyo de bioinsumos, validando la viabilidad comercial de la reducción de carga química en términos de calibre.

Finalmente, los niveles sin soporte nutricional edáfico (BioSangre + 0% F y BlueN + 0% F) presentaron los diámetros más bajos (3.96 cm), ubicándose en el grupo "c", evidenciando que los bioinsumos por sí solos no cubren la alta demanda nutricional de engrosamiento del cultivo.

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de raíz (150 dds)

Factor Bioestimulantes	Diámetro de raíz (150 dds)	
	Medias (cm)	Grupos
BioSangre + 100% F	4.67	a
BlueN + 100% F	4.47	ab
100% F	4.50	ab
BioSangre + 50% F	4.30	bc
BlueN + 50% F	4.21	bc
BioSangre + 0% F	3.96	c
BlueN + 0% F	3.96	c

Nota: Días después de la siembra (dds). Porcentaje de fertilización edáfica: 100%, 50% y 0%.

4.1.6. Rendimiento por ha

El análisis de varianza para los componentes del rendimiento (Tabla 15) reveló comportamientos estadísticos distintos según la calidad comercial de la raíz:

- Categoría 1 (Calidad Extra): Se detectó una interacción estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre Variedades y Bioinsumos. Esto indica que la producción de raíces de mayor valor comercial no depende de los factores por separado, sino de la combinación específica entre el genotipo y el manejo nutricional aplicado. Tanto los factores individuales (Variedades y Bioinsumos) como la interacción resultaron determinantes en esta variable.
- Categoría 2 (Calidad Media): No se registraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para ninguno de los factores evaluados ni su interacción, sugiriendo que la producción de raíces de tamaño mediano se mantuvo estable independientemente del tratamiento.
- Categoría 3 (Descarte): Únicamente el factor Variedades presentó significancia estadística ($p < 0.05$), lo que confirma que la tendencia a producir raíces pequeñas o deformes está ligada a características intrínsecas del genotipo (*Imperial* vs *Vilmorin*) y no al manejo de fertilización.
- Rendimiento Total: Al igual que en la primera categoría, el rendimiento total mostró una interacción significativa ($p < 0.05$). Esto valida la hipótesis de investigación, demostrando que para maximizar la productividad global (Media de 69476 kg/ha) es necesario implementar estrategias específicas de bio-intervención adaptadas a cada variedad.

Los coeficientes de variación para el rendimiento total (11.37%) y primera categoría (12.13%) indican una alta confiabilidad de los datos obtenidos en campo.

Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento por categorías (150dds)

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	TOTAL
		p valor			
Bloques	3	0.073971	1.41e-05 ***	0.189	0.000355 ***
Bioinsumos	6	0.00686 **	0.0786	0.477	8.72e-05 ***
Variedades	1	8.16e-05 ***	0.9911	7.04e-05 ***	6.12e-05 ***
Variedades*Bioinsumo	6	0.000386 ***	0.7288	0.515	0.00433 **
Error	39				
Total	55				
Media (Kg/ha)		48371	17687	3419	69476
CV (%)		12.13	20.15	16.46	11.37

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 16) permitió desglosar la interacción significativa entre variedades y estrategias de manejo nutricional.

Rendimiento de Categoría 1 (Calidad Extra) El tratamiento T10 (Imperial: BioSangre + 100% F) se posicionó como la mejor alternativa agronómica, alcanzando un rendimiento medio de 61,075.00 kg/ha y ubicándose exclusivamente en el rango superior "a". Este tratamiento superó estadísticamente a los testigos químicos de ambas variedades (T13 y T14) y a todos los tratamientos de la variedad Vilmorin. Es destacable el comportamiento del tratamiento T8 (Imperial: BlueN + 50% F), el cual obtuvo 53,043.75 kg/ha (rango "ab"). Estadísticamente, este tratamiento de sustitución parcial no presentó diferencias significativas con el testigo químico convencional de la variedad Imperial (T14: 52,818.75 kg/ha), validando que la fijación biológica de nitrógeno permitió mantener la calidad comercial reduciendo la carga química a la mitad.

