UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

TESIS:

Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*; Pichari, Cusco - 2023

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGROFORESTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Jose Luis MEDINA QUISPE

ASESORA:
Mtra. Susana Sabina PACO ESPINO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para culminar este camino profesional.

A mi padre, Paulino Medina Cárdenas (Q.E.P.D.), por su legado de trabajo y valores. Aunque no esté presente físicamente, su recuerdo es el motor de este logro.

A mi madre, Leonarda Fabiana Quispe Núñez, por su amor incondicional y por ser el pilar fundamental en mi formación y en mi vida.

A mis hermanos Diana, Roky, María M. y Viviana, por su apoyo constante, su compañía y por creer siempre en mí.

A Ruth Mirian Allende Cárdenas, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada etapa de este proyecto.

A mi sobrino Fer Jr., con la esperanza de que este triunfo sea una motivación para sus metas futuras.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme abierto las puertas de sus aulas y permitirme formar parte de su prestigiosa historia académica, brindándome las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

A la Facultad de Ciencias Agrarias en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal, a mis docentes y personal administrativo, por la formación recibida, por fomentar en mí el rigor científico y por el compromiso con el desarrollo agrario de nuestra región.

A mi asesor de tesis la Mtra. Susana Sabina Paco Espino, por su valioso tiempo, sus orientaciones precisas y su paciencia. Su guía académica y visión crítica fueron fundamentales para el planteamiento y la culminación exitosa de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

ÍNDICE GENERAL iv

ÍNDICE DE TABLAS viii

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE ANEXO xi

RESUMEN xii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 4

MARCO TEÓRICO 4

1.1. Antecedentes de la investigación 4

1.1.1. Antecedentes internacionales 4

1.1.2. Antecedentes nacionales 5

1.1.3. Antecedentes locales 6

1.2. Cultivo de plátano 7

1.2.1. Origen y distribución 7

1.2.2. Clasificación taxonómica 7

1.2.3. Importancia del cultivo 8

1.2.4. Valor nutricional 9

1.2.5. Fenología del cultivo 10

1.2.6. Morfología de la planta 11

1.2.7. Principales plagas 13

1.2.8. Principales enfermedades 13

1.3. Requerimiento nutricional 14

1.3.1. Nutrición con nitrógeno, fósforo y potasio 15

1.3.2. Interacción entre N, P y K 16

1.4. Parcelas de omisión e inclusión de nutrientes....16
1.4.1. Parcela de omisión....17
1.4.2. Parcela de inclusión....18
1.4.3. Tratamiento completo....18
1.4.4. Tratamiento sin NPK....18
1.4.5. Nutriente limitante....19
1.4.6. Interpretación de las parcelas....19
1.4.7. Ventajas de las parcelas de omisión e inclusión....20
1.4.8. Limitaciones de las parcelas de omisión e inclusión....21
1.5. Rentabilidad económica....21
1.5.1. Concepto de rentabilidad económica....21
1.5.2. Costos de producción....22
1.5.3. Valor bruto de producción....22
1.5.4. Utilidad neta....23
1.5.5. Rentabilidad porcentual....23
CAPÍTULO II....25
METODOLOGÍA....25
2.1. Ubicación de la zona de estudio....25
2.1.1. Ubicación política....25
2.1.2. Ubicación geográfica....25
2.2. Datos de la investigación....26
2.3. Análisis de suelo....27
2.4. Condiciones climáticas de la zona de estudio....28
2.5. Materiales, equipos e insumos....30
2.5.1. Materiales y equipos....30
2.5.2. Herramientas....30
2.5.3. Insumos....30

2.5.4. Otros 30
2.6. Variables e indicadores 31
2.7. Método procedimental 31
2.7.1. Factores en estudio 31
2.7.2. Descripción de los tratamientos 32
2.7.3. Croquis del campo experimental 32
2.8. Diseño experimental 33
2.8.1. Modelo estadístico 33
2.9. Parámetros de evaluación 34
2.9.1. Rendimiento 34
2.9.2. Rentabilidad económica 35
2.10. Conducción del ensayo 35
2.10.1. Selección del terreno 35
2.10.2. Preparación del terreno 35
2.10.3. Sistema de siembra y distanciamiento 36
2.10.4. Selección y clasificación de semilla vegetativa (hijuelo) 36
2.10.5. Preparación de hijuelos 36
2.10.6. Siembra de hijuelos 36
2.10.7. Abonamiento de plantas 36
2.10.8. Otras labores agronómicas 37
2.10.9. Control de plagas y enfermedades 37
2.10.10. Cosecha y post cosecha 37
2.11. Procesamiento y análisis de la información 37
2.11.1. Rendimiento relativo por omisión 37
2.11.2. Rendimiento relativo por inclusión 38
2.11.3. Valor bruto de producción 38
2.11.4. Utilidad neta 39

2.11.5. Rentabilidad porcentual 39
CAPÍTULO III 40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40
3.1. Variables del rendimiento 40
3.1.1. Días a la floración (días) 40
3.1.2. Días a la cosecha de racimo (días) 42
3.1.3. Longitud de dedos (cm) 44
3.1.4. Diámetro de dedos (cm) 46
3.1.5. Peso comercial de racimo (kg) 48
3.1.6. Rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}) 50
3.2. Respuesta de las parcelas de omisión e inclusión de NPK 53
3.2.1. Respuesta de las parcelas de omisión 53
3.2.2. Respuesta de las parcelas de inclusión 54
3.2.3. Identificación del nutriente limitante 54
3.3. Rentabilidad 60
CAPITULO IV 75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64
4.1. Conclusiones 64
4.2. Recomendaciones 65
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 66
ANEXO 71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. *Composición nutricional del plátano por cada 100 g* 10

Tabla 2.1. *Características del suelo según resultados de laboratorio* 27

Tabla 2.2. *Datos meteorológicos de la Campaña 2023 de la Estación Meteorológica de Pichari* 29

Tabla 2.3. *Operacionalización de los variables dependientes e independientes* 31

Tabla 2.4. *Descripción de los tratamientos* 32

Tabla 2.5. *Descripción del abonamiento de los tratamientos de Musa balbisiana* 33

Tabla 3.1. *Análisis de variancia (ANVA) de los días a la floración de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 40

Tabla 3.2. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de los días a la floración de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK* 41

Tabla 3.3. *Análisis de variancia (ANVA) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 42

Tabla 3.4. *Análisis de variancia (ANVA) de longitud de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 44

Tabla 3.5. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de longitud de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK* 45

Tabla 3.6. *Análisis de variancia (ANVA) de diámetro de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 46

Tabla 3.7. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de diámetro de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK* 47

Tabla 3.8. *Análisis de variancia (ANVA) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 48

Tabla 3.9. *Análisis de variancia (ANVA) de rendimiento por hectárea de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK* 50

Tabla 3.10. *Rendimiento relativo y pérdida de rendimiento por omisión de N, P y K en Musa balbisiana* 53

Tabla 3.11. *Rendimiento relativo e incremento de rendimiento por inclusión de N, P y K en Musa balbisiana* 54

Tabla 3.12. *Comparación de la respuesta por omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana* 54

Tabla 3.13. *Coeficientes del modelo polinomial para el rendimiento de Musa balbisiana. Pichari, Cusco* 55

Tabla 3.14. *Análisis económico de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana, ordenados de mayor a menor rentabilidad* 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 *Producción de plátano por departamento del Perú del año 2025*.....9

Figura 2.1. *Ubicación geográfica de la zona de estudio*.....26

Figura 2.2. *Diagrama ombrotérmico de la Campaña 2023 de la Estación Meteorológica de Pichari* 29

Figura 2.3. *Croquis del campo experimental* 32

Figura 3.1. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK* 43

Figura 3.2. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK*.....49

Figura 3.3. *Prueba de Tukey (α = 0.05) de rendimiento por hectárea de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK*.....52

Figura 3.4. *Superficie de respuesta de la interacción N-P_2O_5* 56

Figura 3.5. *Superficie de respuesta de la interacción N-K_2O* 57

Figura 3.6. *Superficie de respuesta de la interacción P_2O_5-K_2O* 58

Figura 3.7. *Matriz de costo de producción y utilidad neta de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana*.....62

INDICE DE ANEXO

Anexo 1.1. *Análisis de suelo del campo experimental*.....72

Anexo 1.2. *Datos de los parámetros evaluados*.....73

Anexo 1.3. *Costos de producción de los tratamientos*.....74

Anexo 1.4. *Panel fotográfico* 82

RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro Experimental de Ingeniería Agroforestal de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Pichari, Cusco, con el objetivo de determinar la influencia del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y la rentabilidad de *Musa balbisiana* mediante parcelas de omisión e inclusión. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 2^3, ocho tratamientos, tres bloques y 24 unidades experimentales. Se evaluaron días a la floración, días a la cosecha, longitud y diámetro de dedos, peso del racimo, rendimiento por hectárea, costos, utilidad neta y rentabilidad. Los datos se analizaron mediante análisis de variancia y prueba de Tukey al 5 %. Los tratamientos no produjeron diferencias significativas en días a la floración, longitud ni diámetro de dedos; sin embargo, influyeron significativamente en días a la cosecha, peso comercial y rendimiento. El tratamiento completo T8 alcanzó el mayor peso de racimo, con 18.70 kg, y el mayor rendimiento, con 35 530.00 kg ha^{-1}, mientras que el testigo T1 obtuvo 15.00 kg y 28 500.00 kg ha^{-1}. La omisión de nitrógeno redujo el rendimiento en 16.04 %, y su inclusión lo incrementó en 20.00 %, estableciéndose el orden de limitación N > K > P. En el análisis económico, T8 presentó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, mientras que T2, inclusión de nitrógeno, obtuvo la mayor rentabilidad, con 421.33 %. Se concluye que el tratamiento completo maximizó la producción, pero la inclusión de nitrógeno mostró mayor eficiencia económica.

Palabras clave: *Musa balbisiana*, NPK, parcelas de omisión, rendimiento, rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

El género *Musa* comprende especies silvestres y cultivadas caracterizadas por una amplia diversidad genética. El sudeste asiático constituye una de las principales zonas de diversificación y domesticación de este grupo, dentro del cual *Musa balbisiana* posee importancia por su contribución genética al origen de diversos plátanos cultivados (Jenny et al., 2024). En el ámbito económico, el banano mantiene una participación relevante en el comercio internacional de frutas; sin embargo, su producción y comercialización están condicionadas por factores climáticos, fitosanitarios, productivos y comerciales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2026).

En el Perú, el plátano constituye un cultivo de importancia para los sistemas agrícolas establecidos principalmente en zonas tropicales y subtropicales. Durante 2025 se registró una producción preliminar nacional de 2 198 626 t, mientras que el departamento de Cusco alcanzó 26 465 t. En este último departamento, la producción había sido de 38 351 t durante 2024, por lo que se presentó una reducción aproximada de 31.0 % entre ambos años (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2026).

La respuesta productiva del plátano también depende del material vegetal y del manejo nutricional empleado. Aba et al. (2021) evaluaron diferentes sistemas de fertilización en cuatro genotipos de plátano y encontraron respuestas distintas entre los materiales estudiados, con mejores resultados productivos al combinar determinadas fuentes orgánicas y minerales. Estos resultados muestran que el efecto de la fertilización no puede considerarse uniforme, debido a que está condicionado por las características del genotipo y por el sistema de manejo nutricional aplicado.

De manera complementaria, Ohagan et al. (2023) evaluaron diferentes niveles de NPK en banano ‘Saba’ y observaron incrementos en el peso del racimo y el rendimiento con la fertilización. No obstante, el tratamiento que alcanzó la mayor producción no presentó necesariamente el mejor resultado económico, debido al incremento del costo de los fertilizantes. Este comportamiento demuestra que la evaluación de una estrategia de fertilización requiere considerar conjuntamente la respuesta productiva y la inversión necesaria para obtenerla.

La técnica de parcelas de omisión e inclusión constituye una alternativa para determinar la respuesta del cultivo frente a la presencia o ausencia de nutrientes específicos. Sulca (2024) aplicó este procedimiento mediante la comparación de tratamientos con suministro completo, omisión e inclusión de determinados elementos, lo que permitió reconocer diferencias en la capacidad de los suelos para aportar nutrientes e identificar aquellos que presentaban mayor limitación. Este enfoque permite generar información específica para orientar la fertilización de acuerdo con las condiciones nutricionales del suelo y la respuesta de la planta.

En Pichari existen antecedentes que evidencian variaciones productivas y económicas asociadas al manejo del cultivo. Oriundo (2023) evaluó diferentes frecuencias de abonamiento NPK en los cultivares Isla Maleño y Hartón y encontró que el rendimiento aumentó de 32 481.13 a 38 769.80 kg ha^{-1} al pasar de tres a cinco aplicaciones. Sin embargo, el comportamiento económico no fue uniforme entre los cultivares, lo que demuestra que incrementar la fertilización puede favorecer la producción sin garantizar proporcionalmente una mayor eficiencia económica.

Asimismo, Ñaña (2025) evaluó diferentes dosis de microorganismos eficaces en los cultivares Hartón y Cavendish Williams bajo condiciones de Pichari y registró respuestas productivas diferenciadas según el cultivar y la dosis aplicada. En conjunto, los antecedentes locales muestran que el rendimiento del plátano puede modificarse por el material vegetal y las prácticas de manejo, por lo que resulta necesario generar información específica antes de establecer recomendaciones productivas y económicas para las condiciones locales.

A pesar de estos antecedentes, en Pichari todavía es limitada la información que permita establecer el efecto individual y combinado del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento de *Musa balbisiana*. Asimismo, no se dispone de suficiente evidencia local para identificar cuál de estos nutrientes constituye la principal limitación productiva y determinar si la alternativa que genera el mayor rendimiento también presenta el mejor comportamiento económico. Una disponibilidad insuficiente de nutrientes puede limitar el rendimiento del cultivo; mientras que una fertilización realizada sin conocer la respuesta específica a N, P y K puede incrementar innecesariamente los costos de producción y disminuir la rentabilidad cuando el aumento del rendimiento no compensa la inversión adicional en fertilizantes. En este contexto, la presente investigación se orientó a determinar la influencia de las parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y la rentabilidad de Musa balbisiana en Pichari,

considerando variables productivas y los indicadores económicos asociados a los tratamientos evaluados.

Objetivo general

Determinar la influencia de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*, mediante el empleo de la técnica de las Parcelas de Omisión e Inclusión, Pichari.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la omisión e inclusión de NPK en el rendimiento de *Musa balbisiana*, mediante la técnica de Parcelas de Omisión e Inclusión, Pichari.

- Estimar la rentabilidad económica de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en *Musa balbisiana*, mediante la utilidad neta y la rentabilidad porcentual, Pichari.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales

Ohagan et al. (2023), en Filipinas, evaluaron la productividad del banano 'Saba' frente a cinco niveles de fertilización NPK establecidos bajo las condiciones de la serie de suelos Jasaan. El ensayo incluyó un tratamiento sin fertilización y cuatro combinaciones crecientes de nitrógeno, fósforo y potasio. La dosis de 270-180-540 de N-P-K produjo el mayor peso de racimo, con 28.87 kg, y alcanzó un rendimiento de 10.98 t ha^{-1}. En contraste, el tratamiento testigo registró 7.78 t ha^{-1}. A pesar del incremento productivo, el costo de los fertilizantes redujo el retorno económico de la dosis más alta.

Villaseñor-Ortiz et al. (2022a), en Ecuador, estudiaron la respuesta del banano Williams Cavendish a diferentes dosis de nitrógeno y potasio. La investigación se desarrolló mediante un arreglo factorial con niveles crecientes de ambos nutrientes y evaluó producción, concentración foliar y estado nutricional de las plantas. La máxima producción estuvo asociada con dosis estimadas de 358 kg ha^{-1} de nitrógeno y 596 kg ha^{-1} de K_2O. Asimismo, los rangos foliares adecuados fueron de 32 a 33 g kg^{-1} para nitrógeno y de 34 a 35 g kg^{-1} para potasio. La interacción entre ambos elementos confirmó que su aplicación debe realizarse de manera equilibrada.

Aba et al. (2021), en Nigeria, evaluaron cuatro genotipos de plátano bajo cinco sistemas de manejo nutricional. Se compararon aplicaciones de gallinaza, fertilización mineral, una combinación de ambas fuentes, cultivo en callejones con moringa y un tratamiento sin fertilización. El experimento se condujo en bloques completos al azar con parcelas divididas.

La combinación de fuentes orgánicas y minerales produjo mejores resultados de crecimiento y rendimiento que los tratamientos aplicados de manera individual. El híbrido PITA 24 alcanzó el mayor peso promedio de racimo, con 16.3 kg, mientras que Agbagba presentó 5.9 kg. Estos resultados muestran que la respuesta nutricional depende tanto del sistema de fertilización como del genotipo utilizado.

Nyombi et al. (2010), en Uganda, analizaron la respuesta del banano de tierras altas a tratamientos minerales con presencia y ausencia de nitrógeno, fósforo y potasio. El ensayo fue conducido durante varios ciclos productivos en las localidades de Kawanda y Ntungamo. La respuesta a los fertilizantes varió entre ambos lugares, debido a diferencias en la disponibilidad de agua, el suministro natural de nutrientes y la capacidad de recuperación de los fertilizantes. En Ntungamo, la ausencia de potasio limitó la absorción de nitrógeno y fósforo, mientras que la omisión de fósforo afectó la absorción de potasio. La fertilización incrementó el rendimiento en determinadas condiciones, aunque la recuperación de los nutrientes aplicados fue reducida.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Custodio (2021), en Tulumayo, Tingo María, evaluó el comportamiento fenológico, productivo y sanitario de seis variedades de banano: FHIA 18, Isla, Manzano, Seda, Palillo y Moquicho. La investigación se desarrolló entre febrero de 2018 y julio de 2019 y consideró variables relacionadas con el ciclo productivo, las características del racimo y la incidencia de sigatoka negra. Las variedades Palillo y FHIA 18 registraron los ciclos más prolongados, con 441 y 439 días, respectivamente. FHIA 18 y Palillo también presentaron mayor número de manos, frutos de mayor longitud y racimos más pesados. La variedad Isla completó su ciclo en aproximadamente 347 días.

Sulca (2024), en Ayacucho, aplicó la técnica del elemento faltante y presente para evaluar el estado nutricional de suelos procedentes de diez zonas agrícolas de Acosvinchos. Se analizaron propiedades físicas y químicas del suelo y se utilizó tomate como planta indicadora en condiciones de maceta. La respuesta fue determinada mediante la producción de materia seca en tratamientos con presencia, ausencia y aplicación completa de nutrientes. El nitrógeno fue identificado como el elemento de mayor influencia en el suelo de Acosvinchos, donde el tratamiento con inclusión de N alcanzó 4.94 g por maceta. También se encontraron diferencias de respuesta entre las zonas agrícolas evaluadas. Su aporte a esta investigación se relaciona con la aplicación conjunta de las técnicas de omisión e inclusión para reconocer nutrientes limitantes.

Guillen (2024), en Churcampa, Huancavelica, evaluó la fertilidad de suelos destinados al cultivo de palto mediante la técnica del elemento faltante. Se estudiaron suelos de ocho localidades y se emplearon nueve tratamientos con tres repeticiones, bajo un diseño completamente al azar. La producción de materia seca del tomate utilizado como planta indicadora fue mayor en el tratamiento completo. Las deficiencias nutricionales se ordenaron de la siguiente manera: nitrógeno, fósforo, micronutrientes, potasio, azufre, calcio y magnesio. La investigación permitió relacionar las propiedades químicas del suelo con la respuesta de la planta a la omisión de cada elemento. Este antecedente aporta criterios para interpretar las diferencias entre el tratamiento completo y las combinaciones donde se excluye un nutriente.

1.1.3. Antecedentes locales

Oriundo (2023), en Omaya, Pichari, evaluó la productividad y rentabilidad de los cultivares Isla Maleño y Hartón bajo diferentes frecuencias de abonamiento NPK. Se establecieron cuatro tratamientos para cada cultivar, con tres repeticiones. La aplicación distribuida en cinco momentos produjo un peso comercial de racimo de 20.41 kg, superior a los 17.09 kg obtenidos con tres aplicaciones. El rendimiento también aumentó de 32 481.13 a 38 769.80 kg ha^{-1} al incrementar la frecuencia de abonamiento. Isla Maleño y Hartón alcanzaron rendimientos promedio de 35 897.02 y 35 353.93 kg ha^{-1}, respectivamente. Este antecedente confirma que la distribución del NPK modifica la productividad y los costos del cultivo bajo condiciones de Pichari.

Huaman (2023), en el semillero de Omaya, estudió el efecto de polímeros hidroabsorbentes, métodos de propagación y variedades de plátano sobre el crecimiento y el rendimiento. El ensayo se organizó mediante un arreglo factorial de dos variedades, dos métodos de propagación y tres dosis de hidroabsorbente, generando doce tratamientos con tres bloques. Se evaluaron la altura, el número de hojas, el diámetro del pseudotallo, los días a la floración, el peso del racimo y el rendimiento. La combinación de plantas procedentes de cámara térmica, sin hidroabsorbente e Isla Maleño produjo racimos de 20.73 kg y un rendimiento de 40 635.56 kg ha^{-1}. La variedad y el método de propagación influyeron en varias características productivas.

Ñaña (2025), en Pichari, evaluó tres dosis de microorganismos eficaces activados en los cultivares Cavendish Williams y Hartón. El experimento se condujo en bloques completos al azar con un arreglo factorial de tres dosis y dos cultivares, formando seis tratamientos con tres repeticiones. Sin aplicación, Hartón produjo 36 986 kg ha^{-1} y Cavendish Williams alcanzó 26

093 kg ha⁻¹. La dosis de cuatro litros de microorganismos eficaces por veinte litros de agua elevó el rendimiento a 42 750 kg ha⁻¹ en Hartón y a 29 386 kg ha⁻¹ en Cavendish Williams. La respuesta confirmó que el cultivar y el tratamiento aplicado influyen conjuntamente sobre la productividad. Este antecedente permite contrastar los rendimientos y la rentabilidad obtenidos en el mismo distrito donde se desarrolló la investigación.

1.2. Cultivo de plátano

1.2.1. Origen y distribución

El sudeste asiático continental constituye una de las principales regiones de diversificación del género *Musa*. Mertens et al. (2021) identificaron diferencias genéticas entre poblaciones de *Musa balbisiana* procedentes de Vietnam y China, mientras que Jenny et al. (2024) estudiaron materiales silvestres y manejados recolectados en Vietnam, Laos y el sur de China. En conjunto, los resultados obtenidos muestran una amplia diversidad genética, morfológica y geográfica dentro de esta región.

La distribución de *M. balbisiana* también estuvo relacionada con las actividades desarrolladas por las poblaciones locales. Jenny et al. (2024) encontraron plantas utilizadas como alimento, forraje y material de propagación, además de ejemplares establecidos fuera de sus áreas naturales. Mertens et al. (2021) registraron una menor diversidad genética en algunas poblaciones alejadas de las zonas de origen, lo que relacionaron con procesos de introducción y desplazamiento de material vegetal.

La domesticación de los bananos cultivados comprendió distintos eventos de selección e hibridación. Li et al. (2013) identificaron múltiples orígenes maternos y paternos en los cultivares analizados, mientras que Wang et al. (2019) confirmaron mediante información genómica la contribución de *M. balbisiana* como fuente del genoma B.

En el Perú, el plátano forma parte de los sistemas agrícolas establecidos en zonas tropicales. El Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA, 2020) orienta su guía de buenas prácticas agrícolas a pequeños productores de este cultivo, mientras que el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2026) incluye información sobre producción, superficie cosechada, rendimiento y precios en sus registros agrarios nacionales.

1.2.2. Clasificación taxonómica

Royal Botanic Gardens, Kew (s. f.) muestra la clasificación taxonómica de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
- Filo: Streptophyta
- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Orden: Zingiberales
- Familia: Musaceae
- Género: *Musa*
- Especie: *Musa balbisiana*
- Nombre científico: *Musa balbisiana*
- Nombre común: Ordinario

1.2.3. Importancia del cultivo

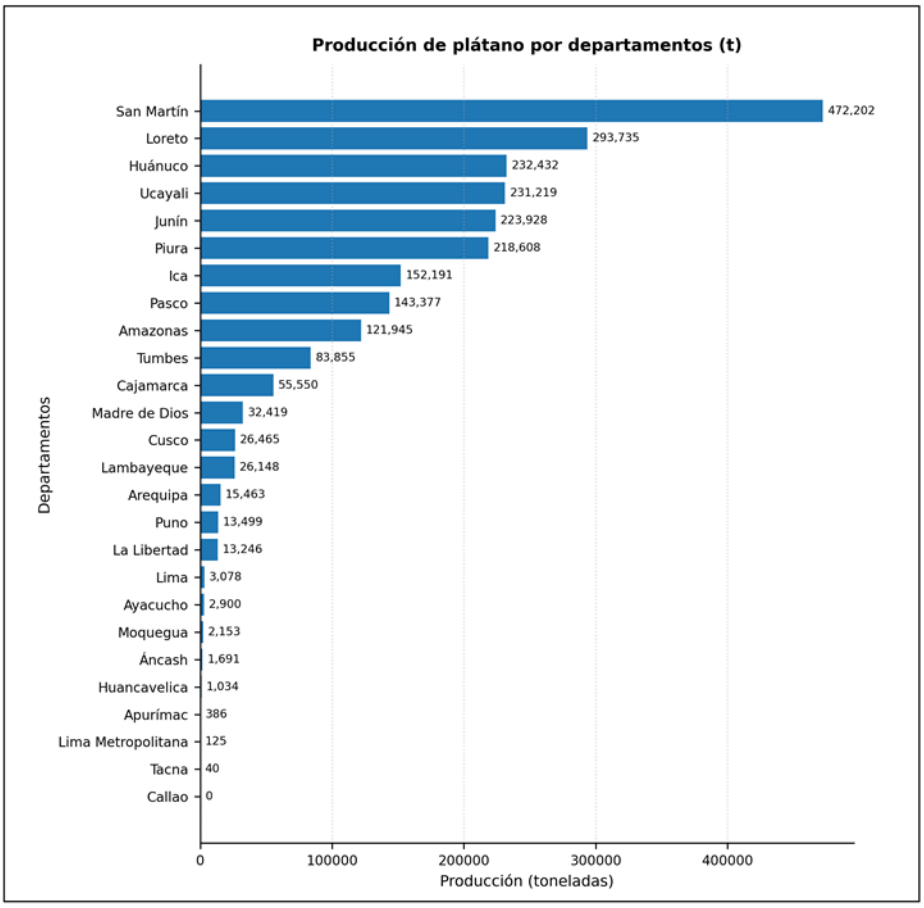
El banano mantiene una participación relevante en el mercado internacional de frutas tropicales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2026) señala que su comercio se encuentra condicionado por la oferta de los países exportadores, los costos de producción y transporte, las condiciones climáticas y la presencia de problemas fitosanitarios.

El Office of the Gene Technology Regulator (OGTR, 2023) señala que los bananos y plátanos se destinan al consumo fresco, la cocción y diferentes formas de procesamiento, mientras que SENASA (2020) reconoce su relevancia para los pequeños productores y orienta su manejo mediante buenas prácticas agrícolas.

En el ámbito nacional, MIDAGRI (2026) presenta información sobre producción, rendimiento, superficie cosechada y precios al productor. Estos indicadores permiten seguir el comportamiento del plátano dentro de la actividad agrícola peruana y comparar sus resultados entre campañas y regiones productoras.