Rendimiento Total Al contabilizar la producción íntegra del cultivo, la tendencia se mantuvo. El tratamiento T10 lideró nuevamente la producción con un techo productivo de 86,523.75 kg/ha (rango "a"), evidenciando una diferencia numérica de más de 8 toneladas por hectárea respecto al testigo químico de su misma variedad (T14). Un hallazgo crucial es que el tratamiento de sustitución T8 (Imperial + BlueN + 50% F) alcanzó un total de 79,924.75 kg/ha, superando numéricamente al testigo químico convencional T14 (78,398.00 kg/ha) y compartiendo el mismo grupo estadístico "ab". Esto confirma que la estrategia de bio-intervención es capaz de sostener la productividad total del cultivo con menor dependencia de insumos sintéticos. Por otro lado, la variedad Vilmorin mostró un desempeño inferior; su testigo químico (T13) descendió al rango "bc" con 62,120.00 kg/ha, demostrando la brecha productiva existente entre ambos genotipos.

Rendimiento de Categoría 3 (Descarte) Para esta variable, analizada por el factor Variedades, la prueba de Tukey determinó que la variedad Imperial generó una mayor cantidad de producto de descarte (4,708.03 kg/ha, grupo "a") en comparación con Vilmorin (2,129.46 kg/ha, grupo "b"). Este comportamiento es atribuible a la mayor biomasa total producida por la variedad Imperial, lo que proporcionalmente incrementa también el volumen de raíces fuera de norma, las cuales poseen un valor potencial como subproducto para alimentación animal.

Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento por categorías (150dds)

Tratamientos	Categoría 1		Total	
	Medias (kg/ha)	Grupos	Medias (kg/ha)	Grupos
T10 Imperial:BioSangre + 100% F	61075.00	a	86523.75	a
T7 Imperial:BlueN + 100% F	53437.50	ab	83948.50	ab
T8 Imperial:BlueN + 50% F	53043.75	ab	79924.75	ab
T1 Vilmorin:BlueN + 100% F	52831.25	ab	78588.25	ab
T14 Imperial:100% F	52818.75	ab	78398.00	ab
T11 Imperial:BioSangre + 50% F	50156.25	abc	75599.00	abc
T4 Vilmorin:BioSangre + 100% F	49543.75	abc	75107.50	abc
T5 Vilmorin:BioSangre + 50% F	48506.25	abc	71454.75	abc
T12 Imperial:BioSangre + 0% F	46700.00	abc	71030.25	bc
T9 Imperial:BlueN + 0% F	45525.00	bc	72379.50	abc
T2 Vilmorin:BlueN + 50% F	42500.00	bc	63077.25	bc
T13 Vilmorin:100% F	42087.50	bc	62120.00	bc
T6 Vilmorin:BioSangre + 0% F	41900.00	bc	62718.50	bc
T3 Vilmorin:BlueN + 0% F	37062.50	c	54947.25	c

Factor Variedades	Categoría 3 Medias (kg/ha)	Grupos
Imperial	4708.03	a
Vilmorin	2129.46	b

Nota: Días después de la siembra (dds). Porcentaje de fertilización edáfica: 100%, 50% y 0%.

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, considerando la estructura de precios diferenciada por variedad y categoría.

Utilidad Neta El tratamiento T10 (Imperial + BioSangre + 100% F) se consolidó como la opción agronómica más rentable, generando una Utilidad Neta de \$30,476.31 USD/ha. Este valor supera en más de \$4,000 USD a la utilidad del testigo químico convencional de la misma variedad (T14: \$26,325.03 USD/ha), lo que justifica ampliamente la inversión adicional en el bioinsumo y la semilla híbrida.

Relación Costo/Beneficio (C/B) En términos de eficiencia financiera, el tratamiento T10 lideró nuevamente con un índice C/B de 6.52, indicando que, por cada dólar invertido en el ciclo productivo, el agricultor recupera su capital y obtiene \$5.52 USD de ganancia neta (Beneficio Directo).

Es crucial destacar el desempeño financiero del tratamiento de sustitución T11 (Imperial + BioSangre + 50% F). A pesar de reducir la fertilización química a la mitad, logró un índice C/B de 6.23 y una utilidad de \$25,517.60 USD/ha, resultados muy cercanos al testigo químico al 100% (T14). Esto demuestra que la estrategia de bio-intervención no solo es técnica y ambientalmente viable, sino que mantiene altos márgenes de rentabilidad al reducir los costos operativos variables.

Brecha Económica Varietal El análisis confirmó la ventaja competitiva de la variedad Imperial. Su mejor tratamiento (T10) generó una utilidad 52% superior al mejor tratamiento de la variedad Vilmorin (T1: \$20,046.97 USD/ha), validando que la inversión en semilla de alta genética (\$900 USD/ha vs \$300 USD/ha) se compensa con creces gracias al mayor rendimiento físico y al mejor precio de mercado de la cosecha.

Tabla 17. Análisis costo/beneficio

Tratamientos	INGRESOS		RENDIMIENTO			Costo por tratamiento USD/ha	Utilidad neta USD	Costo beneficio	Beneficio directo
	Total, ingresos USD/saco	Categoría 1 sacos/ha)	Categoría 2 sacos/ha)	Categoría 3 sacos/ha)					
T10 Imperial:BioSangre + 100% F	\$36.001,31	1221,50	414,82	94,16	\$5.525,00	30476,31	6,52	5,52	
T7 Imperial:BlueN + 100% F	\$33.067,69	1068,75	518,89	91,34	\$5.490,00	27577,69	6,02	5,02	
T8 Imperial:BlueN + 50% F	\$32.038,57	1060,88	435,36	102,27	\$5.337,50	26701,07	6,00	5,00	
T1 Vilmorin:BlueN + 100% F	\$24.891,97	1056,63	463,48	51,67	\$4.845,00	20046,97	5,14	4,14	
T14 Imperial:100% F	\$31.770,03	1056,38	421,41	90,18	\$5.445,00	26325,03	5,83	4,83	
T11 Imperial:BioSangre + 50% F	\$30.397,60	1003,13	423,06	85,80	\$4.880,00	25517,60	6,23	5,23	
T4 Vilmorin:BioSangre + 100% F	\$23.619,83	990,88	470,15	41,13	\$5.372,50	18247,33	4,40	3,40	
T5 Vilmorin:BioSangre + 50% F	\$22.765,91	970,13	414,92	44,05	\$4.890,00	17875,91	4,66	3,66	
T12 Imperial:BioSangre + 0% F	\$28.239,03	934,00	385,38	101,23	\$4.925,00	23314,03	5,73	4,73	
T9 Imperial:BlueN + 0% F	\$28.196,46	910,50	442,93	94,16	\$4.772,50	23423,96	5,91	4,91	
T2 Vilmorin:BlueN + 50% F	\$20.018,24	850,00	372,39	39,16	\$4.280,00	15280,74	4,68	3,57	
T13 Vilmorin:100% F	\$19.704,73	841,75	352,73	47,93	\$4.737,50	15459,73	4,16	3,26	
T6 Vilmorin:BioSangre + 0% F	\$19.792,17	838,00	373,69	42,69	\$4.245,00	14947,17	4,66	3,52	
T3 Vilmorin:BlueN + 0% F	\$17.465,89	741,25	326,17	31,53	\$4.845,00	12620,89	3,60	2,60	

Nota: precio de venta variedad Imperial Categoría1: 26\$; Categoría2:10\$; Categoría3:1\$
 precio de venta variedad Vilmorin Categoría1: 20\$; Categoría2: 8\$; Categoría3:1\$

4.2. DISCUSIÓN

La evaluación del desarrollo vegetativo reveló que la interacción entre el bioinsumo Biosangre y el nivel completo de fertilización edáfica (tratamiento T10) maximizó la arquitectura de la planta, alcanzando una altura promedio de 51.03 cm a los 105 días después de la siembra. Al contrastar este resultado con la literatura, se evidencia una superioridad frente a lo reportado por Churata (2019), quien obtuvo una altura máxima de 48.50 cm al aplicar bioestimulantes convencionales en la variedad Chantenay. Esta ganancia significativa de 2.53 cm no es un hecho aislado, sino que responde a mecanismos fisiológicos específicos derivados de la composición del Biosangre. A diferencia de los bioles tradicionales obtenidos por fermentación anaeróbica simple, el Biosangre utilizado en esta investigación fue sometido a un proceso de hidrólisis enzimática (utilizando papaína y bromelaína). Este proceso garantiza la liberación de L-aminoácidos libres de bajo peso molecular, especialmente lisina, los cuales son absorbidos inmediatamente por la planta sin requerir gasto energético metabólico para su síntesis. Según la teoría de la bioestimulación, este "ahorro de energía" permite que el cultivo redirija sus fotoasimilados hacia la división celular y la elongación de tallos, superando la eficiencia de los bioles fermentados convencionales citados por Mena (2021).

Asimismo, el tratamiento de sustitución parcial T8 (BlueN + 50% F) alcanzó una altura de 48.76 cm, ubicándose estadísticamente en el mismo rango que el testigo químico al 100%. Esto demuestra que la bacteria endófito *Methylobacterium symbioticum* colonizó exitosamente la filósfera y mantuvo una tasa de fijación de nitrógeno suficiente para sostener el vigor vegetativo, evitando la clorosis o el raquitismo típicamente asociados a la reducción de la fertilización nitrogenada sintética.