Figura 1.1

Producción de plátano por departamento del Perú del año 2025



Fuente: Elaborado con datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2026).

1.2.4. Valor nutricional

FoodData Central registra información diferenciada para plátanos inmaduros y maduros. El U.S. Department of Agriculture (USDA, s. f.) señala que el fruto contiene principalmente agua y carbohidratos, además de fibra dietética, proteína y una proporción reducida de grasa. También presenta minerales como potasio, magnesio y fósforo.

La composición cambia de acuerdo con el estado del fruto. Los registros del USDA (s. f.) muestran diferencias entre plátanos verdes, maduros y sobremaduros, por lo que el contenido de agua, almidón, azúcares y energía debe interpretarse considerando el grado de madurez y la forma de consumo.

Tabla 1.1.

Composición nutricional del plátano por cada 100 g

Componente nutricional	Cantidad
Energía	122 kcal
Grasa total	0 g
Carbohidratos	32 g
Fibra dietética	2 g
Azúcares totales	18 g
Proteína	1 g
Calcio	3 mg
Potasio	487 mg
Sodio	4 mg
Hierro	1 mg
Magnesio	36 mg
Fósforo	32 mg
Vitamina C	18 mg
Folato	22 µg DFE
Niacina	1 mg

Nota. Datos obtenidos de FoodData Central, U.S. Department of Agriculture (USDA, s. f.).

1.2.5. Fenología del cultivo

El Office of the Gene Technology Regulator (OGTR, 2023) describe el desarrollo de las musáceas mediante una etapa vegetativa, una transición reproductiva y un periodo de formación del racimo. Durante el crecimiento vegetativo se produce la emisión sucesiva de hojas y el desarrollo del pseudotallo; posteriormente, el meristemo forma la inflorescencia, la cual asciende desde el cormo y emerge por la parte superior de la planta.

a) Brotación y establecimiento: Los hijuelos se originan a partir de yemas laterales localizadas en el cormo. El OGTR (2023) señala que estas estructuras permiten la propagación vegetativa y la renovación de la planta después de la fructificación del pseudotallo principal. Durante el establecimiento se produce la emisión de raíces y hojas desde el material utilizado para la plantación.

b) Crecimiento vegetativo: Las hojas emergen enrolladas por el centro del pseudotallo y se expanden progresivamente. El OGTR (2023) relaciona esta etapa con la formación del área foliar y el crecimiento del cormo y del pseudotallo, mientras que Rapetti y Dorel (2022) comprobaron que el área foliar disponible antes de la floración estuvo asociada con el número de frutos formado posteriormente.

c) Diferenciación floral: La diferenciación floral comienza cuando el meristemo deja de producir hojas y forma la inflorescencia. El OGTR (2023) indica que este cambio se inicia antes de que la estructura reproductiva sea visible, mientras que Rapetti y Dorel (2022) relacionaron el desarrollo vegetativo alcanzado durante esta etapa con el número de frutos y la capacidad productiva del racimo.

d) Floración: La floración se hace visible cuando el tallo floral atraviesa el pseudotallo y la inflorescencia emerge en la parte superior. El OGTR (2023) describe que las brácteas cubren inicialmente los grupos florales y se levantan de manera progresiva, exponiendo primero las flores femeninas que darán origen a los frutos.

e) Formación y llenado del racimo: Después de la floración se inicia el crecimiento de los frutos. Rapetti y Dorel (2022) determinaron que el peso del racimo estuvo explicado principalmente por el número de frutos y por el peso individual alcanzado por cada uno. El número de frutos se relacionó con el área foliar durante la inducción floral, mientras que el peso individual dependió del equilibrio entre la superficie fotosintética y la demanda del racimo.

Cândido et al. (2025) encontraron que los niveles de fertilización fosfatada y las condiciones climáticas de cada campaña modificaron la masa del racimo y el periodo comprendido entre la floración y la cosecha. Estos resultados relacionan la duración del desarrollo reproductivo con la nutrición y las condiciones ambientales del cultivo.

f) Madurez y cosecha: La cosecha se realiza después de que los frutos completan el crecimiento requerido para su destino comercial. Oriundo Huaman (2023) evaluó en Pichari el peso comercial del racimo y las dimensiones de los dedos al momento de la cosecha, mientras que Cândido et al. (2025) registraron el número de días transcurridos entre la floración y el corte del racimo. Ambas investigaciones emplearon la cosecha como punto final de la evaluación productiva.

1.2.6. Morfología de la planta

a) Sistema radicular: El sistema radicular de las musáceas es adventicio y se origina en el cormo. El OGTR (2023) describe raíces primarias y laterales que cumplen funciones de absorción y anclaje. Su distribución está condicionada por la textura, la aireación, la profundidad y la humedad del suelo.

La mayor parte de las raíces activas se desarrolla en los estratos próximos a la superficie. El OGTR (2023) relaciona esta distribución con la sensibilidad de la planta a la sequía, la

compactación y la saturación del suelo, condiciones que pueden restringir la expansión y el funcionamiento radicular.

b) Cormo: El cormo corresponde al tallo verdadero y permanece principalmente debajo de la superficie. Contiene el meristemo principal y las yemas laterales que originan raíces, hojas, hijuelos e inflorescencias. El OGTR (2023) señala que esta estructura permite la continuidad vegetativa de la planta después de la cosecha del pseudotallo principal.

c) Pseudotallo: El pseudotallo se forma por la superposición compacta de las vainas foliares. Aunque presenta apariencia de tronco, no posee tejido leñoso. Su función consiste en sostener las hojas y proteger el tallo floral durante su recorrido desde el cormo hasta la parte superior de la planta (OGTR, 2023).

Cada pseudotallo completa una sola etapa reproductiva. Después de producir el racimo, pierde progresivamente su función y es sustituido por un hijuelo desarrollado desde el mismo cormo (OGTR, 2023).

d) Hojas: Las hojas están constituidas por vaina, pecíolo, nervadura central y lámina. El OGTR (2023) describe que emergen enrolladas por el centro del pseudotallo y se despliegan de manera sucesiva hasta formar una amplia superficie fotosintética.

Rapetti y Dorel (2022) relacionaron el área foliar con la formación y el crecimiento del racimo. La superficie disponible durante la inducción floral estuvo asociada con el número de frutos, mientras que las hojas funcionales presentes después de la floración participaron en el incremento del peso individual.

e) Hijuelos: Los hijuelos se originan en las yemas laterales del cormo. El OGTR (2023) señala que constituyen la principal forma de propagación de los cultivares que producen frutos sin semillas viables y permiten mantener la sucesión productiva dentro de una plantación.

f) Inflorescencia: La inflorescencia se forma en el cormo y asciende por el centro del pseudotallo. El OGTR (2023) describe que las flores se encuentran agrupadas y protegidas por brácteas; las femeninas se desarrollan en la sección inicial y producen los frutos, mientras que las masculinas se localizan hacia el extremo distal.

g) Racimo, manos y frutos: El racimo está formado por grupos de frutos denominados manos. Cada fruto individual recibe el nombre de dedo. El OGTR (2023) utiliza estas denominaciones para describir la organización de la inflorescencia después del desarrollo de

las flores femeninas. Rapetti y Dorel (2022) identificaron el número de frutos y su peso individual como los principales componentes del peso final del racimo.

1.2.7. Principales plagas

a) Picudo negro: El picudo negro, *Cosmopolites sordidus*, afecta principalmente el cormo. Uwimana et al. (2021) evaluaron el nivel de daño producido por esta plaga en materiales híbridos y observaron diferencias de susceptibilidad entre los genotipos. El deterioro fue determinado mediante la evaluación de galerías y tejidos dañados en el cormo.

SENASA (2020) incluye el empleo de material de propagación sano, la revisión de hijuelos y el manejo de residuos dentro de las medidas preventivas. La guía también recomienda monitorear las plagas antes de decidir las acciones de control.

b) Nematodos fitoparásitos: Los nematodos fitoparásitos dañan el sistema radicular. El estudio sobre la interacción entre Radopholus similis y la nutrición del banano mostró diferencias en el crecimiento y en el daño radicular cuando las plantas recibieron soluciones completas o con deficiencias de N, P y K. Estos resultados relacionaron el estado nutricional con la respuesta de la planta frente al nematodo.

El OGTR (2023) incluye a los nematodos entre los organismos capaces de reducir las raíces funcionales y debilitar el anclaje. SENASA (2020) recomienda evitar el traslado de suelo y material vegetativo contaminado dentro de las prácticas preventivas de la plantación.

c) Insectos asociados con hojas y frutos: SENASA (2020) plantea el monitoreo periódico como base para determinar la presencia y la intensidad de las plagas. La guía recomienda identificar correctamente el organismo antes de aplicar controles culturales, biológicos o químicos y mantener registros de los productos utilizados.

1.2.8. Principales enfermedades

a) Sigatoka negra: La sigatoka negra es una enfermedad foliar causada por *Pseudocercospora fijiensis*. Soares et al. (2021) revisaron la interacción entre el patógeno y diferentes genotipos de Musa y describieron variaciones en los mecanismos de susceptibilidad y resistencia. El daño estuvo relacionado con la destrucción progresiva del tejido foliar.

La reducción de hojas funcionales afecta la superficie fotosintética encargada de sostener el desarrollo del racimo. SENASA (2020) incluye el deshoje sanitario, el monitoreo y la aplicación de medidas integradas dentro del manejo de las enfermedades foliares.

b) Marchitez por *Fusarium*: Dita et al. (2018) describen la marchitez por *Fusarium* como una enfermedad vascular capaz de permanecer durante periodos prolongados en suelos infestados. El patógeno invade las raíces y el sistema vascular, interfiriendo en el movimiento de agua dentro de la planta.

La dispersión se relaciona con material de propagación infectado, suelo, agua, herramientas, calzado y maquinaria contaminada. Dita et al. (2018) destacan el uso de medidas de exclusión y bioseguridad debido a la dificultad de eliminar el patógeno una vez establecido en el terreno.

c) Marchiteces bacterianas: Blomme et al. (2017) revisaron las principales enfermedades bacterianas que afectan a bananos y ensete, entre ellas el moko vinculado con bacterias del complejo *Ralstonia solanacearum*. La infección puede provocar marchitez, alteraciones vasculares y daños internos en los frutos.

La propagación puede ocurrir mediante herramientas, material vegetativo, insectos y contacto con plantas enfermas. SENASA (2020) recomienda desinfectar los instrumentos y restringir el movimiento de material procedente de parcelas con problemas fitosanitarios.

1.3. Requerimiento nutricional

La fertilización del plátano debe considerar las características del terreno y el estado del cultivo. SENASA (2020) recomienda realizar el análisis físico y químico del suelo, seleccionar las fuentes de nutrientes y mantener registros de las aplicaciones. También relaciona la fertilización con el cultivar, la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales.

El análisis foliar complementa el diagnóstico del suelo. Villaseñor-Ortiz et al. (2022a) evaluaron el sistema DRIS mediante 233 registros de productividad y concentración foliar de macro y micronutrientes. La precisión del diagnóstico varió según el elemento y la condición de deficiencia, suficiencia o exceso.

La absorción de nutrientes cambia durante el ciclo. Zhang et al. (2025) estudiaron la acumulación de N, P y K en diferentes etapas y compararon esta dinámica con la liberación de los fertilizantes. La sincronización entre el suministro y la demanda incrementó la absorción, el rendimiento y la eficiencia de utilización de los nutrientes.

SENASA (2020) recomienda fraccionar la fertilización de acuerdo con las necesidades del cultivo, mientras que Zhang et al. (2025) relacionaron el suministro sincronizado con una

reducción de las diferencias entre la liberación del fertilizante y la absorción de la planta. Ambas fuentes respaldan la distribución de las aplicaciones durante el desarrollo de la plantación.

1.3.1. Nutrición con nitrógeno, fósforo y potasio

a) Nitrógeno: El nitrógeno se relaciona con el crecimiento vegetativo y la actividad de las hojas. Sun et al. (2020) evaluaron seis niveles de fertilización nitrogenada y registraron cambios en el rendimiento, las propiedades del suelo y los atributos fisiológicos foliares. Las dosis elevadas no produjeron incrementos proporcionales y modificaron la disponibilidad de fósforo y potasio en el suelo.

La respuesta al nitrógeno depende de la cantidad y del momento de aplicación. Zhang et al. (2025) encontraron una mayor absorción y eficiencia cuando la liberación del fertilizante coincidió con la demanda de la planta. Sun et al. (2020) observaron, por su parte, que la aplicación excesiva afectó indicadores fisiológicos y la fertilidad del suelo. Ambas investigaciones muestran que el suministro debe ajustarse al desarrollo del cultivo.

El diagnóstico foliar permite diferenciar condiciones de deficiencia, suficiencia y exceso. Villaseñor-Ortiz et al. (2022a) evaluaron la precisión del sistema DRIS para nitrógeno y potasio y encontraron diferencias según la condición nutricional analizada.

b) Fósforo: Cândido et al. (2025) evaluaron seis niveles de fertilización fosfatada en banano y registraron cambios en la masa del racimo, el periodo entre floración y cosecha, las características del suelo y la composición foliar. La respuesta productiva fue distinta entre campañas debido a las condiciones ambientales y al suministro hídrico.

La fertilización fosfatada también modificó la concentración de otros elementos. Cândido et al. (2025) encontraron variaciones en el fósforo y el calcio del suelo y en el contenido foliar de diferentes nutrientes. Estos resultados evidenciaron relaciones entre la aplicación de P, el estado nutricional y el comportamiento productivo.

SENASA (2020) recomienda definir las dosis de fertilización mediante el análisis del suelo. Esta evaluación permite conocer la reacción del terreno y la disponibilidad inicial de fósforo antes de establecer el programa nutricional.

c) Potasio: El potasio presentó una relación estrecha con la producción del banano. Villaseñor-Ortiz et al. (2022b) evaluaron cuatro dosis de nitrógeno combinadas con cuatro

niveles de K_2O y encontraron que la máxima producción dependió de la interacción entre ambos nutrientes. También determinaron rangos foliares asociados con una mayor productividad.

Nyombi et al. (2010) encontraron que la ausencia de potasio modificó la absorción y el aprovechamiento de nitrógeno y fósforo en determinadas condiciones. La respuesta cambió entre localidades y ciclos, debido a diferencias en el suministro natural del suelo y la disponibilidad de agua.

Villaseñor-Ortiz et al. (2022b) y Nyombi et al. (2010) relacionaron el efecto del potasio con la presencia de otros elementos. Considerados conjuntamente, sus resultados muestran que la respuesta a K depende del equilibrio nutricional y de las condiciones específicas del lugar de cultivo.

1.3.2. Interacción entre N, P y K

Los nutrientes no actuaron de manera independiente en los estudios revisados. Nyombi et al. (2010) encontraron que la omisión de un elemento podía modificar la absorción de los demás, mientras que Villaseñor-Ortiz et al. (2022b) demostraron una interacción productiva entre las dosis de nitrógeno y potasio.

La respuesta también cambia según el material vegetal. Aba et al. (2021) compararon cuatro genotipos bajo fertilización orgánica, mineral y combinada, y obtuvieron diferencias en crecimiento y peso del racimo. La combinación de fuentes presentó resultados favorables, aunque su magnitud no fue igual en todos los genotipos.

Ohagan et al. (2023) evaluaron niveles crecientes de NPK en banano ‘Saba’ y registraron diferencias en crecimiento, diámetro del fruto, peso del racimo y rendimiento. La dosis más alta alcanzó la mayor producción, pero el costo de los fertilizantes disminuyó su retorno económico.

Zhang et al. (2025) relacionaron la eficiencia nutricional con la sincronización entre la demanda de la planta y la liberación de N, P y K. El manejo sincronizado incrementó la acumulación de los nutrientes y el rendimiento frente al sistema convencional evaluado.

1.4. Parcelas de omisión e inclusión de nutrientes

Las parcelas de omisión e inclusión son unidades experimentales utilizadas para evaluar la respuesta de una planta frente a la ausencia o incorporación de nutrientes específicos. La comparación entre tratamientos permite reconocer los elementos que condicionan el

crecimiento o la producción y estimar la capacidad del suelo para suministrarlos sin fertilización externa (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

La técnica se basa en modificar de manera controlada la composición nutricional de cada tratamiento. En las parcelas de omisión se retira un elemento de una combinación completa, mientras que en las parcelas de inclusión se incorpora un nutriente de forma individual o asociado con otros elementos sobre una condición sin fertilización completa (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

En el cultivo de banano, la respuesta obtenida mediante tratamientos con presencia y ausencia de nutrientes puede variar según el suministro natural del suelo, la disponibilidad de agua, la localidad y el ciclo productivo. Por ello, estas parcelas generan información relacionada directamente con las condiciones donde se desarrolla la evaluación (Nyombi et al., 2010).

1.4.1. Parcela de omisión

Una parcela de omisión es aquella en la que se excluye deliberadamente un nutriente de un tratamiento que contiene los demás elementos evaluados. Su finalidad es determinar cuánto cambia la respuesta de la planta cuando deja de recibir el nutriente retirado (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

En una evaluación de nitrógeno, fósforo y potasio, el tratamiento NPK representa la combinación completa. La omisión de nitrógeno corresponde al tratamiento PK, la omisión de fósforo se representa mediante NK y la omisión de potasio mediante NP (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

La diferencia entre el tratamiento completo y la parcela de omisión permite estimar la importancia relativa del elemento retirado. Una disminución del crecimiento o de la producción indica que el suministro natural del suelo no cubrió completamente la demanda de ese nutriente durante el periodo evaluado (Guillen, 2024; Nyombi et al., 2010).

La ausencia de diferencias entre una omisión y el tratamiento completo no significa que el elemento carezca de función en la planta. Esta respuesta puede presentarse cuando el suelo aporta una cantidad suficiente, cuando otro nutriente restringe previamente el desarrollo o cuando las condiciones ambientales limitan la absorción y utilización de los elementos disponibles (Nyombi et al., 2010).

1.4.2. Parcela de inclusión

Una parcela de inclusión es aquella en la que se incorpora uno o más nutrientes a una condición inicial sin fertilización completa. Este procedimiento permite determinar si la adición de un elemento mejora el crecimiento, el desarrollo o la producción respecto al tratamiento sin fertilización (Sulca, 2024).

Las inclusiones individuales de nitrógeno, fósforo y potasio se representan mediante los tratamientos N, P y K, respectivamente. Estas combinaciones permiten conocer la respuesta producida por cada nutriente cuando se aplica de forma separada (Sulca, 2024).

1.4.3. Tratamiento completo

El tratamiento completo contiene todos los nutrientes considerados en la evaluación. Cuando se estudian nitrógeno, fósforo y potasio, la combinación NPK representa la condición en la que los tres elementos se encuentran presentes (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

La función principal del tratamiento completo consiste en proporcionar una referencia para interpretar las parcelas de omisión. Las respuestas de NP, NK y PK se comparan con NPK para establecer el cambio producido por la exclusión de potasio, fósforo y nitrógeno, respectivamente (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

La combinación completa no representa necesariamente el tratamiento con mayor eficiencia económica. Su importancia dentro del experimento radica en permitir la comparación nutricional con las parcelas donde falta uno de los elementos evaluados (Nyombi et al., 2010; Ohagan et al., 2023).

Las inclusiones combinadas corresponden a los tratamientos NP, NK y PK. Su evaluación permite establecer si la respuesta obtenida mediante dos nutrientes es diferente de la generada por cada elemento aplicado individualmente (Sulca, 2024).

Un incremento respecto al tratamiento sin NPK muestra que la incorporación del nutriente favoreció la respuesta de la planta. Cuando la combinación de dos o más elementos produce una respuesta mayor que las aplicaciones individuales, el resultado evidencia una relación entre los nutrientes incorporados (Nyombi et al., 2010).

1.4.4. Tratamiento sin NPK

El tratamiento sin NPK corresponde a la parcela donde no se incorporan mediante fertilizantes los tres nutrientes considerados en la investigación. La respuesta obtenida depende

de las reservas y de las formas disponibles de nitrógeno, fósforo y potasio presentes naturalmente en el suelo (Nyombi et al., 2010; Sulca, 2024).

Esta condición funciona como referencia para interpretar las inclusiones individuales. La comparación con N, P y K permite determinar el cambio producido por la incorporación separada de cada nutriente (Sulca, 2024).

El tratamiento sin NPK no representa una ausencia absoluta de nitrógeno, fósforo y potasio. El suelo puede contener estos elementos debido a su composición mineral, la materia orgánica, la mineralización y las aplicaciones realizadas antes del establecimiento del experimento (Nyombi et al., 2010; Sulca, 2024).

1.4.5. Nutriente limitante

Un nutriente limitante es aquel cuya disponibilidad en el suelo resulta insuficiente para sostener la respuesta productiva de la planta. La deficiencia de un elemento puede restringir el aprovechamiento de los demás nutrientes, aunque estos se encuentren disponibles en cantidades adecuadas (Guillen, 2024; Nyombi et al., 2010).

En las parcelas de omisión, el nutriente limitante se reconoce por la disminución observada cuando se retira de la combinación completa. La omisión que produce la reducción más marcada representa la limitación nutricional de mayor intensidad dentro de las condiciones evaluadas (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

En las parcelas de inclusión, el nutriente limitante puede identificarse mediante el incremento obtenido después de su incorporación al tratamiento sin fertilización. Una respuesta elevada muestra que el aporte natural del suelo no era suficiente para cubrir la demanda de la planta (Sulca, 2024).

La condición limitante puede variar entre suelos y localidades debido a diferencias en fertilidad, disponibilidad hídrica y propiedades químicas. Por esta razón, un nutriente identificado como limitante en una zona no presenta necesariamente el mismo comportamiento en otro ambiente (Nyombi et al., 2010; Sulca, 2024).

1.4.6. Interpretación de las parcelas

La interpretación de las parcelas se realiza mediante la comparación de las variables obtenidas en cada tratamiento. En el cultivo de plátano pueden emplearse los días a la floración, los días

a la cosecha, el peso del racimo, las dimensiones de los frutos y el rendimiento por hectárea (Ohagan et al., 2023; Oriundo, 2023).

Una disminución en la parcela de omisión respecto al tratamiento completo indica que la ausencia del nutriente afectó la respuesta del cultivo. La magnitud de la reducción permite reconocer la importancia relativa del elemento retirado (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

Un incremento en una parcela de inclusión respecto al tratamiento sin NPK muestra una respuesta favorable a la incorporación del nutriente. La comparación de las inclusiones individuales y combinadas permite diferenciar los efectos de cada elemento y sus relaciones nutricionales (Sulca, 2024).

La interpretación debe considerar las condiciones del suelo y la disponibilidad de agua, debido a que estos factores modifican la absorción y la eficiencia de los fertilizantes. Las respuestas observadas pueden variar entre localidades, campañas y ciclos productivos aun cuando se utilicen tratamientos semejantes (Nyombi et al., 2010).

El análisis económico complementa la interpretación agronómica porque un incremento de la producción no garantiza un mayor retorno. El costo de los fertilizantes puede reducir la conveniencia económica de los tratamientos con dosis o combinaciones más elevadas (Ohagan et al., 2023).

1.4.7. Ventajas de las parcelas de omisión e inclusión

Las parcelas de omisión e inclusión permiten identificar los nutrientes que limitan el desarrollo de la planta y diferenciar la respuesta producida por aplicaciones individuales y combinadas. También facilitan la comparación entre el suministro natural del suelo y el tratamiento completo (Guillen, 2024; Sulca, 2024).

La técnica genera información relacionada con las condiciones del lugar donde se instala el experimento. Esta característica permite reconocer diferencias entre suelos y evita asumir que una recomendación obtenida en otra localidad producirá necesariamente la misma respuesta (Nyombi et al., 2010; Sulca, 2024).

La identificación de tratamientos con baja respuesta puede contribuir a disminuir aplicaciones que no generan incrementos productivos suficientes. La comparación entre rendimiento y costos también permite reconocer combinaciones con mayor conveniencia económica (Nyombi et al., 2010; Ohagan et al., 2023).

1.4.8. Limitaciones de las parcelas de omisión e inclusión

La respuesta de las parcelas puede cambiar entre campañas debido a variaciones en temperatura, precipitación, disponibilidad hídrica y fertilidad inicial. Estas condiciones modifican la absorción y la eficiencia de los nutrientes evaluados (Nyombi et al., 2010).

Las diferencias entre materiales vegetales también pueden afectar la interpretación. Los genotipos de plátano no presentan necesariamente la misma respuesta frente a un sistema de fertilización, incluso cuando se desarrollan bajo condiciones semejantes (Aba et al., 2021).

La presencia de interacciones nutricionales puede dificultar la identificación de una deficiencia individual. La omisión de un elemento puede modificar la absorción de otros, mientras que una inclusión aislada puede producir una respuesta reducida cuando permanece una segunda limitación (Nyombi et al., 2010).

Los resultados representan el suelo, el cultivo y las condiciones ambientales del periodo evaluado. Por ello, su aplicación en otras zonas requiere considerar las diferencias de fertilidad, clima, disponibilidad de agua y material vegetal (Guillen, 2024; Nyombi et al., 2010; Sulca, 2024).

1.5. Rentabilidad económica

1.5.1. Concepto de rentabilidad económica

La rentabilidad económica expresa la relación entre los resultados monetarios obtenidos y los recursos utilizados en la producción. Su evaluación permite determinar si los ingresos generados por un tratamiento compensan los costos necesarios para aplicarlo (Oriundo, 2023).

En experimentos de fertilización, la rentabilidad depende del rendimiento, del precio de venta y del costo de los fertilizantes y labores. Por esta razón, el tratamiento con mayor producción no representa necesariamente la alternativa con mejor resultado económico (Ohagan et al., 2023).

La rentabilidad complementa la evaluación agronómica porque incorpora el valor económico de la producción y el nivel de inversión. Esta comparación permite diferenciar tratamientos productivos de aquellos que, además de incrementar el rendimiento, generan una utilidad favorable (Ohagan et al., 2023; Oriundo, 2023).

1.5.2. Costos de producción

Los costos de producción comprenden el valor económico de los recursos utilizados para desarrollar una actividad productiva, incluyendo los insumos, la mano de obra, los servicios y demás recursos necesarios durante el proceso de producción. Su análisis permite determinar cuánto cuesta generar una determinada cantidad de producto y constituye una base para evaluar posteriormente la utilidad y la rentabilidad de una alternativa productiva (Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics [GSARS], 2016).

De acuerdo con su comportamiento, los costos de producción pueden clasificarse en costos fijos y costos variables. Los costos fijos son aquellos que permanecen relativamente independientes de la cantidad producida durante un periodo determinado, mientras que los costos variables se modifican en función del nivel de producción y del uso de recursos como fertilizantes, mano de obra estacional y combustible (GSARS, 2016).

1.5.3. Valor bruto de producción

El valor bruto de producción representa la valoración monetaria de la producción comercial obtenida antes de deducir los costos asociados al proceso productivo. En el análisis económico agrícola, este indicador permite expresar el rendimiento físico en términos monetarios mediante su valorización al precio de venta correspondiente. La relación entre producción obtenida y precio constituye la base para estimar los ingresos generados por una alternativa tecnológica (CIMMYT, 1988; Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics [GSARS], 2016).

$$\boldsymbol{VBP = R\ x\ P}$$

Donde:

- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- R = rendimiento comercial, en kg ha^{-1}.
- P = precio de venta, en S/ kg^{-1}.