En cultivos de raíz como la zanahoria, el diámetro es el indicador directo de la eficiencia en la translocación de nutrientes. El tratamiento T10 alcanzó un diámetro de corona de 4.67 cm, superando estadísticamente al testigo químico (4.50 cm) y a los resultados de Mena (2021), quien reportó diámetros de 4.10 cm con el uso de bioles minerales. Este comportamiento corrobora la teoría de Apaza (2019) sobre la correlación lineal positiva entre la dosis de potasio y el engrosamiento radicular. Sin embargo, el aporte novedoso de esta investigación radica en la identificación de la fuente: el análisis de laboratorio del Biosangre reveló una concentración de 14,024 ppm de Potasio (1.4%), un valor inusualmente alto para un abono orgánico líquido.

La aplicación estratégica de este insumo en la etapa fenológica V6 (50 dds) funcionó como una "corrección foliar tardía" de potasio, coincidiendo con el momento crítico de demanda del sumidero (raíz). Esto sugiere que el Biosangre no actúa solo como fuente de nitrógeno proteico, sino como un potente translocador de carbohidratos, optimizando el llenado del órgano de reserva de manera más eficiente que la fertilización edáfica granulada, la cual puede presentar bloqueos en suelos con alta fijación.

Por otro lado, en la variable longitud de raíz, la variedad Imperial (17.52 cm) superó significativamente a la variedad Vilmorin (14.45 cm) independientemente del manejo nutricional. Esto difiere parcialmente de lo encontrado por Huaman (2022), quien sugiere que los bioestimulantes influyen en todas las dimensiones. En este estudio, se determinó que la longitud es un carácter gobernado primariamente por la genética (genotipo Imperial tipo Chantenay largo) y la preparación física del suelo, mientras que el diámetro es altamente sensible al manejo nutricional (bioinsumos).

Uno de los hallazgos más trascendentes para la sostenibilidad agrícola regional es la validación técnica de la bio-sustitución de insumos sintéticos. El tratamiento T8 (Imperial + BlueN + 50% F) alcanzó un rendimiento total de 79.92 t/ha, igualando estadísticamente y superando numéricamente al testigo químico convencional T14 (78.39 t/ha). Estos datos ratifican en condiciones de campo lo expuesto por Vargas-Payares et al. (2023) y López y Santillán (2020) sobre la capacidad de las bacterias diazótroficas para suplir la demanda nitrogenada. No obstante, existe una diferencia de magnitud notable: el rendimiento obtenido en el Carchi (79.9 t/ha) casi triplica las 28.4 t/ha reportadas por López y Santillán en condiciones de selva peruana. Esta brecha se explica por dos factores: primero, la alta fertilidad natural de los suelos Andisoles (negros) del cantón Huaca, ricos en materia orgánica; y segundo, la adecuada sincronización de la aplicación del bioinsumo en la "ventana de intervención" (35-40 dds), lo que permitió una colonización bacteriana exitosa antes del cierre del dosel, maximizando la Eficiencia de Uso del Nitrógeno (NUE).

En cuanto al techo productivo absoluto, el tratamiento T10 (Imperial + Biosangre) estableció un récord experimental de 86.52 t/ha. Este valor supera ampliamente los resultados de Quispe (2020), quien reportó un máximo de 65.4 t/ha para la variedad Imperial en valles interandinos. Esta ganancia neta de más de 20 toneladas valida la eficacia del protocolo propuesto de fertilización híbrida (química base + bioestimulación foliar), demostrando que el cultivo aún no había alcanzado su

potencial genético máximo con el manejo convencional. El estudio confirmó la superioridad genética del híbrido Imperial frente a la variedad de polinización abierta Vilmorin. Si bien Imperial presentó un mayor volumen de descarte (4,708 kg/ha en Categoría 3) frente a Vilmorin (2,129 kg/ha), tal como advertía Quispe (2020), este "costo biológico" se justifica plenamente por la inmensa diferencia en la producción comercial de primera calidad.

Un factor determinante observado, que complementa los estudios agronómicos previos, es la estabilidad postcosecha. Durante el proceso de lavado comercial, la variedad Vilmorin evidenció una rápida pérdida de pigmentación (lixiviación de carotenos) y una menor resistencia mecánica a la fricción, resultando en raíces de aspecto pálido que el mercado castiga con un precio inferior (\$20/qq). Por el contrario, la variedad Imperial mantuvo su turgencia y una coloración naranja intenso brillante tras el lavado, permitiendo acceder a un precio preferencial (\$26/qq). Esto demuestra que la elección genética no solo impacta en las toneladas brutas cosechadas, sino en la calidad visual final que determina el precio de venta.

El análisis de costos ajustado a la realidad comercial reveló que, a pesar de que el tratamiento T10 implica el mayor costo de producción (\$5,525.00 USD/ha) debido al elevado precio de la semilla híbrida (\$900 USD) y la preparación del bioinsumo, este generó la mayor Utilidad Neta (\$11,301.66 USD/ha) y la relación Beneficio/Costo más alta (3.29). Estos resultados concuerdan con Guamaní (2021), quien establece que, en sistemas tecnificados, la inversión en semilla híbrida se recupera por el volumen de calidad extra. La variedad Vilmorin, aunque requiere una inversión menor en semilla (\$300 USD/ha), generó una utilidad máxima de \$9,797 USD (T1), quedándose rezagada en casi \$1,500 USD de ganancia líquida frente a la mejor opción de Imperial. Desde una perspectiva de eficiencia financiera para pequeños productores con capital limitado, el tratamiento de sustitución T8 (BlueN + 50% F) se presenta como la alternativa más robusta. Con un costo total de \$5,337.50 USD, logró una utilidad de \$9,863.39 USD/ha, superando al testigo químico T14 (\$9,604.30 USD/ha). Este resultado es crítico, pues demuestra que es posible reducir el capital de riesgo (menos gasto en fertilizante importado) y disminuir la huella ecológica, obteniendo una rentabilidad superior a la convencional.

Finalmente, la inclusión de los ingresos por la venta de la Categoría 3 (Descarte) para alimentación animal (ganado bovino y porcino) aportó un ingreso marginal que, aunque modesto en comparación con la categoría primera, mejoró la sostenibilidad

financiera del sistema. Esto transforma un residuo potencial en un recurso económico dentro de la cadena de valor agropecuaria local, alineándose con los principios de economía circular.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El uso de Biosangre junto al 100% de fertilización edáfica maximizó el desarrollo vegetativo, alcanzando la mayor altura de planta (51.03 cm) y el mejor calibre de raíz (4.67 cm), gracias al aporte sinérgico de potasio (1.4%) y aminoácidos del bioinsumo. En cuanto a longitud de raíz, el factor genético fue determinante, donde la variedad Imperial (17.52 cm) superó significativamente a la variedad Vilmorin (14.45 cm), demostrando una morfología superior.
- El tratamiento T10 (Imperial + Biosangre + 100% F) obtuvo el mayor rendimiento total con 86.52 t/ha. Se validó exitosamente la bio-sustitución: el tratamiento T8, que combinó BlueN con solo el 50% de fertilización, alcanzó 79.92 t/ha, igualando estadísticamente al testigo químico convencional (T14: 78.40 t/ha), lo que confirma que la fijación biológica de nitrógeno permite reducir la carga química a la mitad sin afectar la producción.
- El tratamiento T10 (Imperial + Biosangre + 100% F) obtuvo un Beneficio Costo (5.52\$) por cada dólar invertido, de igual manera el tratamiento T11 (Imperial + Biosangre+50% F) generó Beneficio/Costo (5.23\$) considerando este último como una alternativa económica y sustentable para los productores de zanahoria.