El valor bruto de producción permite comparar la capacidad de los tratamientos para generar ingresos; sin embargo, no constituye una medida de ganancia, debido a que todavía no incorpora la inversión requerida para obtener la producción. Por esta razón, debe analizarse conjuntamente con los costos de producción y la utilidad neta (GSARS, 2016).

1.5.4. Utilidad neta

La utilidad neta representa el resultado monetario obtenido después de descontar del valor bruto de producción los costos totales incurridos durante el proceso productivo. Su estimación permite determinar el excedente económico generado por cada tratamiento una vez recuperada la inversión realizada (CIMMYT, 1988; GSARS, 2016).

$$\boldsymbol{UN = VBP - CT}$$

Donde:

- UN = utilidad neta, en S/ ha^{-1}.
- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- CT = costo total de producción, en S/ ha^{-1}.

Una utilidad neta positiva indica que el valor generado por la producción supera los costos asumidos, mientras que una utilidad negativa evidencia que los ingresos obtenidos no permiten recuperar completamente la inversión. Este indicador expresa un resultado económico absoluto, por lo que resulta útil para comparar cuánto excedente monetario genera cada tratamiento bajo las condiciones evaluadas (GSARS, 2016).

1.5.5. Rentabilidad porcentual

La rentabilidad porcentual expresa la utilidad neta obtenida en relación con el costo total de producción y permite evaluar proporcionalmente el resultado económico de la inversión. A diferencia de la utilidad neta, que expresa un monto monetario absoluto, la rentabilidad permite comparar tratamientos con diferentes niveles de inversión mediante una medida relativa del beneficio generado respecto al capital utilizado (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{Rentabilidad}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{UN}}{\boldsymbol{CT}}\boldsymbol{x100}$$

Donde:

- UN = utilidad neta, en S/ ha^{-1}.
- CT = costo total de producción, en S/ ha^{-1}.

Un mayor porcentaje de rentabilidad indica que el tratamiento genera una utilidad proporcionalmente superior respecto al costo asumido. Por ello, el tratamiento que produce la mayor utilidad neta no necesariamente presenta la mayor rentabilidad porcentual, debido a que

esta última también depende de la magnitud de la inversión requerida. En evaluaciones agronómicas, la interpretación conjunta de producción, costos e ingresos permite establecer la conveniencia económica de las alternativas tecnológicas analizadas (CIMMYT, 1988; GSARS, 2016).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en el Centro Experimental de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal propiedad de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga ubicada en el distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento de Cusco, zona caracterizada por presentar condiciones tropicales favorables para el cultivo de las musáceas.

2.1.1. Ubicación política

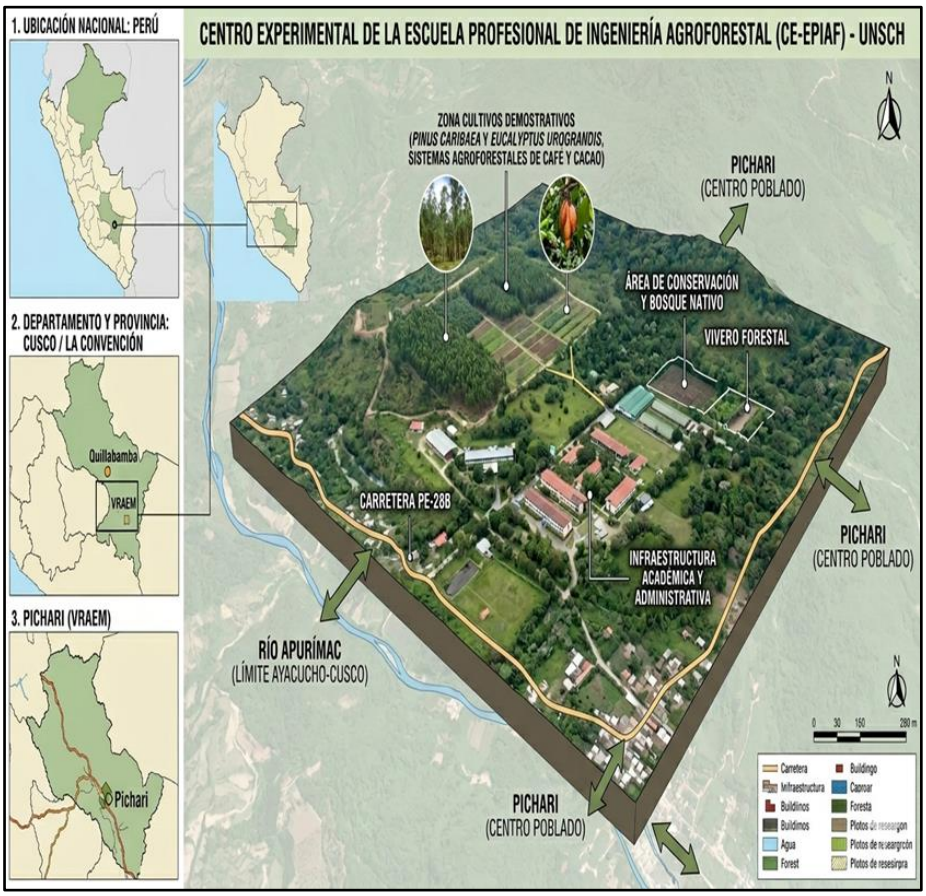
- Departamento : Cusco
- Provincia : La convención
- Distrito : Pichari
- Centro experimental : Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal

2.1.2. Ubicación geográfica

- Altitud : 605 m s.n.m.
- Latitud sur : 12° 31’ 64.20’’
- Longitud Oeste : 73° 50’ 30.40’’

Figura 2.1.

Ubicación geográfica de la zona de estudio



2.2. Datos de la investigación

- **Tipo de investigación:** Según grado de abstracción: aplicada, y según el objetivo: experimental.
- **Población:** Conformada por el cultivo de *Musa balbisiana*, instalada en el área del experimento de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal.
- **Muestra:** Conformada por plantas de *Musa balbisiana* evaluadas de cada unidad experimental.
- **Unidad de análisis:** Conformada por una planta de *Musa balbisiana* y sus caracteres agronómicos cuantitativos.
- **Técnicas e instrumentos de recolección de datos:** Matriz de registro de datos, fotografías, fichas del campo, fichas bibliográficas.

2.3. Análisis de suelo

Tabla 2.1.

Características del suelo según resultados de laboratorio

Descripción	Unidad	Valor	Interpretación
Materia orgánica	%	1.26	Bajo
Nitrógeno total (Nt)	%	0.06	Pobre
Fósforo disponible (P)	ppm	7.5	Bajo
Potasio disponible (K)	ppm	142.4	Medio
pH	—	7.16	Neutro
Conductividad eléctrica (C.E.)	dS m^{-1}	0.683	Suelo no salino
Carbonato de calcio ($CaCO_3$)	%	0	Ausente; suelo no calcáreo
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol(+) kg^{-1}	14.2	Medio
Arena	%	60.5	Predominante
Limo	%	30.6	Moderado
Arcilla	%	8.9	Bajo
Clase textural	—	Fr-Ao	Franco arenoso
Bases cambiables			
Calcio intercambiable (Ca^{2+})	cmol(+) kg^{-1}	2.88	Bajo
Magnesio intercambiable (Mg^{2+})	cmol(+) kg^{-1}	1.12	Medio
Potasio intercambiable (K^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0.73	Muy alto
Sodio intercambiable (Na^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0.96	Moderado; suelo no sódico
Aluminio intercambiable (Al^{3+})	cmol(+) kg^{-1}	0	No detectado
Hidrógeno intercambiable (H^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0	No detectado

La caracterización físico - químico del suelo se realizó en el Laboratorio Especializado "MULTISERVICIOS AGROLAB", Institución certificada en el análisis integral de suelos, agua, plantas y fertilizantes. Cuyos resultados (tabla 2.1) se interpretan a continuación:

Presenta un suelo de clase textural Franco Arenoso (Fr-Ao), caracterizado por un alto contenido de arena (60.5%). Esta condición físico-estructural garantiza una excelente aireación y drenaje interno, factor crítico para prevenir la asfixia radicular y enfermedades fúngicas en el cultivo de banano. Sin embargo, esta misma naturaleza porosa determina una baja capacidad de retención de humedad y una susceptibilidad aumentada al lixiviado de nutrientes, lo que exigirá una gestión de riego y fertilización altamente eficiente.

Químicamente, el suelo presenta un pH neutro (pH 7.16), un nivel que, aunque aceptable, se sitúa en el límite superior del rango óptimo para el banano, pudiendo condicionar la disponibilidad de ciertos microelementos. El factor más crítico es el bajo nivel de materia

orgánica (1.26%) y nitrógeno total (0.06%), lo que indica una reserva nutricional insuficiente para las altas demandas del cultivo. Asimismo, los niveles bajos de fósforo y medios-bajos de potasio (142.4 ppm) confirman que la fertilidad natural del sitio es limitada, es indispensable una fertilización correctiva y de mantenimiento.

A pesar de que el régimen térmico de la zona (media de 25 °C) es óptimo para el desarrollo vegetativo, la combinación de un suelo con baja retención hídrica y una marcada estacionalidad de lluvias (con meses de precipitación nula) representa un riesgo hídrico severo. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de 14.2 cmol(+)/kg sugiere una capacidad de retención de nutrientes moderada, lo que recomienda la aplicación fraccionada de fertilizantes para optimizar su aprovechamiento.

El suelo evaluado posee aptitud condicionada para la producción comercial de banano. La viabilidad técnica de la investigación queda supeditada a dos intervenciones agronómicas fundamentales: La implementación de un sistema de riego presurizado para suplir el déficit hídrico en un suelo de rápida filtración y un programa intensivo de enmiendas orgánicas y fertilización balanceada (priorizando Nitrógeno y Potasio) para compensar la baja fertilidad natural del perfil evaluado.

2.4. Condiciones climáticas de la zona de estudio

Tras analizar el perfil meteorológico de la zona de Pichari (agosto 2022 - octubre 2023), se concluye que la zona presenta una aptitud térmica sobresaliente, aunque con un desafío hídrico significativo que condiciona la productividad.

El régimen de temperaturas es favorable para el desarrollo acelerado del cultivo. La temperatura media, que oscila entre 24 °C y 27 °C, se alinea perfectamente con el rango óptimo para la actividad metabólica del banano. Asimismo, las temperaturas mínimas se mantienen de forma segura por encima de los 15 °C, evitando riesgos de detención del crecimiento por frío. No obstante, se advierten episodios de estrés por calor extremo, con picos máximos que alcanzan los 39.3 °C, lo que exige un manejo adecuado de la densidad de siembra para proteger la fruta.

El factor determinante para la viabilidad comercial es la irregularidad de las precipitaciones. Mientras que algunos meses (como febrero con 339 mm) superan ampliamente la demanda hídrica, existen periodos de sequía crítica en marzo, septiembre y octubre, donde la precipitación es nula o insignificante (0 a 1.3 mm). Dado que el banano es altamente sensible

al déficit hídrico y requiere un suministro constante de agua para el llenado del racimo, la producción en esta zona bajo condiciones de secano (dependiente solo de la lluvia) es de alto riesgo.

Para garantizar una producción constante y de calidad exportable, es indispensable la implementación de un sistema de riego complementario que cubra los periodos de estiaje detectados. Con el control del agua, las condiciones de calor y humedad de la zona permiten vaticinar rendimientos altamente competitivos.

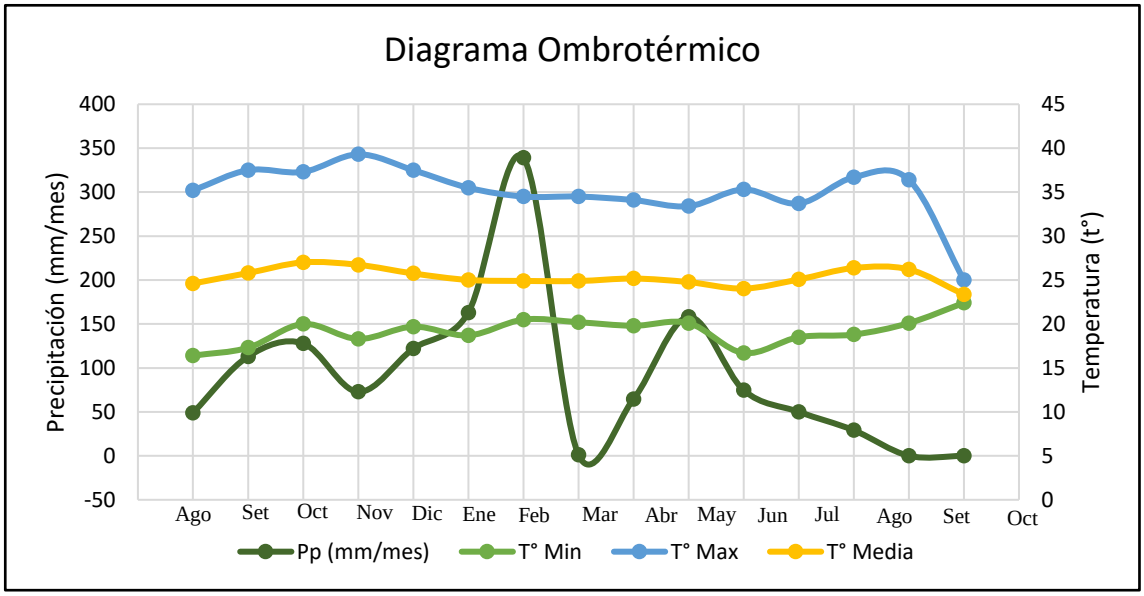
Tabla 2.2.

Datos meteorológicos de la Campaña 2023 de la Estación Meteorológica de Pichari

Año			**2022**							**2023**					
Meses	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
T° Min	16.4	17.3	20	18.3	19.7	18.7	20.5	20.2	19.8	20.1	16.7	18.5	18.8	20.1	22.4
T° Max	35.2	37.5	37.3	39.3	37.5	35.5	34.5	34.5	34.1	33.4	35.3	33.7	36.7	36.4	25
T° Media	24.61	25.80	27.01	26.73	25.75	25.01	24.90	24.89	25.17	24.77	24.03	25.07	26.37	26.21	23.36
Pp (mm/mes)	49	113	128	72.8	122	163	339	1.3	64.7	158	74.7	50.1	29.1	0.1	0

Figura 2.2.

Diagrama ombrotérmico de la Campaña 2023 de la Estación Meteorológica de Pichari



Nota: datos registrados en la Estación Meteorológica de Pichari, correspondiente a la campaña 2023.

2.5. Materiales, equipos e insumos

2.5.1. Materiales y equipos

- Cormos de *Musa balbisiana*
- Cámara digital
- Computadora
- Calibrador de plátano
- Flexometro
- Balanza digital

2.5.2. Herramientas

- Machete
- Pala
- Alquiler de mochila de 15 litros para pulverizar
- Alquiler de motoguadaña
- Lampa
- Wincha de 50 metros
- Podadora de altura

2.5.3. Insumos

- Fertilizantes (Nitrato de amonio, superfosfato triple y cloruro de potasio)
- Insecticidas (Benfurocab, fipromil)
- Fungicidas (difeconaloze, vitavax)

2.5.4. Otros

- Baner de identificación
- Libreta de campo
- Bolígrafos
- Plumones
- Engrapadoras y grapas
- Cinta de embalaje

2.6. Variables e indicadores

Tabla 2.3.

Operacionalización de los variables dependientes e independientes

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Diagnóstico nutricional Planta indicadora Manejo de fertilización	Niveles críticos *Musa balbisiana* Fuente de fertilizantes
Técnica del elemento faltante y presente		
Variables dependientes	Factores de productividad	
Rendimiento		Días a la floración (días) Días a la cosecha de racimo (días) Peso comercial de racimo (kg) Longitud de dedos (pulg) Diámetro de dedos (cm) Rendimiento por hectárea (kg ha^{-1})
Rentabilidad		Costos de producción (S/ ha^{-1}) Ingresos por ventas (S/ ha^{-1}) Valor bruto de producción (S/ ha^{-1}) Utilidad neta (S/ ha^{-1})

2.7. Método procedimental

2.7.1. Factores en estudio

Planta indicadora (c).

c1: *Musa balbisiana*.

Fuente de fertilizantes (f)

f1: Nitrato de amonio, fuente de nitrógeno el cual tiene una ley de 33% de N.

f2: Superfosfato triple, fuente de fosforo el cual tiene una ley de 46% de P.

f3: Cloruro de potasio, fuente de potasio el cual tiene una ley de 60% de K.

2.7.2. Descripción de los tratamientos

Tabla 2.4.

Descripción de los tratamientos

Trat.	Código			Nivel de fertilización (kg ha^{-1})			Nivel de fertilización (kg x planta)			Descripción
	X_1	X_2	X_3	N	P_2O_5	K_2O	N. A	ST	KCL	
1	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	0	T
2	2	-2	-2	300	0	0	0.575	0	0	+ N
3	-2	2	-2	0	100	0	0	0.082	0	+ P
4	-2	-2	2	0	0	650	0	0	0.179	+ K
5	-2	2	2	0	100	650	0	0.082	0.179	- N
6	2	-2	2	300	0	650	0.575	0	0.179	- P
7	2	2	-2	300	100	0	0.575	0.082	0	- K
8	2	2	2	300	100	650	0.575	0.082	0.179	C

Nota: No existe un ensayo en la zona con uso de elementos faltantes de N, P y K en cultivo de plátano ordinario (Musa balbisiana). Dosificación se realizó teniendo en cuenta la extracción del cultivo y análisis de suelo de dicha área de instalación.

2.7.3. Croquis del campo experimental

Figura 2.3.

Croquis del campo experimental

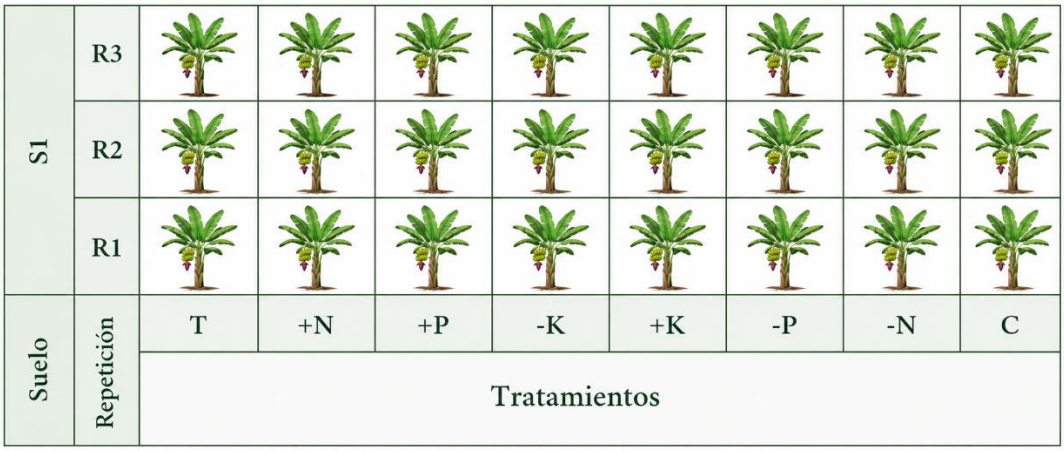


Tabla 2.5.

Descripción del abonamiento de los tratamientos de Musa balbisiana

Nutrientes	Niveles		Reactivo		Fuente
	Kg ha^{-1}	g planta^{-1}	Formula	g planta^{-1}	
N	300	575	$CO(NH_2)_2$	575	Nitrato de Amonio
P	100	82	$Ca(H_2PO_4)_2$	82	Superfosfato Triple
K	650	179	KCl	179	Cloruro de Potasio

2.8. Diseño experimental

El experimento se condujo mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial completo 2^3 (2N*2P*2K), los factores evaluados fueron nitrógeno, fósforo y potasio, cada uno con dos niveles: ausencia y presencia. La combinación de los niveles produjo ocho tratamientos, establecidos en tres bloques, con un total de 24 unidades experimentales. Cada bloque estuvo conformado por los ocho tratamientos, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque. El uso de bloques permitió controlar la variabilidad espacial existente en el campo experimental. Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro plantas de *Musa balbisiana*. En consecuencia, el ensayo comprendió 24 unidades experimentales y 96 plantas evaluadas. Las cuatro plantas pertenecientes a una misma unidad experimental constituyeron submuestras, por lo que la información utilizada en el análisis estadístico correspondió al promedio obtenido en cada unidad experimental.

2.8.1. Modelo estadístico

Como se trata de un DBCA con arreglo factorial 2^3, el modelo estadístico completo fué:

$$\mathbf{Yijkl = \mu + Bl + Ni + Pj + Kk + (NP)ij + (NK)ik + (PK)jk + (NPK)ijk + \varepsilon ijkl}$$

Donde:

- **Yijkl:** valor observado de la variable respuesta con el nivel i de nitrógeno, el nivel j de fósforo y el nivel k de potasio, dentro del bloque l.
- **μ:** media general de la población experimental.
- **Bl:** efecto del l-ésimo bloque.
- **Ni:** efecto del i-ésimo nivel de nitrógeno.
- **Pj:** efecto del j-ésimo nivel de fósforo.
- **Kk:** efecto del k-ésimo nivel de potasio.
- **(NP)ij:** efecto de la interacción entre nitrógeno y fósforo.

- **(NK)ik:** efecto de la interacción entre nitrógeno y potasio.
- **(PK)jk:** efecto de la interacción entre fósforo y potasio.
- **(NPK)ijk:** efecto de la interacción triple entre nitrógeno, fósforo y potasio.
- **εijkl:** error experimental asociado con la unidad experimental.

2.9. Parámetros de evaluación

Se determinaron indicadores técnicos de gestión agronómica con el propósito de garantizar la eficiencia productiva y la rentabilidad de la *Musa balbisiana*.

2.9.1. Rendimiento

a. Días a la floración (días): Se registró el número de días transcurridos desde la instalación de la planta hasta la emergencia de la inflorescencia. Esta evaluación se realizó mediante observación directa y por única vez para cada tratamiento establecido en el campo definitivo.

b. Días a la cosecha de racimo (días): Se registró el periodo en días desde la instalación de la planta hasta la cosecha del racimo. Esta evaluación se realizó mediante observación directa y por única vez para cada tratamiento establecido en el campo definitivo

c. Peso comercial de racimo (kg): Se determinó el peso comercial de los racimos por planta y por tratamiento utilizando una balanza de plataforma con capacidad de 50 kg. Esta evaluación se llevó a cabo al finalizar el ensayo, inmediatamente después de la cosecha.

c. Longitud de dedos (pul): Se realizó la medición de longitud de dedos con una cinta de medición de bananos, desde el punto de inserción del pedúnculo hasta el ápice del fruto y se registró en pulgadas. La muestra se realizará en el segundo mano del racimo (el dedo de centro) y el penúltimo mano (el dedo de centro). La evaluación se realizó teniendo en cuenta los estándares de comercialización a los diferentes niveles de mercado, el registro se realizó antes de cosechar el racimo de la planta.

d. Diámetro de dedos (cm): Se determinó el diámetro de los dedos utilizando un calibrador de bananos, evaluando el fruto central de la segunda y penúltima mano. Los registros se expresaron en centímetros y se llevaron a cabo antes de la cosecha, considerando los estándares de calidad exigidos por los diferentes niveles del mercado.

e. Rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}): El pesaje se efectuó de manera individual por racimo y tratamiento. Una vez obtenidos los valores en kilogramos, se procedió a proyectar la productividad por unidad de superficie (kg ha^{-1}).

2.9.2. Rentabilidad económica

a. Costos de producción (S/ x ha): Se registraron los costos y egresos derivados de *Musa balbisiana* durante el primer ciclo productivo (R0). El análisis incluyó la totalidad de las labores agronómicas, así como las actividades de precosecha y las operaciones de poscosecha.

b. Ingresos por ventas (S/ x ha): Se contabilizaron los ingresos percibidos por la comercialización total de los racimos obtenidos, tomando como referencia los precios de mercado en soles durante el segundo ciclo productivo.

c. Valor bruto de producción (S/ x ha): Para el cálculo de los ingresos, se contrastó el rendimiento obtenido por hectárea con el valor comercial de venta en chacra vigente al momento de la cosecha.

d. Utilidad neta (S/ x ha): Se calculó la Utilidad Neta mediante la diferencia entre el valor bruto de la producción (S/x ha) y los costos totales de producción invertidos en el cultivo de banano (S/x ha).

2.10. Conducción del ensayo

2.10.1. Selección del terreno

Para la selección del terreno fue necesario buscar un suelo que cuente con condiciones agroecológicas favorables para el crecimiento y desarrollo de la Musa balbisiana. Los terrenos o suelos aptos para el cultivo de banano son: suelo arenoso, franco arcilloso, franco limoso y franco arcilloso limoso. Los suelos más apropiados son los de pH neutros (6.5 – 7.0) aunque también tolera los ligeramente ácidos y alcalinos.

2.10.2. Preparación del terreno

Se realizó previamente el análisis de suelo para conocer los requerimientos de materia orgánica y otros abonos permitidos. Se consideró no por la orientación de la salida del sol, sino por la dirección en que generalmente sopla el viento. Porque las hileras actuarían como barreras, afectando parcial o totalmente al cultivo.

2.10.3. Sistema de siembra y distanciamiento

Se consideró el sistema de tres bolillos con distanciamiento de 2.6 metros de altura y entre plantas 3 metros con una densidad de plantación 1283 planta hectárea^{-1} y sistema de doble hilera con altura de entre plantas 1.7 metros y entre plantas 2 metros y densidad de plantación 1960 planta hectárea^{-1}.

2.10.4. Selección y clasificación de semilla vegetativa (hijuelo)

De preferencia se consideró núcleos semilleros productivos, libres de plagas y enfermedades, los hijuelos fueron adquiridos del semillero de la Municipalidad distrital de Pichari, ya que cuenta con semillas garantizadas por SENASA.

2.10.5. Preparación de hijuelos

Una vez extraído los hijuelos de las plantas madres se procedió con la limpieza de tierra y raíces de los cormos para su lavado y desinfección. La desinfección de cormos se realizó con insecticidas, fungicidas y enraizantes (benfurocab, Vitavax, Rooting y adherente) a la dosis de 250 ml, 400 gramos, 250 ml y 50 ml por 200 litros de agua, respectivamente. Una vez preparado la solución se sumergió los cormos durante 5 minutos y el oreado durante un 30 minuto o un día.

2.10.6. Siembra de hijuelos

Una vez realizado el hoyado y desinfección de cormos se procedió con la siembra de acuerdo al croquis experimental, habiéndose utilizado como abono de fondo el Compost y estiércol (abono orgánico), 250 gramos/hoyo, mezclándose con tierra agrícola que luego se hizo regresar al mismo hoyo.

2.10.7. Abonamiento de plantas

Se aplicó tres veces durante el proceso de crecimiento y desarrollo de plantas de banano; el primer abonamiento a los 45 días, el segundo a los 90 días y el tercero a los 150 días después de instalación; las fuentes (nitrado di amonio, fosfato di amonio y cloruro de potasio). La dosificación para la aplicación en cada tratamiento fue teniendo en cuenta la riqueza de fertilizantes, análisis de suelo de la parcela y extracción de Musa balbisiana. según tratamiento fijado en el ensayo.