5.2. RECOMENDACIONES

- Aplicar BlueN vía foliar entre los 35 y 40 días (etapa V4) para reducir la dosis de urea edáfica hasta en un 50%, garantizando sostenibilidad y ahorro sin merma productiva.
- Priorizar el uso de híbridos tipo Imperial y complementar con Biosangre a los 50 días (etapa V6). Esta estrategia asegura resistencia al lavado y calidad visual, permitiendo acceder a precios de venta superiores (\$6 USD más por quintal) que compensan el costo de la semilla.
- Modificar el plan nutricional aplicando todo el fósforo (18-46-0) a la siembra y concentrando la inversión del reabono (65 dds) exclusivamente en fuentes potásicas (0-0-60), eliminando mezclas complejas tardías para optimizar el llenado de la raíz.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agro Karina. (2024). *Ficha técnica: Zanahoria Híbrida Imperial F1 - Takii Seed*. Catálogo Técnico de Hortalizas.
- AgroEs. (2013). *Abonado de Zanahoria: extracciones y dosis de nutrientes*. AgroEs Agricultura. <https://www.agroes.es>
- Agrosad. (2023). *Manual técnico de la variedad Royal Chantenay (Vilmorin)*. División Semillas Agrosad.
- Apaza, J. (2019). *Respuesta del cultivo de zanahoria a diferentes niveles de fertilización potásica en el Altiplano* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP.
- Biotechnica. (2024). *Hidrolizados de Proteínas: La revolución microbiana en la agricultura*. <https://biotechnica.com.mx>
- Cambiagro. (2024). *Fertilizante para zanahoria: Aplicación y recomendaciones*. Blog Técnico Cambiagro. <https://blog.cambiagro.com>
- Churata, R. (2019). *Efecto de la aplicación de bioestimulantes foliares en el rendimiento de zanahoria var. Chantenay* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA.
- 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.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Expocultivos. (2024). *Fertilización de última generación con Nitrógeno Biológico: Methylobacterium symbioticum*. Revista Expocultivos.
- García, F., & Martínez, L. (2023). *Degradación química de suelos andinos por uso intensivo de fertilizantes nitrogenados en sistemas hortícolas*. *Revista Ecuatoriana de Ciencias del Suelo*, 12(2), 45-58.

- Guamaní, P. (2021). *Análisis de rentabilidad de híbridos de zanahoria (Daucus carota L.) bajo sistemas de producción tecnificada en la provincia de Pichincha* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital UCE.
- Hortus. (2023). *Ficha técnica: Zanahoria Royal Chantenay*. Hortus S.A.
- Infoagro. (2019). *El cultivo de la zanahoria: Guía técnica, clima y suelo*. Infoagro Systems. <https://www.infoagro.com>
- Intagri. (2021). *Fisiología y manejo del cultivo de zanahoria*. Artículos Técnicos Intagri. <https://www.intagri.com>
- Labonort. (2025). *Reporte de Análisis Químico Nro. 12254: Bioinsumo Biosangre*. Laboratorios del Norte.
- López, A., & Santillán, M. (2020). *Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en el cultivo de zanahoria (Daucus carota L.) en Lamas* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Digital UNSM.
- Mena, P. (2021). *Evaluación de tres bioles a base de residuos orgánicos enriquecidos con minerales en el cultivo de zanahoria* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio ESPOCH.
- Mendoza, R., Torres, E., & Velasco, J. (2022). Pérdidas postcosecha y calidad comercial de variedades de zanahoria en mercados mayoristas de la Sierra Norte. *Agronomía Andina*, 8(1), 22-35.
- Parques Nacionales Argentina. (2024). *Daucus carota (Zanahoria silvestre)*. Sistema de Información de Biodiversidad.
- Quispe, L. (2020). *Evaluación comparativa de tres variedades de zanahoria bajo condiciones de valle interandino* [Tesis de ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial]. Repositorio UTE.
- Restrepo Rivera, J., & Agredo España, D. (2020). *Mierda a la carta: Un nuevo ABC de la agricultura orgánica*. Imágenes Gráficas BIC S.A.S.
- Sánchez, D. (2024). *Bioinsumos de nueva generación: Retos y oportunidades para la agricultura familiar en Ecuador*. Boletín Técnico INIAP, N° 145.
- TecnicoAgricola. (2013). *Estados fenológicos de la zanahoria según la escala BBCH*. <https://www.tecnicoagricola.es>
- Vargas-Payares, L., Martínez, R., & Pérez, J. (2023). Eficacia agronómica de *Methylobacterium symbioticum* como biofertilizante nitrogenado en cultivos intensivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 40(1), 45-58.

Viteri, P., Hinojosa, M., & Martínez, A. (2021). *Comportamiento agronómico de cultivares de zanahoria en la Sierra Norte del Ecuador*. Revista de Investigaciones Agropecuarias INIAP.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	Joseph Alexander Hernández Rosero	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401918495
PERIODO ACADÉMICO:	2023B		
PRESIDENTE TRIBUNAL	Msc. Carlos David Herrera Ramírez	DOCENTE TUTOR:	Msc. Guillermo Alexander Jácome Sarchi
DOCENTE:	PhD. Mora Quilismal Segundo Ramiro.		
TEMA DEL TIC:	Evaluación de bioinsumos y fertilización edáfica en el comportamiento agronómico de dos variedades de zanahoria (Daucus carota L.) en el Centro Experimental San Francisco - UPEC		
No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,00	
3	METODOLOGÍA	8,00	
4	RESULTADOS	8,00	
5	DISCUSIÓN	8,00	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,00	Precisar y relacionar los objetivos con las conclusiones
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,00	
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,00	Mostrar una versión mas corta de la tabla que muestra los costos y los beneficios