2.10.8. Otras labores agronómicas

Otras labores agronómicas como el deshije, deshoje, deschante, y las labores de pre cosecha (enfunde, desflore, deschive, desmane, daipiado) y aplicación con abonos foliares, fungicidas, insecticidas, etc., se realizó en el momento oportuno durante el proceso de crecimiento y desarrollo de plantas hasta el momento de la cosecha de los racimos.

2.10.9. Control de plagas y enfermedades

Se realizó en forma oportuna durante el proceso de crecimiento y desarrollo de la planta, teniendo en cuenta el manejo integrado de plagas y enfermedades.

2.10.10. Cosecha y post cosecha

Esta actividad se realizó cuando los dedos de los racimos presentaban la madurez comercial, se realizó el corte del raquis sin causar daños a los dedos (frutos), luego se colocó en el hombro de la persona para el transporte hasta el módulo post cosecha y encajonado.

2.11. Procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos en las unidades experimentales fueron organizados en Microsoft Excel y procesados mediante el software estadístico Rstudio. Se realizó el análisis de varianza correspondiente a un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 2^3, evaluando los efectos principales de nitrógeno, fósforo y potasio, así como sus interacciones. Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Para complementar el análisis estadístico del rendimiento, se calculó el rendimiento relativo de las parcelas de omisión e inclusión. Estos indicadores permitieron cuantificar la respuesta del cultivo frente a la ausencia o presencia individual de nitrógeno, fósforo y potasio.

2.11.1. Rendimiento relativo por omisión

El rendimiento relativo por omisión se determinó comparando el rendimiento de cada tratamiento donde se excluyó un nutriente con el rendimiento del tratamiento completo NPK (Buresh, 2009; Witt et al., 2007).

$$\boldsymbol{RRomisión}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{Romisión}}{\boldsymbol{RNPK}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- RRomisión: rendimiento relativo del tratamiento de omisión, expresado en porcentaje.

- Romisión: rendimiento obtenido en el tratamiento donde se omitió el nutriente i.
- RNPK: rendimiento obtenido en el tratamiento completo con N, P y K.

$$\boldsymbol{PRomisión = \frac{RNPK - Romisión}{RNPK} X100}$$

Donde:

- PRomisión: pérdida de rendimiento por omisión, en porcentaje.

2.11.2. Rendimiento relativo por inclusión

El rendimiento relativo por inclusión se calculó comparando el rendimiento obtenido mediante la aplicación individual de cada nutriente con el rendimiento del tratamiento testigo sin NPK (Buresh, 2009; Witt et al., 2007).

$$\boldsymbol{RRinclusión}\ (\%) = \boldsymbol{\frac{Rinclusión}{Rtestigo} X100}$$

Donde:

- RRinclusión: rendimiento relativo producido por la inclusión, expresado en porcentaje.
- Rinclusión: rendimiento obtenido con la aplicación individual del nutriente i.
- Rtestigo: rendimiento del tratamiento testigo sin aplicación de NPK.

$$\boldsymbol{IRinclusión = \frac{Rinclusión - Rtestigo}{Rtestigo} X100}$$

- IRinclusión: incremento de rendimiento por la inclusión del nutriente, en porcentaje. Para la inclusión de nitrógeno.

2.11.3. Valor bruto de producción

El valor bruto de producción se obtuvo multiplicando el rendimiento comercial por el precio de venta por kilogramo (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{VBP = R\ X\ P}$$

Donde:

- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- R = rendimiento comercial, en kg ha^{-1}.
- P = precio de venta, en S/ kg^{-1}.

2.11.4. Utilidad neta

La utilidad neta se calculó descontando el costo total de producción del valor bruto (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{UN = VBP - CT}$$

Donde:

- UN = utilidad neta, en S/ ha^{-1}.
- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- CT = costo total de producción, en S/ ha^{-1}.

2.11.5. Rentabilidad porcentual

La expresión cuantifica la utilidad obtenida por cada unidad monetaria invertida y permite comparar tratamientos con costos diferentes. La relación entre ingresos, costos y beneficios es un criterio utilizado en el análisis económico de tecnologías agrícolas (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{Rentabilidad}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{UN}}{\boldsymbol{CT}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- UN = utilidad neta.
- CT = costo total de producción.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variables del rendimiento

3.1.1. Días a la floración (días)

Tabla 3.1.

Análisis de variancia (ANVA) de los días a la floración de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	1398.599	2	699.299	10.266	0.0018	**
Tratamientos	800.115	7	114.302	1.678	0.194	ns
Nitrógeno (N)	173.344	1	173.344	2.545	0.133	ns
Fósforo (P)	92.042	1	92.042	1.351	0.2645	ns
Potasio (K)	66.667	1	66.667	0.979	0.3393	ns
N x P	77.042	1	77.042	1.131	0.3056	ns
N x K	80.667	1	80.667	1.184	0.2949	ns
P x K	195.51	1	195.51	2.87	0.1124	ns
N x P x K	114.844	1	114.844	1.686	0.2151	ns
Error	953.651	14	68.118			
Total	3152.365	23				
CV	4.35%					

La tabla 3.1 del análisis de variancia muestra alta significación estadística entre bloques para los días a la floración de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que existió variación entre los sectores donde se instalaron las unidades experimentales, posiblemente debido a diferencias en las condiciones del suelo, humedad disponible, drenaje o desarrollo inicial de las plantas. No se encontró significación estadística entre los tratamientos de omisión e inclusión de NPK. Esto indica que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una

respuesta diferenciada en el número de días transcurridos hasta la floración. La descomposición de tratamientos tampoco mostró significación estadística para los efectos principales de nitrógeno, fósforo y potasio, ni para las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K. Por tanto, la presencia o ausencia de estos nutrientes no modificó estadísticamente la floración durante el periodo de evaluación. El coeficiente de variación fue de 4.35 %, valor que indica buena precisión experimental y permite tener confianza en los resultados obtenidos.

Tabla 3.2.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de los días a la floración de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Promedio de días a la floración	Tukey
T_2	Inclusión de nitrógeno	178.58	a
T_8	Tratamiento completo	185.25	a
T_5	Omisión de nitrógeno	187.75	a
T_7	Omisión de potasio	188.33	a
T_3	Inclusión de fósforo	189.42	a
T_1	Testigo sin NPK	195.58	a
T_6	Omisión de fósforo	195.67	a
T_4	Inclusión de potasio	196.58	a

En la Tabla 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística “a”, confirmando la ausencia de diferencias significativas para los días a la floración. Numéricamente, el tratamiento T2, correspondiente a la inclusión de nitrógeno, presentó la floración más temprana con 178.58 días, seguido del tratamiento completo T8 con 185.25 días, T5 con 187.75 días, T7 con 188.33 días y T3 con 189.42 días. Por otro lado, T1, T6 y T4 registraron los mayores periodos, con 195.58, 195.67 y 196.58 días, respectivamente. Entre T2 y T4 se registró una diferencia de 18.00 días, equivalente aproximadamente a una reducción de 9.16 % respecto al mayor periodo; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados difieren de lo reportado por Huaman (2023), quien, también bajo condiciones de Omaya-Pichari, encontró diferencias en los días a la floración al evaluar métodos de propagación, variedades y dosis de hidroabsorbente. Las plantas procedentes de

cámara térmica alcanzaron la floración a los 257.17 días, mientras que las propagadas mediante hijuelos lo hicieron a los 250.25 días. Asimismo, la variedad Isla Maleño registró 255.37 días y la variedad Ordinario 252.33 días. Para el factor hidroabsorbente, se reportaron 257.29 días con 20 g, 256.13 días con 50 g y 247.48 días sin hidroabsorbente. En contraste, en la presente investigación los tratamientos variaron entre 178.58 y 196.58 días y no presentaron diferencias estadísticas por efecto de la omisión e inclusión de NPK.

3.1.2. Días a la cosecha de racimo (días)

Tabla 3.3.

Análisis de variancia (ANVA) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	305.922	2	152.961	5.858	0.0142	*
Tratamientos	687.792	7	98.256	3.763	0.0167	*
Nitrógeno (N)	145.042	1	145.042	5.555	0.0335	*
Fósforo (P)	290.51	1	290.51	11.127	0.0049	**
Potasio (K)	3.01	1	3.01	0.115	0.7392	ns
N x P	55.51	1	55.51	2.126	0.1669	ns
N x K	17.51	1	17.51	0.671	0.4265	ns
P x K	176.042	1	176.042	6.742	0.0211	*
N x P x K	0.167	1	0.167	0.006	0.9375	ns
Error	365.536	14	26.11			
Total	1359.25	23				
CV	1.85%					

La tabla 3.3 del análisis de variancia muestra diferencias significativas entre bloques para los días a la cosecha del racimo de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales influyeron en la duración del periodo comprendido entre la instalación y la cosecha.

Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK presentaron diferencias significativas (p=0.0167), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el número de días requerido para alcanzar la cosecha.

En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto significativo (p=0.0335), mientras que el fósforo mostró un efecto altamente significativo (p=0.0049). Estos

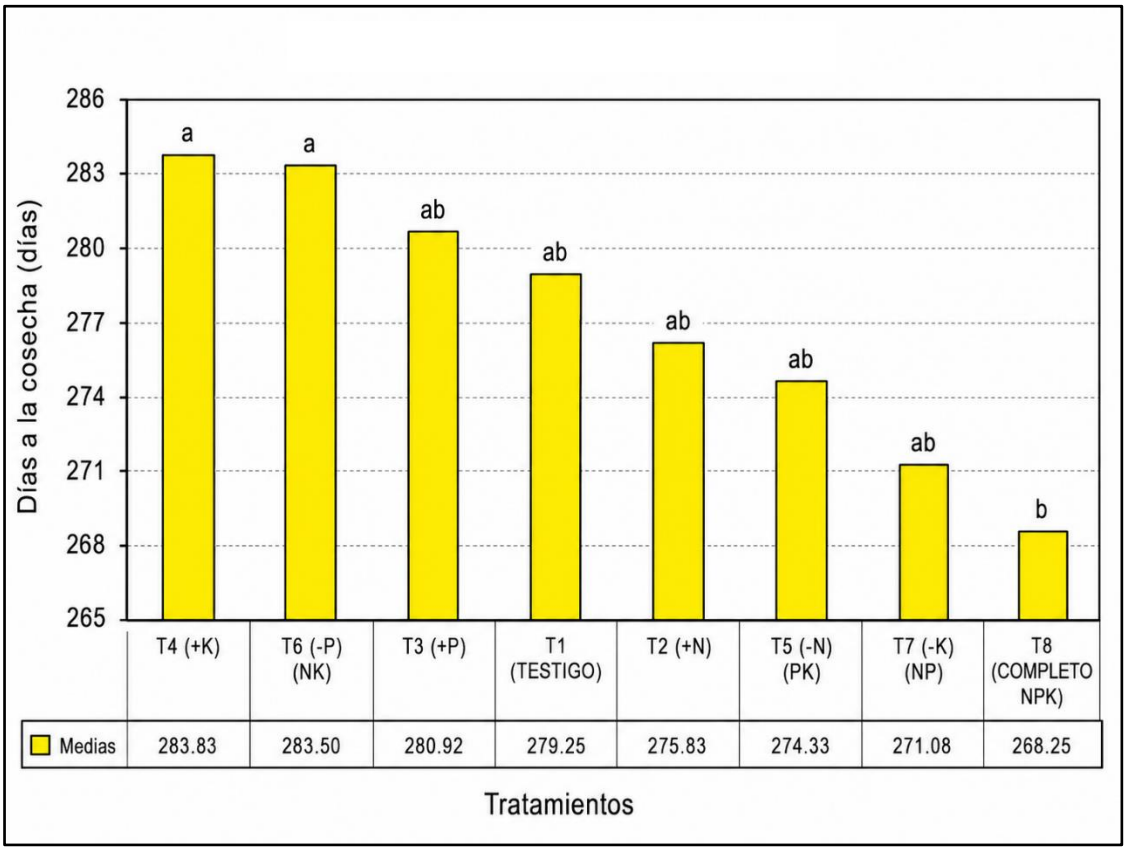
resultados indican que la presencia o ausencia de ambos nutrientes estuvo relacionada con la duración del ciclo hasta la cosecha.

El efecto principal del potasio no fue significativo (p=0.7392). Sin embargo, la interacción entre fósforo y potasio resultó significativa (p=0.0211), lo que indica que la respuesta del fósforo dependió de la presencia o ausencia del potasio, o viceversa. Las interacciones N x P, N x K y N x P x K no presentaron significación estadística.

El coeficiente de variación fue de 1.85 %, valor que indica una buena precisión experimental y una reducida variabilidad de los resultados dentro de los bloques.

Figura 3.1.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.1 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para los días a la cosecha de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó la cosecha más temprana con 268.25

días y se ubicó en el grupo estadístico “b”. Los tratamientos T3, T1, T2, T5 y T7 presentaron valores intermedios entre 271.08 y 280.92 días, conformando el grupo “ab”. Por otro lado, T6, correspondiente a la omisión de fósforo, y T4, inclusión de potasio, registraron los mayores periodos con 283.50 y 283.83 días, respectivamente, y se ubicaron en el grupo “a”. Entre T8 y T4 se presentó una diferencia de 15.58 días, equivalente aproximadamente a 5.49 % respecto al mayor periodo, evidenciando una mayor precocidad del tratamiento completo NPK.

Estos resultados difieren de lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009), quienes en banano ‘Williams’ registraron 428.67 días en el tratamiento sin fertilización y 450.33, 441.67 y 423.33 días con diferentes niveles de NPK, sin encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos. Asimismo, Al-Busaidi (2013) obtuvo 339 días hasta la cosecha con NPK más micronutrientes aplicado en suelo mejorado, mientras que en suelo salino algunos tratamientos requirieron entre 453 y 494 días. En contraste, en la presente investigación los tratamientos variaron entre 268.25 y 283.83 días y presentaron diferencias estadísticas significativas. Estas diferencias pueden atribuirse al material vegetal, las condiciones del suelo y el manejo de la fertilización, factores que pueden modificar la duración del ciclo productivo del banano.

3.1.3. Longitud de dedos (cm)

Tabla 3.4.

Análisis de variancia (ANVA) de longitud de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	1.066	2	0.533	0.189	0.8299	ns
Tratamientos	24.792	7	3.542	1.255	0.3388	ns
Nitrógeno (N)	5.51	1	5.51	1.952	0.1841	ns
Fósforo (P)	0.51	1	0.51	0.181	0.6771	ns
Potasio (K)	1.76	1	1.76	0.624	0.4429	ns
N x P	12.76	1	12.76	4.521	0.0518	ns
N x K	0.042	1	0.042	0.015	0.905	ns
P x K	4.167	1	4.167	1.476	0.2445	ns
N x P x K	0.042	1	0.042	0.015	0.905	ns
Error	39.517	14	2.823			
Total	65.375	23				
CV	7.81%					

La tabla 3.4 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para la longitud de dedos de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en la longitud de los frutos. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK no presentaron diferencias significativas (p=0.3388), lo que señala que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una respuesta diferenciada en la longitud de los dedos de plátano. En la descomposición factorial, el nitrógeno, fósforo y potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Estos resultados indican que la presencia o ausencia individual de estos nutrientes no estuvo relacionada estadísticamente con la longitud de los frutos. Las interacciones N x K, P x K y N x P x K tampoco presentaron significación estadística. La interacción N x P registró un valor de p=0.0518, cercano al nivel de significación de 5 %; sin embargo, al ser ligeramente superior a 0.05, fue considerada no significativa. El coeficiente de variación fue de 7.81 %, valor que indica una precisión experimental aceptable y una variabilidad relativamente baja de los resultados dentro de los bloques.

Tabla 3.5.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de longitud de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Longitud promedio (pulgadas)	Tukey
T4	Inclusión de potasio	22.63	a
T7	Omisión de potasio	22.58	a
T1	Testigo sin NPK	22.5	a
T3	Inclusión de fósforo	22.08	a
T8	Tratamiento completo NPK	21.21	a
T5	Omisión de nitrógeno	20.71	a
T6	Omisión de fósforo	20.38	a
T2	Inclusión de nitrógeno	19.92	a

En la Tabla 3.5 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística “a”, indicando que no existieron diferencias significativas para la longitud de los dedos de *Musa balbisiana*. Numéricamente, el tratamiento T4, correspondiente a la inclusión de potasio, presentó el mayor promedio con 22.63 pulgadas, seguido de T7, omisión de potasio,

y T1, testigo sin NPK, con 22.58 y 22.50 pulgadas, respectivamente. Los tratamientos T3 y T8 alcanzaron valores intermedios de 22.08 y 21.21 pulgadas, mientras que T5, T6 y T2 registraron 20.71, 20.38 y 19.92 pulgadas, respectivamente. Entre T4 y T2 se presentó una diferencia de 2.71 pulgadas, equivalente aproximadamente a 11.98 % respecto al mayor valor; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009), quienes en banano 'Williams' registraron longitudes de 13.70 cm en el tratamiento sin fertilización y de 15.72, 16.91 y 15.21 cm con diferentes niveles de NPK. Aunque observaron variaciones numéricas entre los tratamientos, estas tampoco fueron estadísticamente significativas. En la presente investigación ocurrió un comportamiento semejante, debido a que el incremento o la combinación de NPK no produjo un aumento estadísticamente comprobable en la longitud de los dedos. Esta coincidencia indica que la longitud del fruto puede presentar variaciones numéricas frente al manejo nutricional sin que estas necesariamente representen una respuesta significativa a la fertilización.

3.1.4. Diámetro de dedos (cm)

Tabla 3.6.

Análisis de variancia (ANVA) de diámetro de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	5.408	2	2.704	0.247	0.7844	ns
Tratamientos	93.598	7	13.371	1.222	0.3536	ns
Nitrógeno (N)	41.016	1	41.016	3.749	0.0733	ns
Fósforo (P)	7.454	1	7.454	0.681	0.423	ns
Potasio (K)	4.704	1	4.704	0.43	0.5226	ns
N x P	8.912	1	8.912	0.815	0.382	ns
N x K	0.146	1	0.146	0.013	0.9095	ns
P x K	27.896	1	27.896	2.55	0.1326	ns
N x P x K	3.469	1	3.469	0.317	0.5823	ns
Error	153.165	14	10.94			
Total	252.171	23				
CV	7.34%					

La tabla 3.6 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el diámetro de dedos de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones

existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el diámetro de los frutos. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK no presentaron diferencias significativas (p=0.3536), lo que señala que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una respuesta diferenciada en el diámetro de dedos de plátano. En la descomposición factorial, el nitrógeno, fósforo y potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Estos resultados indican que la presencia o ausencia individual de estos nutrientes no estuvo relacionada estadísticamente con el diámetro de los frutos. Las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K tampoco presentaron significación estadística. El efecto del nitrógeno fue el que registró el menor valor de probabilidad (p=0.0733); sin embargo, al ser superior a 0.05, fue considerado no significativo.

El coeficiente de variación fue de 7.34 %, valor que indica una precisión experimental aceptable y una variabilidad relativamente baja de los resultados dentro de los bloques.

Tabla 3.7.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de diámetro de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Diámetro promedio (cm)	Tukey
T_4	Inclusión de potasio	49.54	a
T_3	Inclusión de fósforo	46.17	a
T_1	Testigo sin NPK	45.58	a
T_6	Omisión de fósforo	44.79	a
T_5	Omisión de nitrógeno	44.29	a
T_7	Omisión de potasio	44.17	a
T_8	Tratamiento completo NPK	43.50	a
T_2	Inclusión de nitrógeno	42.67	a

En la Tabla 3.7 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística “a”, indicando que no existieron diferencias significativas para el diámetro de los dedos de *Musa balbisiana*. Numéricamente, el tratamiento T4, correspondiente a la inclusión de potasio, presentó el mayor promedio con 49.54 cm, seguido de T3, inclusión de fósforo, y T1, testigo sin NPK, con 46.17 y 45.58 cm, respectivamente. Los tratamientos T6, T5, T7 y T8 alcanzaron valores intermedios de 44.79, 44.29, 44.17 y 43.50 cm, mientras que T2, inclusión

de nitrógeno, registró el menor promedio con 42.67 cm. Entre T4 y T2 se presentó una diferencia de 6.87 cm, equivalente aproximadamente a 13.87 % respecto al mayor valor; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009)**,** quienes en banano 'Williams' registraron diámetros de 2.72 cm en el tratamiento sin fertilización y de 2.96, 3.21 y 3.10 cm con diferentes niveles de NPK. Aunque se observaron incrementos numéricos con la fertilización, las diferencias tampoco fueron estadísticamente significativas. En la presente investigación se observó un comportamiento similar, debido a que las distintas combinaciones de NPK generaron variaciones en el diámetro de los dedos, pero estas no fueron suficientes para demostrar un efecto estadístico de la fertilización sobre esta característica del fruto.

3.1.5. Peso comercial de racimo (kg)

Tabla 3.8.

Análisis de variancia (ANVA) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	0.083	2	0.042	0.083	0.9207	ns
Tratamientos	50.307	7	7.187	14.326	0.000021	**
Nitrógeno (N)	48.167	1	48.167	96.013	<0.0001	**
Fósforo (P)	0.667	1	0.667	1.329	0.2683	ns
Potasio (K)	0.807	1	0.807	1.608	0.2255	ns
N x P	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
N x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
P x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
N x P x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
Error	7.023	14	0.502			
Total	57.413	23				
CV	4.22%					

La tabla 3.8 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el peso comercial del racimo de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el peso comercial del racimo. Los tratamientos de omisión e inclusión de

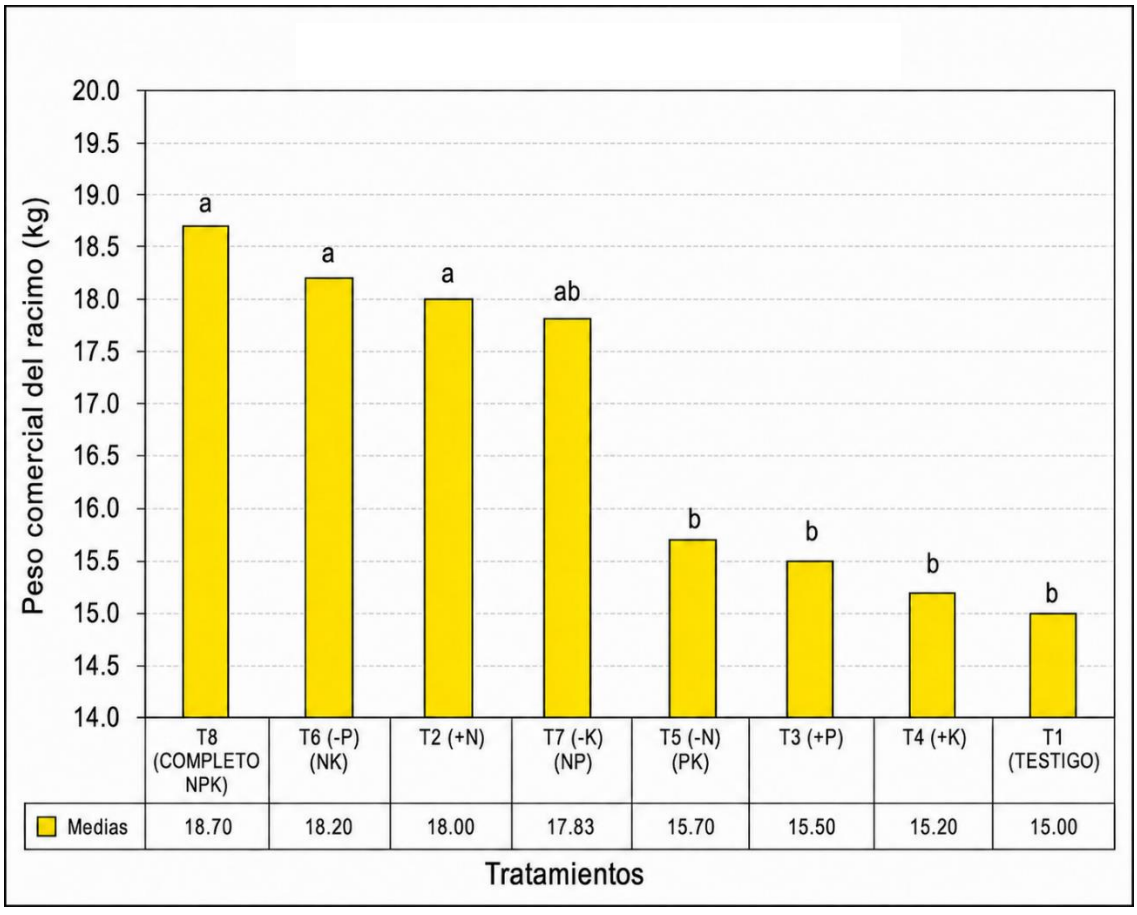
NPK presentaron diferencias altamente significativas (p=0.000021), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el peso comercial del racimo.

En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto altamente significativo (p<0.0001). Este resultado indica que la presencia o ausencia de nitrógeno estuvo relacionada con cambios estadísticamente comprobables en el peso comercial del racimo. El fósforo y el potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Asimismo, las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K no mostraron significación estadística, lo que indica que la respuesta de los nutrientes se manifestó principalmente a través del efecto individual del nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 4.22 %, valor que indica una buena precisión experimental y una baja variabilidad de los resultados dentro de los bloques.

Figura 3.2.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para el peso comercial del racimo de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó el mayor promedio con 18.70 kg, seguido de T6, omisión de fósforo, y T2, inclusión de nitrógeno, con 18.20 y 18.00 kg, respectivamente, ubicándose en el grupo estadístico "a". El tratamiento T7, omisión de potasio, alcanzó 17.83 kg y se ubicó en el grupo "ab". Por otro lado, T5, T3, T4 y T1 registraron los menores valores con 15.70, 15.50, 15.20 y 15.00 kg, respectivamente, conformando el grupo "b". Entre T8 y T1 se presentó una diferencia de 3.70 kg, equivalente aproximadamente a 19.79 % respecto al mayor valor, evidenciando una mayor respuesta productiva con la aplicación completa de NPK.

Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009), quienes en banano 'Williams' obtuvieron 9.00 kg por racimo en el tratamiento sin fertilización y 10.45, 14.98 y 12.21 kg con diferentes niveles de NPK, observándose también un incremento del peso con la fertilización. Asimismo, Al-Busaidi (2013) registró aproximadamente 9.5 kg por racimo con NPK más micronutrientes aplicado alrededor de la planta en suelo mejorado y cerca de 5.9 kg cuando la misma combinación fue mezclada con el suelo. Por otro lado, Oriundo (2023) obtuvo resultados más próximos bajo condiciones de Pichari, con 20.41 kg mediante cinco aplicaciones de NPK y 17.09 kg con tres aplicaciones. Las diferencias entre los estudios pueden atribuirse al material vegetal, las dosis y formas de aplicación de los nutrientes y las condiciones agroecológicas; mientras que la mayor proximidad de los valores obtenidos en Pichari podría relacionarse con las condiciones ambientales similares donde se desarrollaron las investigaciones.

3.1.6. Rendimiento por hectárea (kg/ha^{-1})

Tabla 3.9.