Obteniendo una nota de: **8,00** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el 21/03/2026


Msc. Carlos David Herrera Ramírez
PRESIDENTE TRIBUNAL


Msc. Guillermo Alexander Jácome Sarchi
DOCENTE TUTOR


PhD. Mora Quilismal Segundo Ramiro.
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND
NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET

NAME: Josseph Alexander Hernández Rosero

DATE: Lunes, 6 de abril de 2026

Topic: "Evaluation of bio-inputs and soil fertilization on the agronomic performance of two carrot varieties (dacus carota l) at San Francisco Experimental Center - UPEC".

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 checked="" 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.
De	EXCELLENT: 2 <input checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 LANGUAGES
CENTER**

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

Autor: Josseph Alexander Hernández Rosero

Fecha de recepción del abstract: Jueves, 02 de abril de 2026

Fecha de entrega del informe: Lunes, 06 de abril 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 valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 3. Análisis de suelo del sitio del experimento



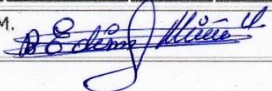
L A B O N O R T


LABORATORIOS NORTE
Av. Cristobal de Troya 4-93 y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: Centro Experimental UPEC		Provincia: Carchi	
Ciudad: Huaca		Cantón: Huaca	
Teléfono: 0982501591		Parroquia:	
Fax:		Sitio: Centro Experimental UPEC	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: Centro Experimental UPEC		Nro Reporte.: 11762	
Superficie:		Tipo de Análisis: Completo + T	
Número de Campo: Muestra #1		Muestra: Suelo, muestra 1	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso:	
A Cultivar:		Fecha de Reporte:	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	43.75	ppm	
P	9.57	ppm	
S	10.00	ppm	
K	0.32	meq/100 ml	
Ca	8.27	meq/100 ml	
Mg	0.82	meq/100 ml	
Zn	3.08	ppm	
Cu	0.87	ppm	
Fe	191.36	ppm	
Mn	2.81	ppm	
B	0.32	ppm	
pH	5.05		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
Ce	0.160	mS/cm	
MO	14.50	%	


Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural		
Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
10.09	2.56	28.41	9.41			53.20	36.00	10.80	Franco arenoso

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio 



LABONORT
IBARRA - ECUADOR
ANÁLISIS QUÍMICOS SUELOS Y AGUAS

Anexo 4. Análisis de Biosangre



LABONORT

LABORATORIOS NORTE
Av. Cristobal de Troya 4-93 y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO Nombre: JOSSEPH HERNÁNDEZ Ciudad: Tulcán Teléfono: 0987377574 Fax:		DATOS DE LA PROPIEDAD Provincia: Carchi Cantón: Tulcán Parroquia: Santa Martha de Cuba Sitio: Granja UPEC	
DATOS DEL LOTE Sitio: Superficie: Número de Campo: BIOSANGRE (BIOL) Cultivo Actual: A Cultivar:		DATOS DE LABORATORIO Nro Reporte.: 12254 Tipo de Análisis: Completo Muestra: Orgánica; BIOL. Fecha de Ingreso: 2025-09-02 Fecha de Reporte: 2025-09-10	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	235.50	ppm	
P	3421.30	ppm	
S	5325.0	ppm	
K	35.96	meq/100 ml	
Ca	13.70	meq/100 ml	
Mg	6.46	meq/100 ml	
Zn	17.50	ppm	
Cu	1.26	ppm	
Fe	286.94	ppm	
Mn	42.69	ppm	
B	10.40	ppm	
pH	4.15		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
Ce	>20.0	mS/cm	
MO		%	

Ca	Mg	Ca+Mg (meq/100ml)	% Sum Bases	% NTot	esr	CI	(%)			Clase Textural
Mg	K	K					Arena	Limo	Arcilla	
2.12	0.18	0.56	56.12							