Análisis de variancia (ANVA) de rendimiento por hectárea de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	300 833.33	2	150 416.67	0.083	0.9207	ns
Tratamientos	181 607 066.67	7	25 943 866.67	14.326	0.000021	**

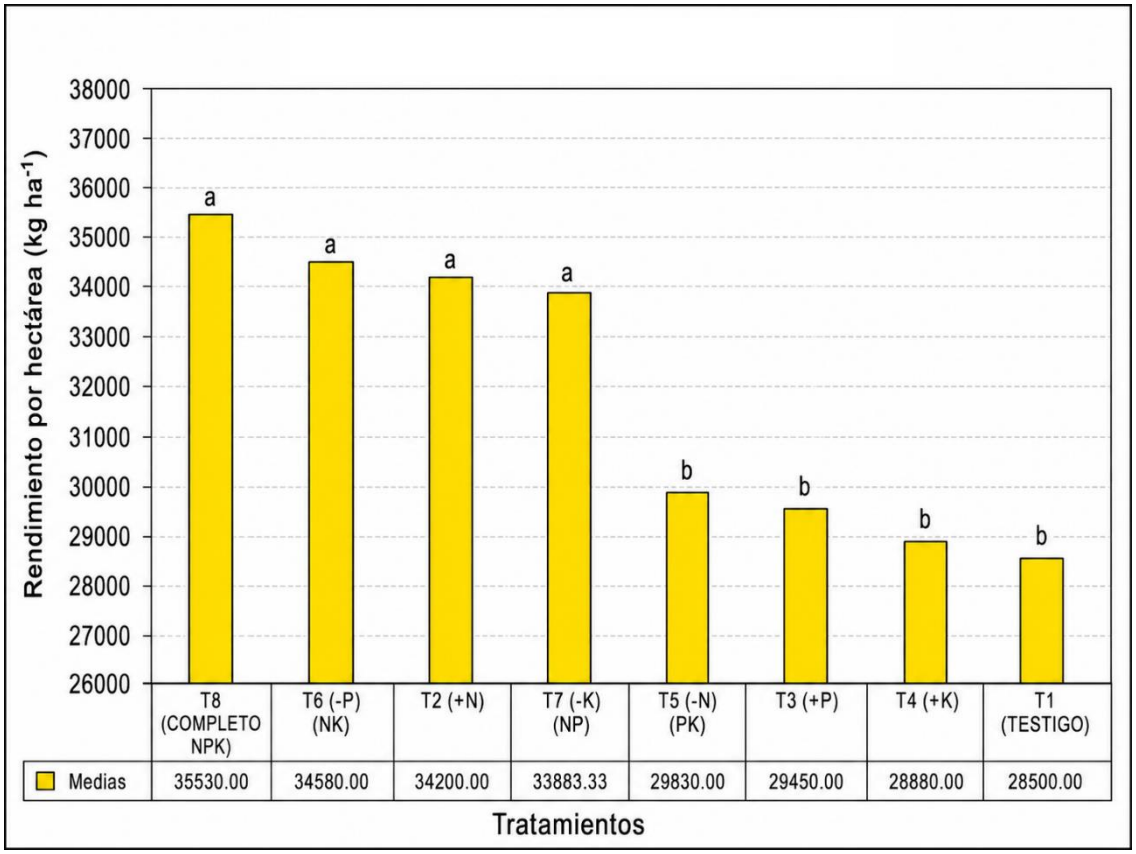
Nitrógeno (N)	173 881 666.67	1	173 881 666.67	96.013	<0.0001	**
Fósforo (P)	2 406 666.67	1	2 406 666.67	1.329	0.2683	ns
Potasio (K)	2 912 066.67	1	2 912 066.67	1.608	0.2255	ns
N x P	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
N x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
P x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
N x P x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
Error experimental	25 354 233.33	14	1 811 016.67			
Total	207 262 133.33	23				
CV	4.22%					

La tabla 3.9 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el rendimiento por hectárea de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el rendimiento del cultivo. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK presentaron diferencias altamente significativas ($p=0.000021$), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el rendimiento por hectárea. En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto altamente significativo ($p<0.0001$). Este resultado indica que la presencia o ausencia de nitrógeno estuvo relacionada con cambios estadísticamente comprobables en el rendimiento del cultivo. El fósforo y el potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Asimismo, las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K no mostraron significación estadística, lo que indica que la respuesta de los nutrientes se manifestó principalmente a través del efecto individual del nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 4.22 %, valor que indica una buena precisión experimental y una baja variabilidad de los resultados dentro de los bloques.

Figura 3.3.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de rendimiento kg/ha^{-1} de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para el rendimiento por hectárea de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó el mayor rendimiento con 35 530.00 kg ha^{-1}, seguido de T6, T2 y T7 con 34 580.00, 34 200.00 y 33 883.33 kg ha^{-1}, respectivamente, conformando el grupo estadístico “a”. Por otro lado, T5, T3, T4 y T1 registraron los menores rendimientos con 29 830.00, 29 450.00, 28 880.00 y 28 500.00 kg ha^{-1}, respectivamente, y se ubicaron en el grupo “b”. Entre T_8 y T_1 se presentó una diferencia de 7 030.00 kg ha^{-1}, equivalente aproximadamente a 19.79 % respecto al mayor rendimiento, evidenciando una mayor respuesta productiva con el tratamiento completo NPK.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Ohagan et al. (2023), quienes en banano ‘Saba’ obtuvieron 10.98 t ha^{-1} con la aplicación de 270-180-540 de N-P-K, mientras que el tratamiento sin fertilización alcanzó 7.78 t ha^{-1}, mostrando también una mayor producción con

el suministro de nutrientes. Asimismo, Al-Busaidi (2013) registró aproximadamente 10.6 t ha^{-1} con NPK más micronutrientes aplicado alrededor de las plantas en suelo mejorado y cerca de 6.6 t ha^{-1} cuando la misma combinación fue mezclada con el suelo. Por otro lado, Oriundo (2023) obtuvo bajo condiciones de Pichari rendimientos de 38 769.80 kg ha^{-1} con cinco aplicaciones de NPK y 32 481.13 kg ha^{-1} con tres aplicaciones. Aunque los valores absolutos difieren entre los estudios, todos muestran que el rendimiento responde al manejo nutricional; estas diferencias pueden atribuirse al material vegetal, las dosis y forma de aplicación de los fertilizantes, así como a las condiciones edáficas y agroecológicas de cada zona.

3.2. Respuesta de las parcelas de omisión e inclusión de NPK

3.2.1. Respuesta de las parcelas de omisión

Tabla 3.10.

Rendimiento relativo y pérdida de rendimiento por omisión de N, P y K en Musa balbisiana

Parcela	Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento relativo (%)	Pérdida de rendimiento (%)
Tratamiento completo	T8, NPK	35 530.00	100	0
Omisión de N	T5, PK	29 830.00	83.96	16.04
Omisión de P	T6, NK	34 580.00	97.33	2.67
Omisión de K	T7, NP	33 883.33	95.37	4.63

La tabla 3.10 muestra que la omisión de nitrógeno produjo la mayor reducción del rendimiento de *Musa balbisiana*. El tratamiento T5 alcanzó 29 830.00 kg ha^{-1}, equivalente al 83.96 % del rendimiento obtenido con el tratamiento completo NPK. Esto representó una pérdida de 16.04 %. La omisión de potasio, correspondiente al tratamiento T7, generó una pérdida de 4.63 %, mientras que la omisión de fósforo, representada por T6, produjo la menor reducción, con 2.67 %. En consecuencia, el nitrógeno fue el nutriente cuya ausencia ocasionó la mayor disminución del rendimiento, seguido del potasio y del fósforo.

3.2.2. Respuesta de las parcelas de inclusión

Tabla 3.11.

Rendimiento relativo e incremento de rendimiento por inclusión de N, P y K en Musa balbisiana

Parcela	Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento relativo (%)	Incremento de rendimiento (%)
Testigo sin NPK	T1	28 500.00	100	0
Inclusión de N	T2	34 200.00	120	20
Inclusión de P	T3	29 450.00	103.33	3.33
Inclusión de K	T4	28 880.00	101.33	1.33

La tabla 3.11 muestra que la inclusión individual de nitrógeno produjo el mayor incremento del rendimiento. El tratamiento T2 alcanzó 34 200.00 kg ha^{-1}, equivalente al 120.00 % del rendimiento del testigo, lo que representó un incremento de 20.00 %. La inclusión de fósforo incrementó el rendimiento en 3.33 %, mientras que la aplicación individual de potasio produjo un aumento de 1.33 % respecto al tratamiento sin NPK. Estos resultados indican que el cultivo presentó una mayor respuesta a la incorporación de nitrógeno, mientras que las inclusiones de fósforo y potasio generaron incrementos menores.

3.2.3. Identificación del nutriente limitante

Tabla 3.12.

Comparación de la respuesta por omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana

Nutriente	Pérdida por omisión (%)	Incremento por inclusión (%)	Orden de limitación
Nitrógeno	16.04	20	1
Potasio	4.63	1.33	2
Fósforo	2.67	3.33	3

En la tabla 3.12 el análisis conjunto de las parcelas de omisión e inclusión evidencia que el nitrógeno fue el nutriente de mayor limitación para el rendimiento de *Musa balbisiana*. Su omisión ocasionó una pérdida de 16.04 %, mientras que su inclusión individual produjo un incremento de 20.00 % respecto al testigo. El potasio ocupó el segundo lugar en el orden de

limitación, debido a que su omisión generó una reducción de 4.63 %. El fósforo presentó la menor pérdida por omisión, con 2.67 %, aunque su inclusión produjo un incremento de 3.33 %.

La mayor respuesta observada al nitrógeno guarda relación con las condiciones nutricionales iniciales del suelo experimental, que presentó 0.06 % de nitrógeno total, clasificado como pobre. Esta condición permite explicar que la omisión de N ocasionara la mayor reducción del rendimiento, mientras que su incorporación individual produjera el mayor incremento respecto al tratamiento testigo. En consecuencia, bajo las condiciones del ensayo, el nitrógeno presentó la mayor influencia sobre la respuesta productiva de *Musa balbisiana*.

Este comportamiento coincide con Nyombi et al. (2010), quienes señalaron que la respuesta del banano a la fertilización mineral depende de la disponibilidad inicial de nutrientes del suelo y de las condiciones ambientales. Asimismo, Villaseñor-Ortiz et al. (2022a) evidenciaron la importancia del diagnóstico nutricional del nitrógeno y potasio para interpretar la respuesta productiva del banano. Por tanto, la reducción obtenida al omitir nitrógeno no corresponde únicamente a una diferencia numérica entre tratamientos, sino que se relaciona con la baja disponibilidad inicial de este elemento en el suelo experimental.

Tabla 3.13.

Coeficientes del modelo polinomial para el rendimiento de Musa balbisiana. Pichari, Cusco

Parámetro	Valor est.	E. estándar	T*	Pr > |T|
Intercepto	28658.33375	671.18043	42.7	<0.0001 **
N	17.94444	2.929272	6.13	<0.0001 **
P_2O_5	6.33333	8.787815	0.72	0.4809 ns
K_2O	0.09743	1.351971	0.07	0.9434 ns
N*P_2O_5	-0.02111	0.033824	-0.62	0.5408 ns
N*K_2O	0.00325	0.005204	0.62	0.5408 ns
P_2O_5*K_2O	0.00974	0.015611	0.62	0.5408 ns

En la Tabla 3.13 se observa que el nitrógeno presentó el mayor coeficiente lineal positivo, con un valor de 17.94444, y fue el único nutriente con efecto altamente significativo ($p<0.0001$). Este resultado indica que el nitrógeno presentó la mayor contribución al incremento del rendimiento de *Musa balbisiana*. En contraste, el P_2O_5 y el K_2O mostraron coeficientes positivos de 6.33333 y 0.09743, respectivamente, pero sus efectos no fueron estadísticamente significativos.

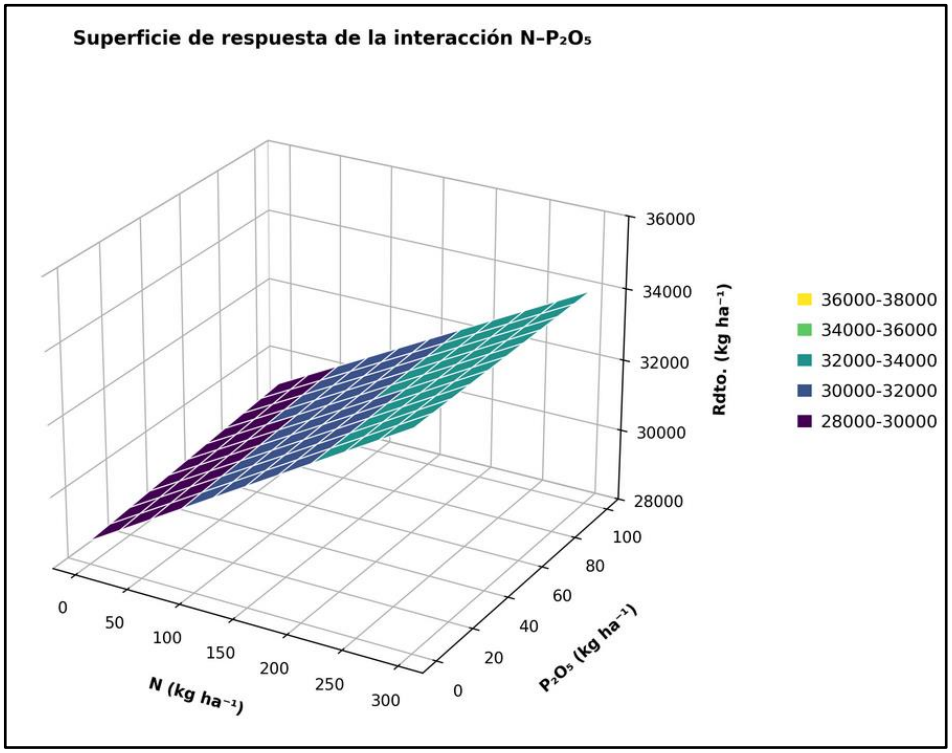
Las interacciones N x P_2O_5, N x K_2O y P_2O_5 x K_2O presentaron coeficientes de −0.02111, 0.00325 y 0.00974, respectivamente, sin alcanzar significación estadística. Por tanto, la respuesta productiva estuvo determinada principalmente por el efecto individual del nitrógeno, mientras que las interacciones dobles entre nutrientes tuvieron una contribución de menor magnitud. Este comportamiento concuerda con el análisis de variancia del rendimiento, donde el nitrógeno presentó un efecto altamente significativo, mientras que el P_2O_5, el K_2O y las interacciones no fueron significativos.

Considerando el modelo polinomial para el rendimiento, la ecuación obedece al modelo: $Y= 28658.33+17.94444N+6.33333P_2O_5+0.09743K_2O-0.02111N*P_2O^5+0.00325N*K_2O+0.00974P_2O_5*K_2O$.

El coeficiente de determinación (R^2) de 87.33 % evidencia un ajuste adecuado del modelo para describir el comportamiento del rendimiento dentro de las dosis evaluadas. Debido a que el experimento consideró únicamente niveles de ausencia y presencia de cada nutriente, el modelo debe utilizarse para interpretar la respuesta dentro del rango experimental estudiado, evitando extrapolaciones hacia dosis diferentes a las evaluadas.

Figura 3.4.

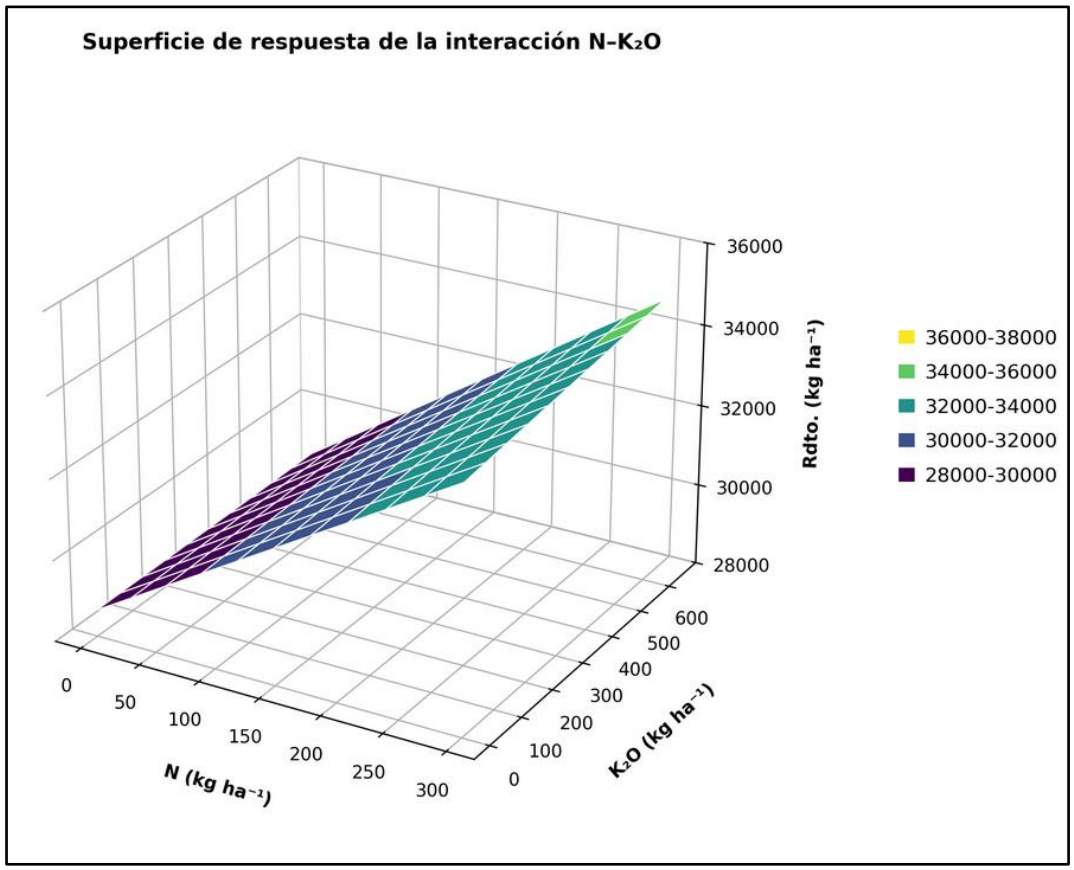
Superficie de respuesta de la interacción N-P_2O_5



En la Figura 3.4 se presenta la superficie de respuesta de la interacción entre N y P_2O_5 sobre el rendimiento de *Musa balbisiana*, manteniendo el K_2O en ausencia. Se observa que el rendimiento aumenta principalmente conforme se incrementa la dosis de nitrógeno, evidenciándose una mayor pendiente en dirección de este nutriente. El P_2O_5 presenta una respuesta positiva de menor magnitud, mientras que la interacción N*P_2O_5 mostró un coeficiente negativo de -0.02111 y no significativo. En consecuencia, la superficie evidencia que el incremento del rendimiento estuvo determinado principalmente por el efecto del nitrógeno, mientras que el aporte adicional del P_2O_5 fue menor dentro de las dosis evaluadas.

Figura 3.5.

Superficie de respuesta de la interacción N-K_2O

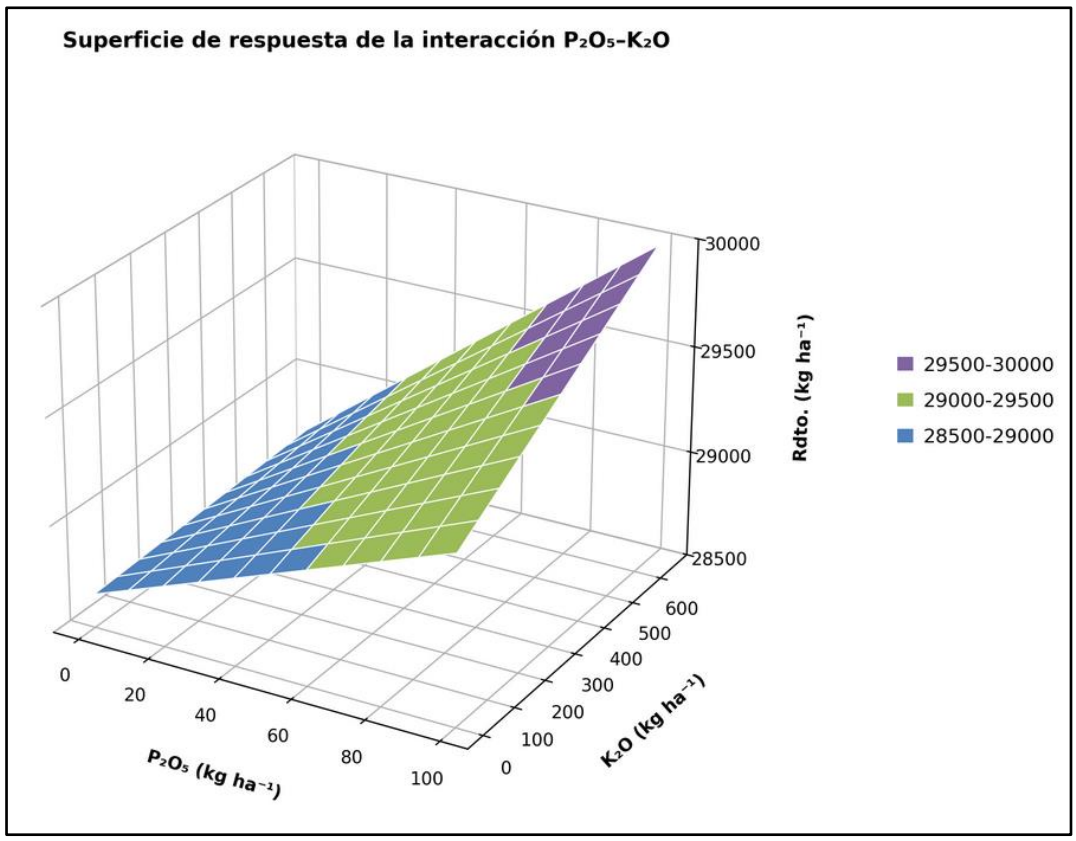


En la Figura 3.5 se presenta la superficie de respuesta de la interacción entre N y K_2O sobre el rendimiento de *Musa balbisiana*, manteniendo el P_2O_5 en ausencia. La superficie muestra un incremento progresivo del rendimiento a medida que aumenta principalmente la dosis de nitrógeno. El K_2O también produjo una tendencia positiva, aunque de menor magnitud. La interacción N*K_2O presentó un coeficiente positivo de 0.00325, pero no alcanzó

significación estadística. Por tanto, el comportamiento de la superficie confirma que el nitrógeno ejerció la mayor influencia sobre el rendimiento, mientras que la contribución del K_2O y de su interacción con N fue comparativamente menor.

Figura 3.6.

Superficie de respuesta de la interacción P_2O_5-K_2O

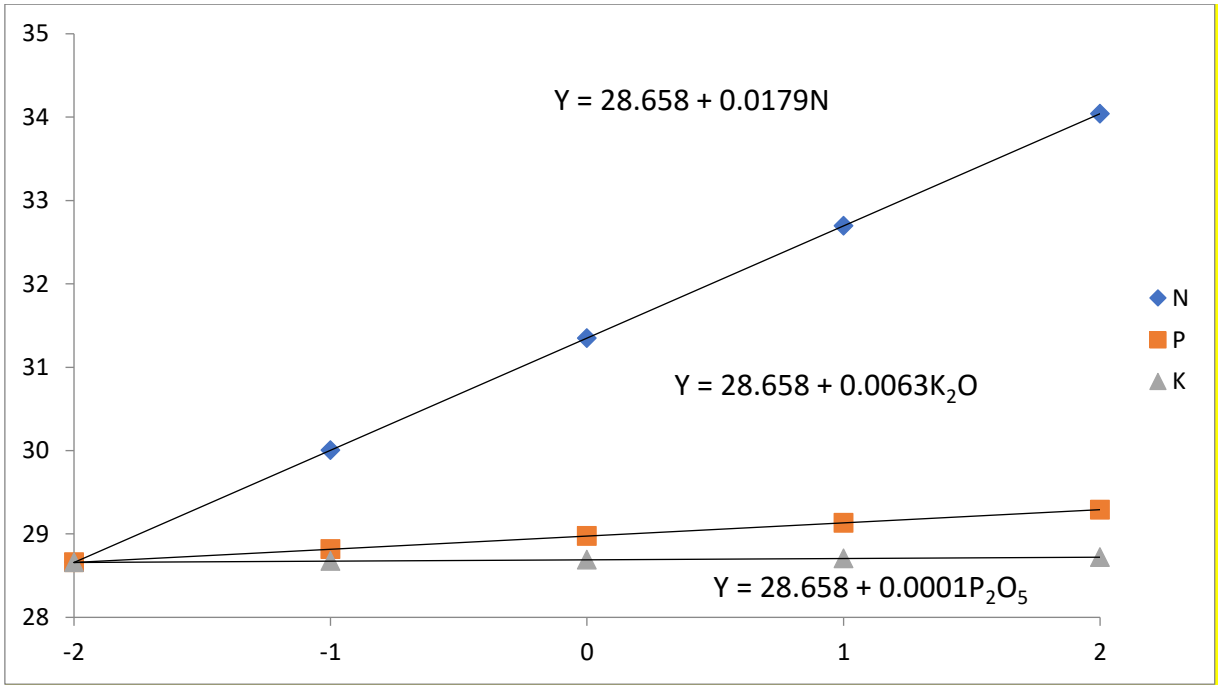


En la Figura 3.6 se presenta la superficie de respuesta de la interacción entre P_2O_5 y K_2O sobre el rendimiento de *Musa balbisiana*, manteniendo el nitrógeno en ausencia. Se observa una tendencia ascendente conforme aumentan las dosis de P_2O_5 y K_2O; sin embargo, la variación del rendimiento es menor que la observada en las superficies donde interviene el nitrógeno. La interacción P_2O_5*K_2O presentó un coeficiente positivo de 0.00974, aunque sin significación estadística. En consecuencia, ambos nutrientes mostraron una respuesta positiva moderada, pero su contribución conjunta al rendimiento fue menor que el efecto individual del nitrógeno.

Los valores de la pendiente en la figura 3.7 (Influencia de dosis crecientes de N, P y K, en el rendimiento de *Musa balbisiana*, en ausencia de los otros dos nutrientes), correspondientes a la localidad de Pichari, indican que la respuesta del cultivo al abonamiento con dosis crecientes de N es mayor, que la respuesta del cultivo a dosis crecientes de K; en el caso de P la respuesta es mínima. Para el caso de N, se entiende que por cada kg de N/ha^{-1} que se aporta al suelo el rendimiento se incrementa en 17.9 kg de fruta/ha; en el caso de potasio, cada kg de K2O/ha permite un incremento de 6.3 kg de fruta/ha. El aporte de P2O5 es el que menos se manifiesta, entendiendo que por cada kg de P2O5/ha^{-1} el incremento en el rendimiento de fruta es de apenas 0.1 kg/ha^{-1}.

Figura 3.7

Influencia de N, P y K, en el rendimiento de la cebolla cuando los otros dos factores están ausentes.



3.3. Rentabilidad

Tabla 3.14.