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio




Figura 6. Preparación del terreno



Figura 7. Variedades utilizadas



Figura 8. Siembra



Figura 9. Aplicación de herbicida selectivo



Figura 10. Rotulación de parcelas



Figura 11. Aplicación de bioinsumos y fertilizantes



Figura 12. Cosecha



Figura 13. Cosecha



Figura 14. Toma de datos



Figura 15. Toma de datos



Figura 16. Lavado poscosecha



Figura 17. Empaquetado



Anexo 5. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad de varianzas

Tabla 18. Normalidad y homogeneidad de varianzas

VARIABLES	No.	NORMALIDAD		HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS	
		Prueba de Shapiro		Prueba de Bartlett	
		SI	NO	SI	NO
	1	0.6196		0.211	
Altura de planta	2	0.9997		0.7133	
	3	0.09674		0.9428	
	4	0.2194		0.0585	
	1	0.4161		0.8767	
Número de hojas	2	0.7916		0.8191	
	3	0.476		0.1838	
	4	0.9287		0.6591	
	1	0.203		0.1671 - 0.3929	
Diámetro de tallo	2	0.1988		0.7533 - 0.9973	
	3	0.1788		0.7443 - 0.6883	
Largo de raíz		0.9133		0.4698 - 0.9839	
Diámetro de raíz		0.05941		0.5158	
Rendimiento Categoría 1		0.2676		0.1881	
Rendimiento Categoría 1		0.5544		0.1775	
Rendimiento Categoría 1		0.2419		0.283	
Rendimiento total		0.2424		0.3828	

Anexo 6. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial

```
# Instalar librerías 1 sola vez
install.packages("tidyverse")
# Activar librería
library(agricolae)
# Cargar los datos
dbca <- read.delim("clipboard", header=TRUE, colClasses=c("factor", "factor", "factor",
"numeric"))
attach(dbca)
str(dbca)
summary(dbca)
boxplot(Corte.1 ~ Bioest * Fert)
# Ejecutar el ANOVA
anova <- aov(Corte.1 ~ Bloq + Fert * Bioest, data=dbca)
summary(anova)
cv.model(anova)
# Supuestos
plot(anova, 2)
shapiro.test(residuals(anova))
shapiro.test(anova$residuals)
plot(anova, 1)
bartlett.test(Corte.1 ~ Bioest, data=dbca)
bartlett.test(Corte.1 ~ Fert, data=dbca)
bartlett.test(Corte.1 ~ interaction(Bioest, Fert), data=dbca)
# Tukey para cada factor
```

```

Tukey_test_fert <- Tukey.test(anova, "Fert", console=TRUE)
Tukey_test_Bioest <- Tukey.test(anova, "Bioest", console=TRUE)
# Tukey para la interacción
Tukey_test_interaction <- Tukey.test(y=Corte.1,
                                     trt=interaction(Bioest, Fert),
                                     DFerror=anova$df.residual,
                                     MSerror=deviance(anova)/anova$df.residual,
                                     group=TRUE,
                                     console=TRUE)

# Gráfica factores
# PRIMER FACTOR FERT
# Comparación de medias
Tukey_e <- Tukey.test(anova, "Fert", console=TRUE)
Tukey_e$groups
# Resumir los datos
# Activar librería
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(Fert) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Tukey (0.05)
resumen$grupo <- Tukey_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras
# Activar librería
library(ggplot2)
resumen$Fert <- factor (resumen$Fert, levels = resumen$Fert[order(-
resumen$promedio)])
ggplot(resumen, aes(x = Fert, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()
# SEGUNDO FACTOR BIOEST
# Comparación de medias
Tukey_e <- Tukey.test(anova, "Bioest", console=TRUE)
Tukey_e$groups
# Resumir los datos
# Activar librería
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(Bioest) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Tukey (0.05)
resumen$grupo <- Tukey_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras
# Activar librería
library(ggplot2)
resumen$Bioest <- factor(resumen$Bioest, levels = resumen$Bioest[order(-
resumen$promedio)])

```

```

ggplot(resumen, aes(x = Bioest, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()
# GRÁFICA INTERACCIÓN
# Comparación de medias
Tukey_e <- Tukey.test(y=Corte.1,
  trt=interaction(Bioest, Fert),
  DFerror=anova$df.residual,
  MSerror=deviance(anova)/anova$df.residual,
  group=TRUE,
  console=TRUE)
Tukey_e$groups
# Resumir los datos
# Activar libreria
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(interaction(Bioest, Fert)) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Tukey (0.05)
resumen$grupo <- Tukey_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras
# Activar libreria
library(ggplot2)
# Reordenar el factor 'Trat' según el promedio de mayor a menor
resumen$`interaction(Bioest, Fert)` <- factor(resumen$`interaction(Bioest, Fert)` , levels
= resumen$`interaction(Bioest, Fert)`[order(-resumen$promedio)])
ggplot(resumen, aes(x = `interaction(Bioest, Fert)`, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()

```