Análisis económico de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana, ordenados de mayor a menor rentabilidad

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Costo de producción (S/ ha^{-1})	Precio (S/ kg^{-1})	Valor bruto de producción (S/ ha^{-1})	Utilidad neta (S/ ha^{-1})	Rentabilidad (%)
T2	34 200.00	12 529.85	1.91	65 322.00	52 792.15	**421.33**
T7	33 883.33	12 869.85	1.91	64 717.16	51 847.31	**402.86**
T8	35 530.00	14 299.85	1.91	67 862.30	53 562.45	**374.57**
T6	34 580.00	13 959.85	1.91	66 047.80	52 087.95	**373.13**
T3	29 450.00	11 939.85	1.91	56 249.50	44 309.65	**371.11**
T1	28 500.00	11 600.00	1.91	54 435.00	42 835.00	**369.27**
T5	29 830.00	13 369.85	1.91	56 975.30	43 605.45	**326.15**
T4	28 880.00	13 029.85	1.91	55 160.80	42 130.95	**323.34**

La tabla 3.14 de análisis económico, ordenada de mayor a menor rentabilidad, muestra que el tratamiento T_2, correspondiente a la inclusión individual de nitrógeno, presentó la mayor rentabilidad, con 421.33 %, seguido del tratamiento T_7, omisión de potasio, con 402.86 %. Estos resultados indican que ambos tratamientos generaron los mayores beneficios en relación con la inversión realizada. El tratamiento T_8, correspondiente al tratamiento completo NPK, ocupó el tercer lugar en rentabilidad con 374.57 %, aunque presentó el mayor valor bruto de producción (S/ 67 862.30) y la mayor utilidad neta (S/53 562.45ha^{-1}). Esto indica que, si bien fue el tratamiento más productivo, su costo de producción también fue el más alto, lo que redujo su rentabilidad relativa frente a T_2.

Los tratamientos T_6, T_3 y T_1 mostraron rentabilidades intermedias de 373.13 %, 371.11 % y 369.27 %, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos T_5 y T_4 registraron las menores rentabilidades, con 326.15 % y 323.34 %, debido a que sus costos de producción fueron relativamente elevados en relación con los rendimientos alcanzados. En consecuencia, el tratamiento T_2 fue el más conveniente desde el punto de vista económico, mientras que el tratamiento T_8 destacó por presentar la mayor producción y la mayor utilidad neta. Esto confirma que el tratamiento de mayor rendimiento no necesariamente corresponde al tratamiento de mayor rentabilidad porcentual.

La mayor rentabilidad alcanzada por T_2 se explica por la relación entre la respuesta productiva obtenida y el costo requerido para generar dicho rendimiento. El tratamiento T_2 produjo 34 200.00 kg ha^{-1} con un costo de producción de S/ 12 529.85 por hectárea, mientras que T_8 alcanzó 35 530.00 kg ha^{-1} con un costo de S/ 14 299.85 por hectárea. En consecuencia, T_8 incrementó el rendimiento en 1 330.00 kg ha^{-1} respecto a T_2, pero requirió una inversión adicional de S/ 1 770.00 por hectárea.

A pesar de esta mayor inversión, la utilidad neta de T_8 solamente superó a la de T_2 en S/ 770.30 por hectárea. Por ello, T_8 presentó la mayor utilidad absoluta, pero T_2 alcanzó una mayor eficiencia económica respecto al capital invertido. Este comportamiento evidencia que el incremento del rendimiento no necesariamente genera un aumento proporcional de la rentabilidad cuando el costo adicional de fertilización también se incrementa.

La participación de los fertilizantes dentro de los costos también explica las diferencias observadas entre tratamientos. En T_2, el nitrato de amonio representó un costo de S/ 930.00 por hectárea, equivalente aproximadamente al 7.42 % del costo total de producción. En T_8, la aplicación conjunta de nitrato de amonio, superfosfato triple y cloruro de potasio representó S/ 2 700.00 por hectárea, equivalente aproximadamente al 18.88 % del costo total. Por esta razón, aunque el tratamiento completo produjo el mayor rendimiento, el mayor costo de fertilización redujo su rentabilidad relativa frente al tratamiento T_2.

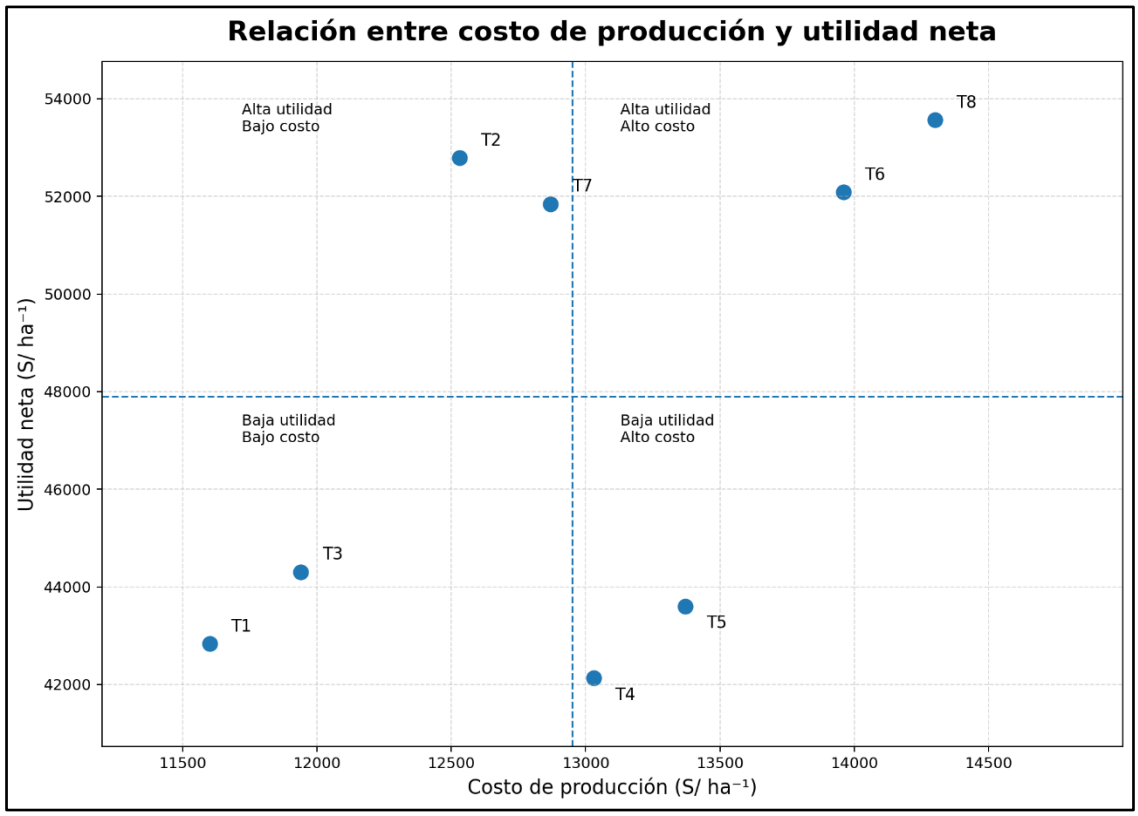
Ohagan et al. (2023) encontraron que la dosis de NPK que produjo el mayor rendimiento, con 10.98 t ha^{-1}, no presentó necesariamente el mejor retorno económico, debido al mayor costo de los fertilizantes. Este comportamiento es similar al obtenido en la presente investigación, donde T_8 generó la mayor producción y utilidad neta, pero T_2 presentó la mayor rentabilidad porcentual. En Oriundo (2023) encontró que incrementar de tres a cinco aplicaciones de NPK elevó el rendimiento desde 32 481.13 hasta 38 769.80 kg ha^{-1}. En Isla Maleño, este aumento mejoró la relación beneficio/costo desde 1.31 hasta 1.42. En Hartón ocurrió un comportamiento diferente, debido a que la relación beneficio/costo disminuyó de 0.88 con tres aplicaciones a 0.76 con cinco. Estos resultados muestran que aumentar la fertilización puede mejorar la producción sin garantizar una mayor rentabilidad en todos los cultivares. Para completar en Espinoza (2020) evaluó en Pichari la fertilización NPK y el abonamiento con guano de isla más sulfato de potasio en Isla Maleño y Williams. Los rendimientos estuvieron entre 23 448 y 28 127 kg ha^{-1}; sin embargo, durante el primer año se obtuvieron valores negativos de VAN y relaciones beneficio/costos inferiores a uno debido a

los costos de instalación y manejo. A diferencia de ese estudio, todos los tratamientos de la presente investigación produjeron utilidades y porcentajes de rentabilidad positivos.

Los valores de rentabilidad obtenidos corresponden a los precios de venta y costos registrados durante el periodo evaluado, por lo que pueden variar ante cambios en las condiciones de mercado. Un incremento en el precio del plátano favorecería principalmente a los tratamientos de mayor rendimiento, mientras que un aumento en el precio de los fertilizantes reduciría proporcionalmente la conveniencia de los tratamientos con mayor inversión en NPK. Asimismo, la respuesta económica puede modificarse según el sistema de producción, disponibilidad de mano de obra y nivel tecnológico empleado. Por ello, la rentabilidad determinada debe interpretarse bajo las condiciones productivas y económicas de Pichari durante el periodo de estudio, concordando con Ohagan et al. (2023) y Oriundo (2023), quienes evidenciaron que una mayor fertilización o productividad no garantiza necesariamente una mayor eficiencia económica.

Figura 3.7.

Matriz de costo de producción y utilidad neta de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana



La figura 3.7 presenta la relación entre el costo de producción y la utilidad neta de los tratamientos evaluados. Las líneas discontinuas corresponden a los valores promedio de ambas variables y dividen el gráfico en cuatro cuadrantes, lo que permite identificar los tratamientos con mayor o menor eficiencia económica. Los tratamientos T_2 y T_7 se ubicaron en el cuadrante de alta utilidad y bajo costo, por lo que mostraron el comportamiento económico más favorable. Entre ellos, T_2 destacó por alcanzar una utilidad neta de S/ 52 792.15 ha^{-1} con un costo de producción de S/ 12 529.85 ha^{-1}, mientras que T7 obtuvo una utilidad de S/ 51 847.31 ha^{-1} con un costo de S/ 12 869.85 ha^{-1}.

Los tratamientos T6 y T8 se ubicaron en el cuadrante de alta utilidad y alto costo. T_8 presentó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, pero también el mayor costo de producción, con S/ 14 299.85 ha^{-1}. T_6 mostró un comportamiento similar, con una utilidad elevada, aunque requirió una inversión mayor que T_2 y T_7.

Los tratamientos T_1 y T_3 se situaron en el cuadrante de baja utilidad y bajo costo. Esto indica que demandaron una menor inversión, pero también generaron beneficios netos inferiores al promedio general. Finalmente, los tratamientos T_4 y T_5 se ubicaron en el cuadrante de baja utilidad y alto costo, lo que evidencia la menor eficiencia económica entre los tratamientos evaluados. Estos tratamientos combinaron costos de producción relativamente altos con utilidades netas inferiores al promedio.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La omisión e inclusión de NPK influyó significativamente en el rendimiento de *Musa balbisiana*. El tratamiento T_8 (completo: N + P + K) alcanzó el mayor rendimiento con 35 530.00 kg ha^{-1}, mientras que T_1 (testigo: sin aplicación de NPK) obtuvo 28 500.00 kg ha^{-1}. La omisión de nitrógeno redujo el rendimiento en 16.04 %, mientras que su inclusión produjo un incremento de 20.00 % respecto al testigo, identificándose al nitrógeno como el nutriente de mayor limitación y estableciéndose el orden N > K > P.

- El tratamiento T_2 (+N: inclusión de nitrógeno) presentó la mayor rentabilidad económica con 421.33 % y una utilidad neta de S/ 52 792.15 ha^{-1}. El tratamiento T_8 (completo: N + P + K) alcanzó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, y una rentabilidad de 374.57 %; por tanto, T_2 (+N: inclusión de nitrógeno) presentó la mayor eficiencia económica respecto al capital invertido, mientras que T_8 (completo: N + P + K) destacó por su mayor producción y utilidad neta.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el análisis de suelo y la técnica de parcelas de omisión e inclusión antes de establecer un programa de fertilización para *Musa balbisiana* en Pichari. Debido a que el nitrógeno fue identificado como el nutriente de mayor limitación, su aplicación debe priorizarse y fraccionarse durante el ciclo del cultivo, evitando recomendar únicamente la combinación completa de NPK sin considerar la disponibilidad natural de nutrientes del terreno.

- Se recomienda validar los tratamientos T2 y T8 durante más de un ciclo productivo y en parcelas de productores de diferentes sectores de Pichari. La evaluación debe considerar variaciones en fertilidad del suelo, precipitación, precio de los fertilizantes y precio de venta del racimo, con la finalidad de confirmar si T2 mantiene la mayor rentabilidad y si T8 conserva la mayor productividad y utilidad neta bajo condiciones comerciales.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aba, S. C., Baiyeri, K. P., & Ortiz, R. (2021). Soil fertility dynamics and yield responses of four plantain genotypes to different nutrient management systems in Nsukka, southeastern Nigeria. *Fruits, 76*(3), 134–144. https://doi.org/10.17660/TH2021/76.3.4

Al-Busaidi, K. T. S. (2013). Effects of organic and inorganic fertilizers addition on growth and yield of banana (*Musa* AAA cv. Malindi) on a saline and non-saline soil in Oman. *Journal of Horticulture and Forestry, 5*(9), 146–155. https://doi.org/10.5897/JHF2013.0315

Al-Harthi, K., & Al-Yahyai, R. (2009). Effect of NPK fertilizer on growth and yield of banana in Northern Oman. *Journal of Horticulture and Forestry, 1*(8), 160–167.

Blomme, G., Dita, M., Jacobsen, K. S., Pérez Vicente, L., Molina, A., Ocimati, W., Poussier, S., & Prior, P. (2017). Bacterial diseases of bananas and enset: Current state of knowledge and integrated approaches toward sustainable management. *Frontiers in Plant Science, 8*, Article 1290. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01290

Cândido, H. T., Leonel, M., Leonel, S., Fernandes, A. M., Souza, J. M. A., dos Ouros, L. F., & de Jesus, P. R. R. (2025). A sustainable approach to phosphorus nutrition in banana plantations. *Plants, 14*(13), 1923. https://doi.org/10.3390/plants14131923

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). *From agronomic data to farmer recommendations: An economics training manual*. CIMMYT.

Custodio Ramírez, E. M. (2021). *Evaluación fenológica, productiva y de sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en seis variedades de banano (Musa spp.) en Tulumayo–Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://hdl.handle.net/20.500.14292/1984

Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science, 9*, Article 1468. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468

Espinoza Pacheco, E. (2020). *Abonamiento orgánico-mineral en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa paradisiaca en Omaya a 570 m s. n. m., Pichari* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Banana market review: Preliminary results 2025*. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd8079en

Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics. (2016). *Handbook on agricultural cost of production statistics: Guidelines for data collection, compilation and dissemination*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca6411en

Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Guillen Toscano, J. C. (2024). *Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (Persea americana Mill.), en Churcampa–Huancavelica, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6221

Huaman Curo, J. (2023). *Polímeros hidroabsorbentes y métodos de propagación en el crecimiento y rendimiento de variedades de plátano (Musa sp.) Omaya 575 m s. n. m., Pichari* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6125

Jenny, C., Sachter-Smith, G., Breton, C., Rivallan, R., Jacquemoud-Collet, J.-P., Dubois, C., Chabannes, M., Lý, N.-S., Haevermans, T., Triệu, T.-D., Insisiengmay, O., Zhang, T., Caruana, M.-L., Sardos, J., & Perrier, X. (2024). Musa species in mainland Southeast Asia: From wild to domesticate. *PLOS ONE, 19*, e0307592. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307592

Li, L.-F., Wang, H.-Y., Zhang, C., Wang, X.-F., Shi, F.-X., Chen, W.-N., & Ge, X.-J. (2013). Origins and domestication of cultivated banana inferred from chloroplast and nuclear genes. *PLOS ONE, 8*(11), e80502. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080502

Mertens, A., Bawin, Y., Vanden Abeele, S., Kallow, S., Vu, D. T., Le, L. T., Vu, T. D., Swennen, R., Vandelook, F., & Panis, B. (2021). Genetic diversity and structure of *Musa balbisiana* populations in Vietnam and its implications for the conservation of banana crop wild relatives. *PLOS ONE, 16*(6), e0253255. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253255

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2026). *Boletín estadístico mensual El agro en cifras: Diciembre 2025*. https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/6573082-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2025

Nyombi, K., van Asten, P. J. A., Corbeels, M., Taulya, G., Leffelaar, P. A., & Giller, K. E. (2010). Mineral fertilizer response and nutrient use efficiencies of East African highland banana (*Musa* spp., AAA-EAHB, cv. Kisansa). *Field Crops Research, 117*(1), 38–50. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.01.011

Ñaña Huarancca, W. (2025). *Dosis de microorganismos eficaces en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa sp. en Pichari, Cusco–2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/8274

Office of the Gene Technology Regulator. (2023). *The biology of Musa L. (banana)*. Australian Government, Department of Health and Aged Care. https://www.ogtr.gov.au/sites/default/files/2023-02/the_biology_of_musa_l_banana.pdf

Ohagan, J. M., Harnaiz, L. L. A., Nagal, C. J. C., Taylaran, R. D., & Gonzaga, A. B., Jr. (2023). Productivity of 'Saba' banana (*Musa acuminata* × *balbisiana*) as influenced by different levels of NPK fertilizer under Jasaan soil series. *Mindanao Journal of Science and Technology, 21*(1), 186–201. https://mjst.ustp.edu.ph/index.php/mjst/article/view/1516

Oriundo Huaman, K. M. (2023). *Frecuencia de abonamiento en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa sp. en el semillero de Omaya, Pichari, Cusco 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6124

Rapetti, M., & Dorel, M. (2022). Bunch weight determination in relation to the source–sink balance in 12 Cavendish banana cultivars. *Agronomy, 12*(2), Article 333. https://doi.org/10.3390/agronomy12020333

Royal Botanic Gardens, Kew. (s. f.). *Musa balbisiana Colla*. Plants of the World Online. Recuperado el 4 de julio de 2026, de https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:797536-1

Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de plátano*. Ministerio de Agricultura y Riego. https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-PLATANO.pdf

Soares, J. M. S., Rocha, A. J., Nascimento, F. S., Santos, A. S., Ferreira, C. F., Haddad, F., Amorim, V. B. O., & Amorim, E. P. (2021). Genetic improvement for resistance to black Sigatoka in bananas: A systematic review. *Frontiers in Plant Science, 12*, Article 657916. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.657916

Sulca Curahua, Y. (2024). *Técnica del elemento faltante y presente en la evaluación nutricional de 10 zonas agrícolas de Acosvinchos a 2850 m s. n. m.–Ayacucho, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/6935

Sun, J., Li, W., Li, C., Chang, W., Zhang, S., Zeng, Y., Zeng, C., & Peng, M. (2020). Effect of different rates of nitrogen fertilization on crop yield, soil properties and leaf physiological attributes in banana under subtropical regions of China. *Frontiers in Plant Science, 11*, Article 613760. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.613760

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (s. f.). *FoodData Central*. Recuperado el 4 de julio de 2026, de https://fdc.nal.usda.gov/

Uwimana, B., Brown, A., Saraswathi, M. S., Mahendran, B., Mulenga, R., Pillay, M., Swennen, R., & Batte, M. (2021). Continuous mapping identifies loci associated with weevil resistance [*Cosmopolites sordidus* (Germar)] in a triploid banana population. *Frontiers in Plant Science, 12*, Article 753241. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.753241

Villaseñor-Ortiz, D., Prado, R. de M., Silva, G. P. da, & Lata-Tenesaca, L. F. (2022a). Applicability of DRIS in bananas based on the accuracy of nutritional diagnoses for nitrogen and potassium. *Scientific Reports, 12*, Article 17525. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22554-w

Villaseñor-Ortiz, D., de Mello Prado, R., Luna-Romero, E., Jaramillo-Aguilar, E., & Agurto-Rodriguez, L. (2022b). Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation in Ecuador. *Fruits, 77*(1), 1–8. https://doi.org/10.17660/th2022/002

Wang, Z., Miao, H., Liu, J., Xu, B., Yao, X., Xu, C., Zhao, S., Fang, X., Jia, C., Wang, J., Zhang, J., Li, J., Xu, Y., Wang, A., Zheng, J., Lu, Z., Wang, N., Hu, W., Wu, Z., … Jin, Z. (2019). *Musa balbisiana* genome reveals subgenome evolution and functional divergence. *Nature Plants, 5*, 810–821. https://doi.org/10.1038/s41477-019-0452-6

Witt, C., Buresh, R. J., Peng, S., Balasubramanian, V., & Dobermann, A. (2007). *A practical guide to nutrient management*. International Rice Research Institute.

Zhang, X., Zhao, L., Huang, Q., Pang, B., Zhou, Z., & Lu, Y. (2025). Synchronized fertilization based on crop nutrient uptake and fertilizer nutrient release characteristics increases nutrient use efficiency in banana. *Scientific Reports, 15*, Article 34449. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17602-0

ANEXO

Anexo 1.1. *Análisis de suelo del campo experimental*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA

LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar Nº 249 – Telf. 315936 966942996
Ayacucho – Perú

"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"

HR. 0139

Región : Cusco
Provincia : La Convención
Distrito : Pichari
Comunidad : Terreno UNSCH – Prefabricado
Proyecto : "Fertilidad de Suelos"
Solicitante : José Luis Medina Quispe

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H_2O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	$CaCO_3$ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiables (Cmol(+)/Kg)					C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	H^{+}	
01	60.5	30.6	8.9	Fr-Ao	7.16	0.683	0.0	1.26	0.06	7.5	142.4	2.88	1.12	0.73	0.96	0.0	0.0	14.2

Ayacucho, 10 de enero del 2023

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELO
PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Girón Molina
C.I.P. 77120

Ao: Arenoso, AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso, L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcillose; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 1.2. *Datos de los parámetros evaluados*

Tratamientos	Descripción	Días a la floración	Días a la cosecha	Longitud de dedos (pul)	Diámetro de dedos (cm)	Peso comercial del racimo (kg)	Rendimiento (kg ha^{-1})
T1	Testigo sin NPK	195.58	279.25	22.5	45.58	15	28 500.00
T2	Inclusión de N	178.58	275.83	19.92	42.67	18	34 200.00
T3	Inclusión de P	189.42	280.92	22.08	46.17	15.5	29 450.00
T4	Inclusión de K	196.58	283.83	22.63	49.54	15.2	28 880.00
T5	Omisión de N (PK)	187.75	274.33	20.71	44.29	15.7	29 830.00
T6	Omisión de P (NK)	195.67	283.5	20.38	44.79	18.2	34 580.00
T7	Omisión de K (NP)	188.33	271.08	22.58	44.17	17.83	33 883.33
T8	Tratamiento completo NPK	185.25	268.25	21.21	43.5	18.7	35 530.00

Anexo 1.3. *Costos de producción de los tratamientos*

Tratamiento Nro 1 (sin NPK)					
1. COSTOS DIRECTOS					**10,703.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**4,943.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	0	155.00	0.00	0.00
Superfosfato triple	sacos	0	170.00	0.00	0.00
Cloruro de potasio	sacos	0	110.00	0.00	0.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.06	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.06	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**11,600.00**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	10,703.00	92.27%
Costos indirectos	896.85	7.73%
Costo de fertilización NPK	0.00	0.00%
Costo total de producción	**11,600.00**	**100.00%**

Tratamiento Nro 2 (+N)					
1. COSTOS DIRECTOS					**11,633.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**5,873.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	6	155.00	930.00	930.00
Superfosfato triple	sacos	0	170.00	0.00	0.00
Cloruro de potasio	sacos	0	110.00	0.00	0.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.06	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.06	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**12,529.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	11,633.00	92.84%
Costos indirectos	896.85	7.16%
Costo de fertilización NPK	930.00	7.42%
Costo total de producción	**12,529.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 2 (+N)					
1. COSTOS DIRECTOS					**11,633.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**5,873.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	6	155.00	930.00	930.00
Superfosfato triple	sacos	0	170.00	0.00	0.00
Cloruro de potasio	sacos	0	110.00	0.00	0.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.06	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.06	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**12,529.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	11,633.00	92.84%
Costos indirectos	896.85	7.16%
Costo de fertilización NPK	930.00	7.42%
Costo total de producción	**12,529.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 3 (+P)					
1. COSTOS DIRECTOS					**11,043.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**5,283.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	0	155.00	0.00	0.00
Superfosfato triple	sacos	2	170.00	340.00	340.00
Cloruro de potasio	sacos	0	110.00	0.00	0.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**11,939.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	11,043.00	92.49%
Costos indirectos	896.85	7.51%
Costo de fertilización NPK	340.00	2.85%
Costo total de producción	**11,939.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 4 (+K)					
1. COSTOS DIRECTOS					**12,133.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**6,373.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	0	155.00	0.00	0.00
Superfosfato triple	sacos	0	170.00	0.00	0.00
Cloruro de potasio	sacos	13	110.00	1,430.00	1,430.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**13,029.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	12,133.00	93.12%
Costos indirectos	896.85	6.88%
Costo de fertilización NPK	1,430.00	10.97%
Costo total de producción	**13,029.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 5 (−N)					
1. COSTOS DIRECTOS					**12,473.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**6,713.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	0	155.00	0.00	0.00
Superfosfato triple	sacos	2	170.00	340.00	340.00
Cloruro de potasio	sacos	13	110.00	1,430.00	1,430.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**13,369.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	12,473.00	93.29%
Costos indirectos	896.85	6.71%
Costo de fertilización NPK	1,770.00	13.24%
Costo total de producción	**13,369.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 6 (−P)					
1. COSTOS DIRECTOS					**13,063.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**7,303.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	6	155.00	930.00	930.00
Superfosfato triple	sacos	0	170.00	0.00	0.00
Cloruro de potasio	sacos	13	110.00	1,430.00	1,430.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**13,959.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	13,063.00	93.58%
Costos indirectos	896.85	6.42%
Costo de fertilización NPK	2,360.00	16.91%
Costo total de producción	**13,959.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 7 (−K)					
1. COSTOS DIRECTOS					**11,973.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**6,213.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	6	155.00	930.00	930.00
Superfosfato triple	sacos	2	170.00	340.00	340.00
Cloruro de potasio	sacos	0	110.00	0.00	0.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**12,869.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	11,973.00	93.03%
Costos indirectos	896.85	6.97%
Costo de fertilización NPK	1,270.00	9.87%
Costo total de producción	**12,869.85**	**100.00%**

Tratamiento Nro 8 (NPK completo)					
1. COSTOS DIRECTOS					**13,403.00**
1.1. Preparación de terreno					**1,580.00**
Desbroce de arbustos y malezas	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Eliminación de material vegetal	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
Trazado y marcación de hoyo	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Apertura de hoyos 40×40×40 cm	Jor.	7	80.00	560.00	560.00
1.2. Tratamiento de hijuelos					**420.00**
Extracción de hijuelos	Jor.	4	70.00	280.00	280.00
Tratamiento de hijuelos	Jor.	2	70.00	140.00	140.00
1.3. Labores agronómicas					**3,760.00**
Plantación, tapado y apisonado	Jor.	5	80.00	400.00	400.00
Deshierbo de malezas	Jor.	15	80.00	1,200.00	1,200.00
Fertilización de plantas	Jor.	0	0.00	0.00	0.00
Control de plagas y enfermedades	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
Manejo fitonutricional	Jor.	4	80.00	320.00	320.00
Deshije, deshoje, deschante	Jor.	9	80.00	720.00	720.00
Desmane y desbellote	Jor.	2	80.00	160.00	160.00
Cosecha de racimos	Jor.	6	80.00	480.00	480.00
1.4. Adquisición de insumos					**7,643.00**
Compra de hijuelos	unid.	1960	2.00	3,920.00	3,920.00
Vitavax	kg	2	60.00	120.00	120.00
Benfucorocab	Lt.	1	180.00	180.00	180.00
Adherente	Lt.	0.5	70.00	35.00	35.00
Calcio-Boro	Lt.	4	65.00	260.00	260.00
Difeconazole	Lt.	1	250.00	250.00	250.00
Nitrato de amonio	sacos	6	155.00	930.00	930.00
Superfosfato triple	sacos	2	170.00	340.00	340.00
Cloruro de potasio	sacos	13	110.00	1,430.00	1,430.00
Cojin	unid.	4	4.00	16.00	16.00
Gasol 90	Gal.	10	16.20	162.00	162.00
2. COSTOS INDIRECTOS					**896.85**
2.1. Equipos y herramientas					**216.85**
Motoguadaña	unid.	1	1,900.00	0.058	110.20
Motofumigadora	unid.	1	1,500.00	0.058	87.00
Machete	unid.	5	15.00	0.15	11.25
Podadora de altura	unid.	2	10.00	0.15	3.00
Limador	unid.	3	12.00	0.15	5.40
2.2. Servicios					**380.00**
Muestreo de análisis de suelo	Jornal	1	80.00	80.00	80.00
2.3. Imprevistos					**300.00**
3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					**14,299.85**

Concepto	Monto (S/ ha⁻¹)	Participación (%)
Costos directos	13,403.00	93.73%
Costos indirectos	896.85	6.27%
Costo de fertilización NPK	2,700.00	18.88%
Costo total de producción	**14,299.85**	**100.00%**

Anexo 1.4. *Panel fotográfico*

Fotografía 1.1. Preparación y acondicionamiento del terreno para la instalación del experimento de *Musa balbisiana* en el Centro Experimental de Ingeniería Agroforestal, Pichari.



Fotografía 1.2. Apertura de hoyos para la instalación de las plantas de *Musa balbisiana* en las unidades experimentales.



Fotografía 1.3. Distribución e identificación de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en el campo experimental.



Fotografía 1.4. Aplicación de los tratamientos de fertilización NPK alrededor de las plantas de *Musa balbisiana*.



Fotografía 1.5. Aplicación de productos fitosanitarios durante el manejo agronómico de las parcelas experimentales.



Fotografía 1.6. Cosecha de racimos de *Musa balbisiana* en las parcelas de omisión e inclusión de NPK.



Fotografía 1.7. Toma de datos de *Musa balbisiana* en las parcelas de omisión e inclusión de NPK.



UNSCH FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. JOSE LUIS MEDINA QUISPE

R.D. N° 563-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los veintitrés días del mes de octubre del año dos mil veintiséis, siendo las quince con treinta horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Mtra. Susana Sabina Paco Espino como asesora, Mtro. Ennio Chauca Retamozo y Mtro. Haroldo Satalaya Reátegui; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*; Pichari, Cusco - 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroforestal, presentado por el Bachiller **JOSE LUIS MEDINA QUISPE.**

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	14	16	15
Mtra. Susana Sabina Paco Espino	17	17	17	17
Mtro. Ennio Chauca Retamozo	16	15	16	16
Mtro. Haroldo Satalaya Reátegui	17	16	17	17
PROMEDIO GENERAL				**16**

OBSERVACION: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado, el título del trabajo de investigación debe ser: **Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad del plátano (*Musa balbisiana*); Pichari, Cusco - 2023**

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Presidente

Mtra. Susana Sabina Paco Espino
Asesora

Mtro. Ennio Chauca Retamozo
Jurado

Mtro. Haroldo Satalaya Reátegui
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

UNSCH FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL – EPIAF

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por Resolución Decanal N° 437-2026-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*; Pichari, Cusco - 2023

Autor : Jose Luis MEDINA QUISPE

Asesor : Susana Sabina PACO ESPINO

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU N°039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **once (11 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar.**

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3089405745

Ayacucho, 14 de noviembre de 2026

.....

Mtro. Juan Aníbal Galindo Galindo

Docente Instructor – EPIAF

Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de Musa balbisiana; Pichari, Cusco - 2023

por Jose Luis Medina Quispe

Fecha de entrega: 14-nov-2026 10:09a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3089405745
Nombre del archivo: Tesis_José_Luis_Medina_Quispe.pdf (3.66M)
Total de palabras: 21861
Total de caracteres: 126022

Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de Musa balbisiana; Pichari, Cusco - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	6%	2%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	8%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1%
6	Andujar Amarante, Feliciano Antonio. "Evaluacion de leguminosas arboreas para sombra de cafe en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes", Proquest, 20111108 Publicación	<1%
7	api.index-360.com Fuente de Internet	<1%
8	acorbatinternacional.com Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1%
11	Submitted to Colegio de Postgraduados Trabajo del estudiante	<1%

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		

Parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*; Pichari, Cusco – 2023

Plots of NPK omission and inclusion in the yield and profitability of Musa balbisiana; Pichari, Cusco – 2023

Jose Luis Medina Quispe[1]
jose.medina.28@unsch.edu.pe

Susana Sabina Paco Espino[2]
Susana.paco@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio Ambiente

Lineal de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro Experimental de Ingeniería Agroforestal de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Pichari, Cusco, con el objetivo de determinar la influencia del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y la rentabilidad de *Musa balbisiana* mediante parcelas de omisión e inclusión. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 2^3, ocho tratamientos, tres bloques y 24 unidades experimentales. Se evaluaron días a la floración, días a la cosecha, longitud y diámetro de dedos, peso del racimo, rendimiento por hectárea, costos, utilidad neta y rentabilidad. Los datos se analizaron mediante análisis de variancia y prueba de Tukey al 5 %. Los tratamientos no produjeron diferencias significativas en días a la floración, longitud ni diámetro de dedos; sin embargo, influyeron significativamente en días a la cosecha, peso comercial y rendimiento. El tratamiento completo T8 alcanzó el mayor peso de racimo, con 18.70 kg, y el mayor rendimiento, con 35 530.00 kg ha^{-1}, mientras que el testigo T1 obtuvo 15.00 kg y 28 500.00 kg ha^{-1}. La omisión de nitrógeno redujo el rendimiento en 16.04 %, y su inclusión lo incrementó en 20.00 %, estableciéndose el orden de limitación N > K > P. En el análisis económico, T8 presentó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, mientras que T2, inclusión de nitrógeno, obtuvo la mayor rentabilidad, con 421.33 %. Se concluye que el tratamiento completo maximizó la producción, pero la inclusión de nitrógeno mostró mayor eficiencia económica.

***Palabras clave*:** *Musa balbisiana, NPK, parcelas de omisión, rendimiento, rentabilidad.*

ABSTRACT

The research was conducted at the Agroforestry Engineering Experimental Center of the National University of San Cristóbal de Huamanga, in Pichari, Cusco, with the objective of determining the influence of nitrogen, phosphorus, and potassium on the yield and profitability of Musa balbisiana using omission and inclusion plots. A Randomized Complete Block Design with a 2^3 factorial arrangement was used, with eight treatments, three blocks, and 24 experimental units. Days to flowering, days to harvest, finger length and diameter, bunch weight, yield per hectare, costs, net profit, and profitability were evaluated. Data were analyzed using analysis of variance and Tukey's test at the 5% significance level. The treatments did not produce significant differences in days to flowering, finger length, or finger diameter; however, they significantly influenced days to harvest, marketable weight, and yield. The complete treatment T8 resulted in the highest bunch weight, at 18.70 kg, and the highest yield, at 35,530.00 kg ha^{-1}, while the control T1 yielded 15.00 kg and 28,500.00 kg

ha⁻¹, respectively. The omission of nitrogen reduced yield by 16.04%, and its inclusion increased it by 20.00%, establishing the order of limitation as N > K > P. In the economic analysis, T8 showed the highest net profit, at S/ 53,562.45 ha⁻¹, while T2, with nitrogen inclusion, obtained the highest profitability, at 421.33%. It is concluded that the complete treatment maximized production, but the inclusion of nitrogen showed greater economic efficiency.

Keywords: *Musa balbisiana, NPK, omission plots, yield, profitability.*

INTRODUCCIÓN

El género *Musa* comprende especies silvestres y cultivadas caracterizadas por una amplia diversidad genética. El sudeste asiático constituye una de las principales zonas de diversificación y domesticación de este grupo, dentro del cual *Musa balbisiana* posee importancia por su contribución genética al origen de diversos plátanos cultivados (Jenny et al., 2024). En el ámbito económico, el banano mantiene una participación relevante en el comercio internacional de frutas; sin embargo, su producción y comercialización están condicionadas por factores climáticos, fitosanitarios, productivos y comerciales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2026).

En el Perú, el plátano constituye un cultivo de importancia para los sistemas agrícolas establecidos principalmente en zonas tropicales y subtropicales. Durante 2025 se registró una producción preliminar nacional de 2 198 626 t, mientras que el departamento de Cusco alcanzó 26 465 t. En este último departamento, la producción había sido de 38 351 t durante 2024, por lo que se presentó una reducción aproximada de 31.0 % entre ambos años (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2026).

La respuesta productiva del plátano también depende del material vegetal y del manejo nutricional empleado. Aba et al. (2021) evaluaron diferentes sistemas de fertilización en cuatro genotipos de plátano y encontraron respuestas distintas entre los materiales estudiados, con mejores resultados productivos al combinar determinadas fuentes orgánicas y minerales. Estos resultados muestran que el efecto de la fertilización no puede considerarse uniforme, debido a que está condicionado por las características del genotipo y por el sistema de manejo nutricional aplicado.

De manera complementaria, Ohagan et al. (2023) evaluaron diferentes niveles de NPK en banano ‘Saba’ y observaron incrementos en el peso del racimo y el rendimiento con la fertilización. No obstante, el tratamiento que alcanzó la mayor producción no presentó necesariamente el mejor resultado económico, debido al incremento del costo de los fertilizantes. Este comportamiento demuestra que la evaluación de una estrategia de fertilización requiere considerar conjuntamente la respuesta productiva y la inversión necesaria para obtenerla.

La técnica de parcelas de omisión e inclusión constituye una alternativa para determinar la respuesta del cultivo frente a la presencia o ausencia de nutrientes específicos. Sulca (2024) aplicó este procedimiento mediante la comparación de tratamientos con suministro completo, omisión e inclusión de determinados elementos, lo que permitió reconocer diferencias en la capacidad de los suelos para aportar nutrientes e identificar aquellos que presentaban mayor limitación. Este enfoque permite generar información específica para orientar la fertilización de acuerdo con las condiciones nutricionales del suelo y la respuesta de la planta.

En Pichari existen antecedentes que evidencian variaciones productivas y económicas asociadas al manejo del cultivo. Oriundo (2023) evaluó diferentes frecuencias de abonamiento NPK en los cultivares Isla Maleño y Hartón y encontró que el rendimiento aumentó de 32 481.13 a 38 769.80 kg ha⁻¹ al pasar de tres a cinco aplicaciones. Sin embargo, el comportamiento económico no fue uniforme entre los cultivares, lo que demuestra que incrementar la fertilización puede favorecer la producción sin garantizar

proporcionalmente una mayor eficiencia económica.

Asimismo, Ñaña (2025) evaluó diferentes dosis de microorganismos eficaces en los cultivares Hartón y Cavendish Williams bajo condiciones de Pichari y registró respuestas productivas diferenciadas según el cultivar y la dosis aplicada. En conjunto, los antecedentes locales muestran que el rendimiento del plátano puede modificarse por el material vegetal y las prácticas de manejo, por lo que resulta necesario generar información específica antes de establecer recomendaciones productivas y económicas para las condiciones locales.

A pesar de estos antecedentes, en Pichari todavía es limitada la información que permita establecer el efecto individual y combinado del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento de *Musa balbisiana*. Asimismo, no se dispone de suficiente evidencia local para identificar cuál de estos nutrientes constituye la principal limitación productiva y determinar si la alternativa que genera el mayor rendimiento también presenta el mejor comportamiento económico. Una disponibilidad insuficiente de nutrientes puede limitar el rendimiento del cultivo; mientras que una fertilización realizada sin conocer la respuesta específica a N, P y K puede incrementar innecesariamente los costos de producción y disminuir la rentabilidad cuando el aumento del rendimiento no compensa la inversión adicional en fertilizantes. En este contexto, la presente investigación se orientó a determinar la influencia de las parcelas de omisión e inclusión de NPK en el rendimiento y la rentabilidad de Musa balbisiana en Pichari, considerando variables productivas y los indicadores económicos asociados a los tratamientos evaluados.
En consecuencia, con la siguiente investigación se propone alcanzar los objetivos siguientes:

Objetivo general

Determinar la influencia de NPK en el rendimiento y rentabilidad de *Musa balbisiana*, mediante el empleo de la técnica de las Parcelas de Omisión e Inclusión, Pichari.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la omisión e inclusión de NPK en el rendimiento de *Musa balbisiana*, mediante la técnica de Parcelas de Omisión e Inclusión, Pichari.

- Estimar la rentabilidad económica de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en *Musa balbisiana*, mediante la utilidad neta y la rentabilidad porcentual, Pichari.

METODOLOGÍA

Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en el Centro Experimental de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal propiedad de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga ubicada en el distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento de Cusco,

Antecedentes del terreno experimental

Zona caracterizada por presentar condiciones tropicales favorables para el cultivo de las musáceas.

Análisis físico y químico del suelo

Presenta un suelo de clase textural Franco Arenoso (Fr-Ao), caracterizado por un alto contenido de arena (60.5%). Esta condición físico-estructural garantiza una excelente aireación y drenaje interno, factor crítico para prevenir la asfixia radicular y enfermedades fúngicas en el cultivo de banano. Sin embargo, esta misma naturaleza porosa determina una baja capacidad de retención de humedad y una susceptibilidad aumentada al lixiviado de nutrientes, lo que exigirá una gestión de riego y fertilización altamente eficiente.

Químicamente, el suelo presenta un pH neutro (pH 7.16), un nivel que, aunque aceptable, se sitúa en el límite superior del rango óptimo para el banano, pudiendo condicionar la disponibilidad de ciertos microelementos. El factor más crítico es el

bajo nivel de materia orgánica (1.26%) y nitrógeno total (0.06%), lo que indica una reserva nutricional insuficiente para las altas demandas del cultivo. Asimismo, los niveles bajos de fósforo y medios-bajos de potasio (142.4 ppm) confirman que la fertilidad natural del sitio es limitada, es indispensable una fertilización correctiva y de mantenimiento.

A pesar de que el régimen térmico de la zona (media de 25 °C) es óptimo para el desarrollo vegetativo, la combinación de un suelo con baja retención hídrica y una marcada estacionalidad de lluvias (con meses de precipitación nula) representa un riesgo hídrico severo. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de 14.2 cmol(+)/kg sugiere una capacidad de retención de nutrientes moderada, lo que recomienda la aplicación fraccionada de fertilizantes para optimizar su aprovechamiento.

El suelo evaluado posee aptitud condicionada para la producción comercial de banano. La viabilidad técnica de la investigación queda supeditada a dos intervenciones agronómicas fundamentales: La implementación de un sistema de riego presurizado para suplir el déficit hídrico en un suelo de rápida filtración y un programa intensivo de enmiendas orgánicas y fertilización balanceada (priorizando Nitrógeno y Potasio) para compensar la baja fertilidad natural del perfil evaluado.

Tabla 1

Resultados de análisis físico – químico del suelo de la parcela experimental

Descripción	Unidad	Valor	Interpretación
Materia orgánica	%	1.26	Bajo
Nitrógeno total (Nt)	%	0.06	Pobre
Fósforo disponible (P)	ppm	7.5	Bajo
Potasio disponible (K)	ppm	142.4	Medio
pH	—	7.16	Neutro
Conductividad eléctrica (C.E.)	dS m^{-1}	0.683	Suelo no salino
Carbonato de calcio ($CaCO_3$)	%	0	Ausente; suelo no calcáreo
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol(+) kg^{-1}	14.2	Medio
Arena	%	60.5	Predominante
Limo	%	30.6	Moderado
Arcilla	%	8.9	Bajo
Clase textural	—	Fr-Ao	Franco arenoso
Bases cambiables			
Calcio intercambiable (Ca^{2+})	cmol(+) kg^{-1}	2.88	Bajo
Magnesio intercambiable (Mg^{2+})	cmol(+) kg^{-1}	1.12	Medio
Potasio intercambiable (K^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0.73	Muy alto
Sodio intercambiable (Na^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0.96	Moderado; suelo no sódico
Aluminio intercambiable (Al^{3+})	cmol(+) kg^{-1}	0	No detectado
Hidrógeno intercambiable (H^{+})	cmol(+) kg^{-1}	0	No detectado

Nota: Nota. datos obtenidos de Laboratorio de Suelos “Agrolab”

Condiciones climáticas de la zona de estudio

Tras analizar el perfil meteorológico de la zona de Pichari (agosto 2022 - octubre 2023), se concluye que la zona presenta una aptitud térmica sobresaliente, aunque con un desafío hídrico significativo que condiciona la productividad.

El régimen de temperaturas es favorable para el desarrollo acelerado del cultivo. La temperatura media, que oscila entre 24 °C y 27 °C, se alinea perfectamente con el rango óptimo para la actividad metabólica del banano. Asimismo, las temperaturas mínimas se mantienen de forma segura por encima de los 15 °C, evitando riesgos de detención del crecimiento por frío. No obstante, se advierten episodios de estrés por calor extremo, con picos máximos que alcanzan los 39.3 °C, lo que exige un manejo adecuado de la densidad de siembra para proteger la fruta.

El factor determinante para la viabilidad comercial es la irregularidad de las precipitaciones. Mientras que algunos meses (como febrero con 339 mm) superan ampliamente la demanda hídrica, existen periodos de sequía crítica en marzo, septiembre y octubre, donde la precipitación es nula o insignificante (0 a 1.3 mm). Dado que el banano es altamente sensible al déficit hídrico y requiere un suministro constante de agua para el llenado del racimo, la producción

en esta zona bajo condiciones de secano (dependiente solo de la lluvia) es de alto riesgo.

Para garantizar una producción constante y de calidad exportable, es indispensable la implementación de un sistema de riego complementario que cubra los periodos de estiaje detectados. Con el control del agua, las condiciones de calor y humedad de la zona permiten vaticinar rendimientos altamente competitivos.

Tabla 2

Datos meteorológicos de la Campaña 2023 de la Estación Meteorológica de Pichari

Año	**2022**					**2023**									
Meses	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
T° Min	16.4	17.3	20	18.3	19.7	18.7	20.5	20.2	19.8	20.1	16.7	18.5	18.8	20.1	22.4
T° Max	35.2	37.5	37.3	39.3	37.5	35.5	34.5	34.5	34.1	33.4	35.3	33.7	36.7	36.4	25
T° Media	24.6	25.8	27.0	26.7	25.7	25.0	24.9	24.8	25.1	24.7	24.0	25.0	26.3	26.2	23.36
Pp (mm/mes)	49	113	128	72.8	122	163	339	1.3	64.7	158	74.7	50.1	29.1	0.1	0

Variables e indicadores

Operacionalización de los variables dependientes e independientes

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente		
Técnica del elemento faltante y presente	Diagnóstico nutricional Planta indicadora Manejo de fertilización	Niveles críticos *Musa balbisiana* Fuente de fertilizantes
Variables dependientes		
Rendimiento	Factores de productividad	Días a la floración (días) Días a la cosecha de racimo (días) Peso comercial de racimo (kg) Longitud de dedos (Cm) Diámetro de dedos (cm) Rendimiento por hectárea (kg ha⁻¹)
Rentabilidad		Costos de producción (S/ ha⁻¹) Ingresos por ventas (S/ ha⁻¹) Valor bruto de producción (S/ ha⁻¹) Utilidad neta (S/ ha⁻¹)

Variables dependientes e indicadores

Variables dependientes	Indicadores
Precocidad	Días a la floración Días a la madures fisiológica Días a la madures de cosecha
Rendimiento	Longitud de vaina N° de semillas por vaina Peso de 1000 semillas Rendimiento kg. ha^{-1} Porcentaje de germinación
Mérito económico	Análisis de costo beneficio (C/B)

Método procedimental

Factores en estudio

Planta indicadora (c).

c_1: *Musa balbisiana*.

Fuente de fertilizantes (f)

f1: Nitrato de amonio, fuente de nitrógeno el cual tiene una ley de 33% de N.

f2: Superfosfato triple, fuente de fosforo el cual tiene una ley de 46% de P.

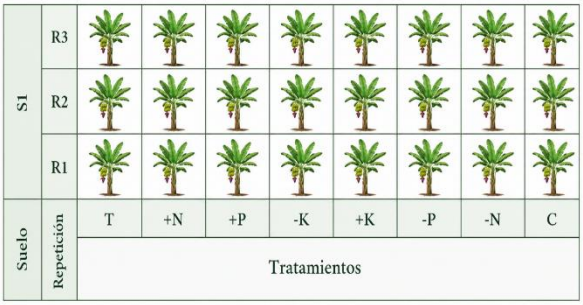
f3: Cloruro de potasio, fuente de potasio el cual tiene una ley de 60% de K.

Descripción de los tratamientos

Trat.	**Código**			**Nivel de fertilización (kg ha^{-1})**			**Nivel de fertilización (kg x planta)**			**Descripción**
	X$_1$	**X$_2$**	**X$_3$**	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**N.A**	**ST**	**KCL**	
	-	-	-							
1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	T
		-	-	30			0.5			
2	2	2	2	0	0	0	75	0	0	+ N
	-		-		10			0.0		
3	2	2	2	0	0	0	0	82	0	+ P
	-	-				65			0.1	
4	2	2	2	0	0	0	0	0	79	+ K
	-				10	65		0.0	0.1	
5	2	2	2	0	0	0	0	82	79	- N
		-		30		65	0.5		0.1	
6	2	2	2	0	0	0	75	0	79	- P
7	2	2	-	30	10	0	0.5	0.0	0	- K

			2	0	0		75	82		
				30	10	65	0.5	0.0	0.1	
8	2	2	2	0	0	0	75	82	79	C

Croquis del campo experimental



Diseño experimental

El experimento se condujo mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial completo 2^3 (2N*2P*2K), los factores evaluados fueron nitrógeno, fósforo y potasio, cada uno con dos niveles: ausencia y presencia. La combinación de los niveles produjo ocho tratamientos, establecidos en tres bloques, con un total de 24 unidades experimentales. Cada bloque estuvo conformado por los ocho tratamientos, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque. El uso de bloques permitió controlar la variabilidad espacial existente en el campo experimental. Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro plantas de *Musa balbisiana*. En consecuencia, el ensayo comprendió 24 unidades experimentales y 96 plantas evaluadas. Las cuatro plantas pertenecientes a una misma unidad experimental constituyeron submuestras, por lo que la información utilizada en el análisis estadístico correspondió al promedio obtenido en cada unidad experimental.

Modelo estadístico

Como se trata de un DBCA con arreglo factorial 2^3, el modelo estadístico completo fué:

$$\mathbf{Yijkl = \mu + Bl + Ni + Pj + Kk + (NP)ij + (NK)ik + (PK)jk + (NPK)ijk + \varepsilon ijkl}$$

Donde:

- ✓ **Yijkl:** valor observado de la variable respuesta con el nivel i de nitrógeno, el nivel j de fósforo y el nivel k de potasio, dentro del bloque l.
- ✓ **μ:** media general de la población experimental.
- ✓ **Bl:** efecto del l-ésimo bloque.
- ✓ **Ni:** efecto del i-ésimo nivel de nitrógeno.
- ✓ **Pj:** efecto del j-ésimo nivel de fósforo.
- ✓ **Kk:** efecto del k-ésimo nivel de potasio.
- ✓ (**NP)ij:** efecto de la interacción entre nitrógeno y fósforo.
- ✓ (**NK)ik:** efecto de la interacción entre nitrógeno y potasio.
- ✓ (**PK)jk:** efecto de la interacción entre fósforo y potasio.
- ✓ (**NPK)ijk:** efecto de la interacción triple entre nitrógeno, fósforo y potasio.
- ✓ **εijkl:** error experimental asociado con la unidad experimental.

Parámetros de evaluación

Se determinaron indicadores técnicos de gestión agronómica con el propósito de garantizar la eficiencia productiva y la rentabilidad de la *Musa balbisiana*.

Rendimiento

a. Días a la floración (días): Se registró el número de días transcurridos desde la instalación de la planta hasta la emergencia de la inflorescencia. Esta evaluación se realizó mediante observación directa y por única vez para cada tratamiento establecido en el campo definitivo.

b. Días a la cosecha de racimo (días): Se registró el periodo en días desde la instalación de la planta hasta la cosecha del racimo. Esta evaluación se realizó mediante observación directa y por única vez para cada tratamiento establecido en el campo definitivo

c. Peso comercial de racimo (kg): Se determinó el peso comercial de los racimos por planta y por tratamiento utilizando una balanza de plataforma con capacidad de 50 kg. Esta evaluación se llevó a cabo al finalizar el ensayo, inmediatamente después de la cosecha.

d. Longitud de dedos (pul): Se realizó la medición de longitud de dedos con una cinta de medición de bananos, desde el punto de inserción del pedúnculo hasta el ápice del fruto y se registró en pulgadas. La muestra se realizará en el segundo mano del racimo (el dedo de centro) y el penúltimo mano (el dedo de centro). La evaluación se realizó teniendo en cuenta los estándares de comercialización a los diferentes niveles de mercado, el registro se realizó antes de cosechar el racimo de la planta.

e. Diámetro de dedos (cm): Se determinó el diámetro de los dedos utilizando un calibrador de bananos, evaluando el fruto central de la segunda y penúltima mano. Los registros se expresaron en centímetros y se llevaron a cabo antes de la cosecha, considerando los estándares de calidad exigidos por los diferentes niveles del mercado.

f. Rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}): El pesaje se efectuó de manera individual por racimo y tratamiento. Una vez obtenidos los valores en kilogramos, se procedió a proyectar la productividad por unidad de superficie (kg ha^{-1}).

Rentabilidad económica

a. Costos de producción (S/ x ha): Se registraron los costos y egresos derivados de *Musa balbisiana* durante el primer ciclo productivo (R0). El análisis incluyó la totalidad de las labores agronómicas, así como las actividades de precosecha y las operaciones de poscosecha.

b. Ingresos por ventas (S/ x ha): Se contabilizaron los ingresos percibidos por la comercialización total de los racimos obtenidos, tomando como referencia los precios de mercado en soles durante el segundo ciclo productivo.

c. Valor bruto de producción (S/ x ha): Para el cálculo de los ingresos, se contrastó el rendimiento obtenido por hectárea con el valor comercial de venta en chacra vigente al momento de la cosecha.

d. Utilidad neta (S/ x ha): Se calculó la Utilidad Neta mediante la diferencia entre el valor bruto de la producción (S/x ha) y los costos totales de producción invertidos en el cultivo de banano (S/x ha).

Conducción del ensayo

Selección del terreno

Para la selección del terreno fue necesario buscar un suelo que cuente con condiciones agroecológicas favorables para el crecimiento y desarrollo de la Musa balbisiana. Los terrenos o suelos aptos para el cultivo de banano son: suelo arenoso, franco arcilloso, franco limoso y franco arcilloso limoso. Los suelos más apropiados son los de pH neutros (6.5 – 7.0) aunque también tolera los ligeramente ácidos y alcalinos.

Preparación del terreno

Se realizó previamente el análisis de suelo para conocer los requerimientos de materia orgánica y otros abonos permitidos. Se consideró no por la orientación de la salida del sol, sino por la dirección en que generalmente sopla el viento. Porque las hileras actuarían como barreras, afectando parcial o totalmente al cultivo.

Sistema de siembra y distanciamiento

Se consideró el sistema de tres bolillos con distanciamiento de 2.6 metros de altura y entre plantas 3 metros con una densidad de plantación 1283 planta hectárea^{-1} y sistema de doble hilera con altura de entre plantas 1.7 metros y entre plantas 2 metros y densidad de plantación 1960 planta hectárea^{-1}.

Selección y clasificación de semilla vegetativa (hijuelo)

De preferencia se consideró núcleos semilleros productivos, libres de plagas y enfermedades, los hijuelos fueron adquiridos del semillero de la Municipalidad distrital de Pichari, ya que cuenta con semillas garantizadas por SENASA.

Preparación de hijuelos

Una vez extraído los hijuelos de las plantas madres se procedió con la limpieza de tierra y raíces de los cormos para su lavado y desinfección. La desinfección de cormos se realizó con insecticidas, fungicidas y enraizantes (benfurocab, Vitavax, Rooting y adherente) a la dosis de 250 ml, 400 gramos, 250 ml y 50 ml por

200 litros de agua, respectivamente. Una vez preparado la solución se sumergió los cormos durante 5 minutos y el oreado durante un 30 minuto o un día.

Siembra de hijuelos

Una vez realizado el hoyado y desinfección de cormos se procedió con la siembra de acuerdo al croquis experimental, habiéndose utilizado como abono de fondo el Compost y estiércol (abono orgánico), 250 gramos/hoyo, mezclándose con tierra agrícola que luego se hizo regresar al mismo hoyo.

Abonamiento de plantas

Se aplicó tres veces durante el proceso de crecimiento y desarrollo de plantas de banano; el primer abonamiento a los 45 días, el segundo a los 90 días y el tercero a los 150 días después de instalación; las fuentes (nitrado di amonio, fosfato di amonio y cloruro de potasio). La dosificación para la aplicación en cada tratamiento fue teniendo en cuenta la riqueza de fertilizantes, análisis de suelo de la parcela y extracción de Musa balbisiana. según tratamiento fijado en el ensayo.

Otras labores agronómicas

Otras labores agronómicas como el deshije, deshoje, deschante, y las labores de pre cosecha (enfunde, desflore, deschive, desmane, daipiado) y aplicación con abonos foliares, fungicidas, insecticidas, etc., se realizó en el momento oportuno durante el proceso de crecimiento y desarrollo de plantas hasta el momento de la cosecha de los racimos.

Control de plagas y enfermedades

Se realizó en forma oportuna durante el proceso de crecimiento y desarrollo de la planta, teniendo en cuenta el manejo integrado de plagas y enfermedades.

Cosecha y post cosecha

Esta actividad se realizó cuando los dedos de los racimos presentaban la madurez comercial, se realizó el corte del raquis sin causar daños a los dedos (frutos), luego se colocó en el hombro de la persona para el transporte hasta el módulo post cosecha y encajonado.

Procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos en las unidades experimentales fueron organizados en Microsoft Excel y procesados mediante el software estadístico Estudio. Se realizó el análisis de varianza correspondiente a un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 2^3, evaluando los efectos principales de nitrógeno, fósforo y potasio, así como sus interacciones. Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Para complementar el análisis estadístico del rendimiento, se calculó el rendimiento relativo de las parcelas de omisión e inclusión. Estos indicadores permitieron cuantificar la respuesta del cultivo frente a la ausencia o presencia individual de nitrógeno, fósforo y potasio.

Rendimiento relativo por omisión

El rendimiento relativo por omisión se determinó comparando el rendimiento de cada tratamiento donde se excluyó un nutriente con el rendimiento del tratamiento completo NPK (Buresh, 2009; Witt et al., 2007).

$$\boldsymbol{RRomisión}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{Romisión}}{\boldsymbol{RNPK}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- RRomisión: rendimiento relativo del tratamiento de omisión, expresado en porcentaje.
- Romisión: rendimiento obtenido en el tratamiento donde se omitió el nutriente i.
- RNPK: rendimiento obtenido en el tratamiento completo con N, P y K.

$$\boldsymbol{PRomisión} = \frac{\boldsymbol{RNPK - Romisión}}{\boldsymbol{RNPK}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- PRomisión: pérdida de rendimiento por omisión, en porcentaje.

Rendimiento relativo por inclusión

El rendimiento relativo por inclusión se calculó comparando el rendimiento obtenido mediante la aplicación individual de cada nutriente con el rendimiento del tratamiento testigo sin NPK (Buresh, 2009; Witt et al., 2007).

$$\boldsymbol{RRinclusión}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{Rinclusión}}{\boldsymbol{Rtestigo}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- RRinclusión: rendimiento relativo producido por la inclusión, expresado en porcentaje.
- Rinclusión: rendimiento obtenido con la aplicación individual del nutriente i.
- Rtestigo: rendimiento del tratamiento testigo sin aplicación de NPK.

$$\boldsymbol{IRinclusión} = \frac{\boldsymbol{Rinclusión - Rtestigo}}{\boldsymbol{Rtestigo}}\boldsymbol{X100}$$

- IRinclusión: incremento de rendimiento por la inclusión del nutriente, en porcentaje. Para la inclusión de nitrógeno.

Valor bruto de producción

El valor bruto de producción se obtuvo multiplicando el rendimiento comercial por el precio de venta por kilogramo (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{VBP = R\ X\ P}$$

Donde:

- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- R = rendimiento comercial, en kg ha^{-1}.
- P = precio de venta, en S/ kg^{-1}.

Utilidad neta

La utilidad neta se calculó descontando el costo total de producción del valor bruto (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{UN = VBP - CT}$$

Donde:

- UN = utilidad neta, en S/ ha^{-1}.
- VBP = valor bruto de producción, en S/ ha^{-1}.
- CT = costo total de producción, en S/ ha^{-1}.

Rentabilidad porcentual

La expresión cuantifica la utilidad obtenida por cada unidad monetaria invertida y permite comparar tratamientos con costos diferentes. La relación entre ingresos, costos y beneficios es un criterio utilizado en el análisis económico de tecnologías agrícolas (CIMMYT, 1988).

$$\boldsymbol{Rentabilidad}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{UN}}{\boldsymbol{CT}}\boldsymbol{X100}$$

Donde:

- UN = utilidad neta.
- CT = costo total de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables del rendimiento

Días a la floración (días)

Tabla 3.1.

Análisis de variancia (ANVA) de los días a la floración de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	1398.599	2	699.299	10.266	0.0018	**
Tratamientos	800.115	7	114.302	1.678	0.194	ns
Nitrógeno (N)	173.344	1	173.344	2.545	0.133	ns
Fósforo (P)	92.042	1	92.042	1.351	0.2645	ns
Potasio (K)	66.667	1	66.667	0.979	0.3393	ns
N x P	77.042	1	77.042	1.131	0.3056	ns
N x K	80.667	1	80.667	1.184	0.2949	ns
P x K	195.51	1	195.51	2.87	0.1124	ns
N x P x K	114.844	1	114.844	1.686	0.2151	ns
Error	953.651	14	68.118			
Total	3152.365	23				
CV	4.35%					

La tabla 3.1 del análisis de variancia muestra alta significación estadística entre bloques para los

días a la floración de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que existió variación entre los sectores donde se instalaron las unidades experimentales, posiblemente debido a diferencias en las condiciones del suelo, humedad disponible, drenaje o desarrollo inicial de las plantas. No se encontró significación estadística entre los tratamientos de omisión e inclusión de NPK. Esto indica que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una respuesta diferenciada en el número de días transcurridos hasta la floración. La descomposición de tratamientos tampoco mostró significación estadística para los efectos principales de nitrógeno, fósforo y potasio, ni para las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K. Por tanto, la presencia o ausencia de estos nutrientes no modificó estadísticamente la floración durante el periodo de evaluación. El coeficiente de variación fue de 4.35 %, valor que indica buena precisión experimental y permite tener confianza en los resultados obtenidos.

Tabla 3.2.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de los días a la floración de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Promedio de días a la floración	Tukey
T_2	Inclusión de nitrógeno	178.58	a
T_8	Tratamiento completo	185.25	a
T_5	Omisión de nitrógeno	187.75	a
T_7	Omisión de potasio	188.33	a
T_3	Inclusión de fósforo	189.42	a
T_1	Testigo sin NPK	195.58	a
T_6	Omisión de fósforo	195.67	a
T_4	Inclusión de potasio	196.58	a

En la Tabla 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística “a”, confirmando la ausencia de diferencias significativas para los días a la floración. Numéricamente, el tratamiento T2, correspondiente a la inclusión de nitrógeno, presentó la floración más temprana con 178.58 días, seguido del tratamiento completo T8 con 185.25 días, T5 con 187.75 días, T7 con 188.33 días y T3 con 189.42 días. Por otro lado, T1, T6 y T4 registraron los mayores periodos, con 195.58, 195.67 y 196.58 días, respectivamente. Entre T2 y T4 se registró una diferencia de 18.00 días, equivalente aproximadamente a una reducción de 9.16 % respecto al mayor periodo; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados difieren de lo reportado por Huaman (2023), quien, también bajo condiciones de Omaya-Pichari, encontró diferencias en los días a la floración al evaluar métodos de propagación, variedades y dosis de hidroabsorbente. Las plantas procedentes de cámara térmica alcanzaron la floración a los 257.17 días, mientras que las propagadas mediante hijuelos lo hicieron a los 250.25 días. Asimismo, la variedad Isla Maleño registró 255.37 días y la variedad Ordinario 252.33 días. Para el factor hidroabsorbente, se reportaron 257.29 días con 20 g, 256.13 días con 50 g y 247.48 días sin hidroabsorbente. En contraste, en la presente investigación los tratamientos variaron entre 178.58 y 196.58 días y no presentaron diferencias estadísticas por efecto de la omisión e inclusión de NPK.

Días a la cosecha de racimo (días)

Tabla 3.3.

Análisis de variancia (ANVA) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	305.922	2	152.961	5.858	0.0142	*
Tratamientos	687.792	7	98.256	3.763	0.0167	*
Nitrógeno (N)	145.042	1	145.042	5.555	0.0335	*
Fósforo (P)	290.51	1	290.51	11.127	0.0049	**
Potasio (K)	3.01	1	3.01	0.115	0.7392	ns
N x P	55.51	1	55.51	2.126	0.1669	ns
N x K	17.51	1	17.51	0.671	0.4265	ns

P x K	176.042	1	176.042	6.742	0.0211	*
N x P x K	0.167	1	0.167	0.006	0.9375	ns
Error	365.536	14	26.11			
Total	1359.25	23				
CV	1.85%					

La tabla 3.3 del análisis de variancia muestra diferencias significativas entre bloques para los días a la cosecha del racimo de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales influyeron en la duración del periodo comprendido entre la instalación y la cosecha.

Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK presentaron diferencias significativas (p=0.0167), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el número de días requerido para alcanzar la cosecha.

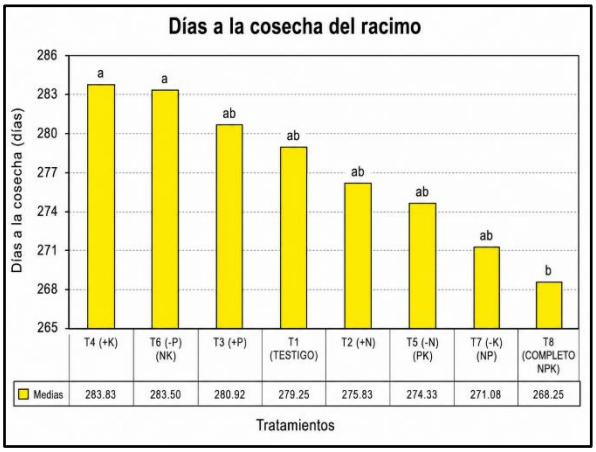
En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto significativo (p=0.0335), mientras que el fósforo mostró un efecto altamente significativo (p=0.0049). Estos resultados indican que la presencia o ausencia de ambos nutrientes estuvo relacionada con la duración del ciclo hasta la cosecha.

El efecto principal del potasio no fue significativo (p=0.7392). Sin embargo, la interacción entre fósforo y potasio resultó significativa (p=0.0211), lo que indica que la respuesta del fósforo dependió de la presencia o ausencia del potasio, o viceversa. Las interacciones N x P, N x K y N x P x K no presentaron significación estadística.

El coeficiente de variación fue de 1.85 %, valor que indica una buena precisión experimental y una reducida variabilidad de los resultados dentro de los bloques.

Figura 3.1.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de días a la cosecha de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.1 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para los días a la cosecha de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó la cosecha más temprana con 268.25 días y se ubicó en el grupo estadístico “b”. Los tratamientos T3, T1, T2, T5 y T7 presentaron valores intermedios entre 271.08 y 280.92 días, conformando el grupo “ab”. Por otro lado, T6, correspondiente a la omisión de fósforo, y T4, inclusión de potasio, registraron los mayores periodos con 283.50 y 283.83 días, respectivamente, y se ubicaron en el grupo “a”. Entre T8 y T4 se presentó una diferencia de 15.58 días, equivalente aproximadamente a 5.49 % respecto al mayor periodo, evidenciando una mayor precocidad del tratamiento completo NPK.

Estos resultados difieren de lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009), quienes en banano ‘Williams’ registraron 428.67 días en el tratamiento sin fertilización y 450.33, 441.67 y 423.33 días con diferentes niveles de NPK, sin encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos. Asimismo, Al-Busaidi (2013) obtuvo 339 días hasta la cosecha con NPK más micronutrientes aplicado en suelo mejorado, mientras que en suelo salino algunos tratamientos requirieron entre 453 y 494 días. En contraste, en

la presente investigación los tratamientos variaron entre 268.25 y 283.83 días y presentaron diferencias estadísticas significativas. Estas diferencias pueden atribuirse al material vegetal, las condiciones del suelo y el manejo de la fertilización, factores que pueden modificar la duración del ciclo productivo del banano.

Longitud de dedos (cm)

Tabla 3.4.

Análisis de variancia (ANVA) de longitud de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	1.066	2	0.533	0.189	0.8299	ns
Tratamientos	24.792	7	3.542	1.255	0.3388	ns
Nitrógeno (N)	5.51	1	5.51	1.952	0.1841	ns
Fósforo (P)	0.51	1	0.51	0.181	0.6771	ns
Potasio (K)	1.76	1	1.76	0.624	0.4429	ns
N x P	12.76	1	12.76	4.521	0.0518	ns
N x K	0.042	1	0.042	0.015	0.905	ns
P x K	4.167	1	4.167	1.476	0.2445	ns
N x P x K	0.042	1	0.042	0.015	0.905	ns
Error	39.517	14	2.823			
Total	65.375	23				
CV	7.81 %					

La tabla 3.4 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para la longitud de dedos de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en la longitud de los frutos. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK no presentaron diferencias significativas (p=0.3388), lo que señala que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una respuesta diferenciada en la longitud de los dedos de plátano. En la descomposición factorial, el nitrógeno, fósforo y potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Estos resultados indican que la presencia o ausencia individual de estos nutrientes no estuvo relacionada estadísticamente con la longitud de los frutos. Las interacciones N x K, P x K y N x P x K tampoco presentaron significación estadística. La interacción N x P registró un valor de p=0.0518, cercano al nivel de significación de 5 %; sin embargo, al ser ligeramente superior a 0.05, fue considerada no significativa. El coeficiente de variación fue de 7.81 %, valor que indica una precisión experimental aceptable y una variabilidad relativamente baja de los resultados dentro de los bloques.

Tabla 3.5.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de longitud de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Longitud promedio (pulgadas)	Tukey
T4	Inclusión de potasio	22.63	a
T7	Omisión de potasio	22.58	a
T1	Testigo sin NPK	22.5	a
T3	Inclusión de fósforo	22.08	a
T8	Tratamiento completo NPK	21.21	a
T5	Omisión de nitrógeno	20.71	a
T6	Omisión de fósforo	20.38	a
T2	Inclusión de nitrógeno	19.92	a

En la Tabla 3.5 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística “a”, indicando que no existieron diferencias significativas para la longitud de los dedos de *Musa balbisiana*. Numéricamente, el tratamiento T4, correspondiente a la inclusión de potasio, presentó el mayor promedio con 22.63 pulgadas, seguido de T7, omisión de potasio, y T1, testigo sin NPK, con 22.58 y 22.50 pulgadas, respectivamente. Los tratamientos T3 y T8 alcanzaron valores intermedios de 22.08 y 21.21 pulgadas, mientras que T5, T6 y T2 registraron 20.71, 20.38 y 19.92 pulgadas, respectivamente. Entre T4 y T2 se presentó una diferencia de 2.71

pulgadas, equivalente aproximadamente a 11.98 % respecto al mayor valor; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009), quienes en banano 'Williams' registraron longitudes de 13.70 cm en el tratamiento sin fertilización y de 15.72, 16.91 y 15.21 cm con diferentes niveles de NPK. Aunque observaron variaciones numéricas entre los tratamientos, estas tampoco fueron estadísticamente significativas. En la presente investigación ocurrió un comportamiento semejante, debido a que el incremento o la combinación de NPK no produjo un aumento estadísticamente comprobable en la longitud de los dedos. Esta coincidencia indica que la longitud del fruto puede presentar variaciones numéricas frente al manejo nutricional sin que estas necesariamente representen una respuesta significativa a la fertilización.

Tabla 3.6.

Análisis de variancia (ANVA) de diámetro de dedos de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	5.408	2	2.704	0.247	0.7844	ns
Tratamientos	93.598	7	13.371	1.222	0.3536	ns
Nitrógeno (N)	41.016	1	41.016	3.749	0.0733	ns
Fósforo (P)	7.454	1	7.454	0.681	0.423	ns
Potasio (K)	4.704	1	4.704	0.43	0.5226	ns
N x P	8.912	1	8.912	0.815	0.382	ns
N x K	0.146	1	0.146	0.013	0.9095	ns
P x K	27.896	1	27.896	2.55	0.1326	ns
N x P x K	3.469	1	3.469	0.317	0.5823	ns
Error	153.165	14	10.94			
Total	252.171	23				
CV	7.34%					

La tabla 3.6 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el diámetro de dedos de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el diámetro de los frutos. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK no presentaron diferencias significativas (p=0.3536), lo que señala que las diferentes combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio no produjeron una respuesta diferenciada en el diámetro de dedos de plátano. En la descomposición factorial, el nitrógeno, fósforo y potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Estos resultados indican que la presencia o ausencia individual de estos nutrientes no estuvo relacionada estadísticamente con el diámetro de los frutos. Las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K tampoco presentaron significación estadística. El efecto del nitrógeno fue el que registró el menor valor de probabilidad (p=0.0733); sin embargo, al ser superior a 0.05, fue considerado no significativo.

El coeficiente de variación fue de 7.34 %, valor que indica una precisión experimental aceptable y una variabilidad relativamente baja de los resultados dentro de los bloques.

Tabla 3.7.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de diámetro de dedos de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK

Tratamientos	Descripción nutricional	Diámetro promedio (cm)	Tukey
T_4	Inclusión de potasio	49.54	a
T_3	Inclusión de fósforo	46.17	a
T_1	Testigo sin NPK	45.58	a
T_6	Omisión de fósforo	44.79	a
T_5	Omisión de nitrógeno	44.29	a
T_7	Omisión de potasio	44.17	a
T_8	Tratamiento completo NPK	43.50	a
T_2	Inclusión de nitrógeno	42.67	a

En la Tabla 3.7 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que los ocho tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística "a",

indicando que no existieron diferencias significativas para el diámetro de los dedos de *Musa balbisiana*. Numéricamente, el tratamiento T4, correspondiente a la inclusión de potasio, presentó el mayor promedio con 49.54 cm, seguido de T3, inclusión de fósforo, y T1, testigo sin NPK, con 46.17 y 45.58 cm, respectivamente. Los tratamientos T6, T5, T7 y T8 alcanzaron valores intermedios de 44.79, 44.29, 44.17 y 43.50 cm, mientras que T2, inclusión de nitrógeno, registró el menor promedio con 42.67 cm. Entre T4 y T2 se presentó una diferencia de 6.87 cm, equivalente aproximadamente a 13.87 % respecto al mayor valor; sin embargo, esta diferencia fue únicamente numérica y no estadísticamente significativa.

Estos resultados **coinciden con lo reportado por Al-Harthi y Al-Yahyai (2009),** quienes en banano 'Williams' registraron diámetros de **2.72 cm** en el tratamiento sin fertilización y de **2.96, 3.21 y 3.10 cm** con diferentes niveles de NPK. Aunque se observaron incrementos numéricos con la fertilización, las diferencias tampoco fueron estadísticamente significativas. En la presente investigación se observó un comportamiento similar, debido a que las distintas combinaciones de NPK generaron variaciones en el diámetro de los dedos, pero estas no fueron suficientes para demostrar un efecto estadístico de la fertilización sobre esta característica del fruto.

Peso comercial de racimo (kg)

Tabla 3.8.

Análisis de variancia (ANVA) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

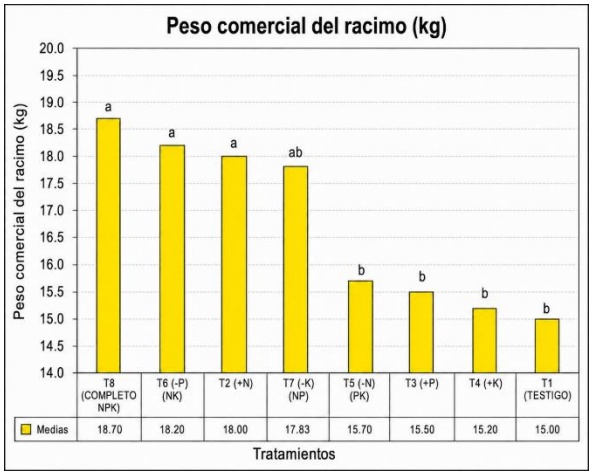
Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	0.083	2	0.042	0.083	0.9207	ns
Tratamientos	50.307	7	7.187	14.326	0.000021	**
Nitrógeno (N)	48.167	1	48.167	96.013	<0.0001	**
Fósforo (P)	0.667	1	0.667	1.329	0.2683	ns
Potasio (K)	0.807	1	0.807	1.608	0.2255	ns
N x P	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
N x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
P x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
N x P x K	0.167	1	0.167	0.332	0.5735	ns
Error	7.023	14	0.502			
Total	57.413	23				
CV	4.2%					

La tabla 3.8 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el peso comercial del racimo de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el peso comercial del racimo. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK presentaron diferencias altamente significativas (p=0.000021), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el peso comercial del racimo.

En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto altamente significativo (p<0.0001). Este resultado indica que la presencia o ausencia de nitrógeno estuvo relacionada con cambios estadísticamente comprobables en el peso comercial del racimo. El fósforo y el potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Asimismo, las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K no mostraron significación estadística, lo que indica que la respuesta de los nutrientes se manifestó principalmente a través del efecto individual del nitrógeno.

Figura 3.2.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de peso comercial de racimo de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para el peso comercial del racimo de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó el mayor promedio con 18.70 kg, seguido de T6, omisión de fósforo, y T2, inclusión de nitrógeno, con 18.20 y 18.00 kg, respectivamente, ubicándose en el grupo estadístico "a". El tratamiento T7, omisión de potasio, alcanzó 17.83 kg y se ubicó en el grupo "ab". Por otro lado, T5, T3, T4 y T1 registraron los menores valores con 15.70, 15.50, 15.20 y 15.00 kg, respectivamente, conformando el grupo "b". Entre T8 y T1 se presentó una diferencia de 3.70 kg, equivalente aproximadamente a 19.79 % respecto al mayor valor, evidenciando una mayor respuesta productiva con la aplicación completa de NPK.

Rendimiento por hectárea (kg/ha^{-1})

Tabla 3.9.

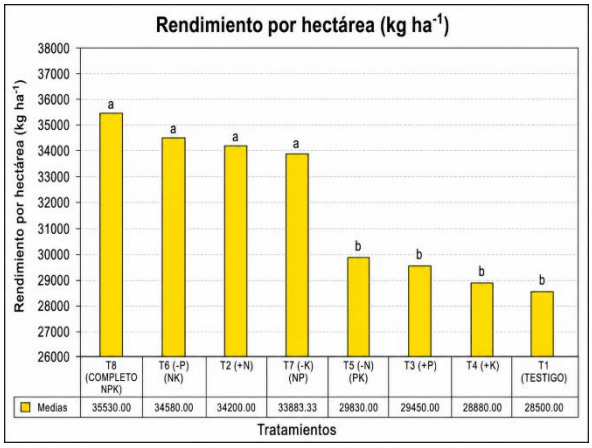
Análisis de variancia (ANVA) de rendimiento por hectárea de Musa balbisiana en parcelas de omisión e inclusión de NPK

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor	Significación
Bloques	300 833.33	2	150 416.67	0.083	0.9207	ns
Tratamientos	181 607 066.67	7	25 943 866.67	14.326	0.000021	**
Nitrógeno (N)	173 881 666.67	1	173 881 666.67	96.013	<0.0001	**
Fósforo (P)	2 406 666.67	1	2 406 666.67	1.329	0.2683	ns
Potasio (K)	2 912 066.67	1	2 912 066.67	1.608	0.2255	ns
N x P	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
N x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
P x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
N x P x K	601 666.67	1	601 666.67	0.332	0.5735	ns
Error experimental	25 354 233.33	14	1 811 016.67			
Total	207 262 133.33	23				
CV	4.22%					

La tabla 3.9 del análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre bloques para el rendimiento por hectárea de *Musa balbisiana*. Este resultado indica que las condiciones existentes en los sectores donde se instalaron las unidades experimentales no influyeron significativamente en el rendimiento del cultivo. Los tratamientos de omisión e inclusión de NPK presentaron diferencias altamente significativas (p=0.000021), lo que señala que al menos uno de los ocho tratamientos produjo una respuesta diferente en el rendimiento por hectárea. En la descomposición factorial, el nitrógeno presentó un efecto altamente significativo (p<0.0001). Este resultado indica que la presencia o ausencia de nitrógeno estuvo relacionada con cambios estadísticamente comprobables en el rendimiento del cultivo. El fósforo y el potasio no presentaron efectos significativos, debido a que sus valores de probabilidad fueron superiores a 0.05. Asimismo, las interacciones N x P, N x K, P x K y N x P x K no mostraron significación estadística, lo que indica que la respuesta de los nutrientes se manifestó principalmente a través del efecto individual del nitrógeno.

Figura 3.3.

Prueba de Tukey (α = 0.05) de rendimiento kg/ha^{-1} de Musa balbisiana según tratamientos de omisión e inclusión de NPK



En la Figura 3.2 se presenta la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05), donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados para el rendimiento por hectárea de *Musa balbisiana*. El tratamiento T8, correspondiente al tratamiento completo NPK, presentó el mayor rendimiento con 35 530.00 kg ha^{-1}, seguido de T6, T2 y T7 con 34 580.00, 34 200.00 y 33 883.33 kg ha^{-1}, respectivamente, conformando el grupo estadístico "a". Por otro lado, T5, T3, T4 y T1 registraron los menores rendimientos con 29 830.00, 29 450.00, 28 880.00 y 28 500.00 kg ha^{-1}, respectivamente, y se ubicaron en el grupo "b". Entre T_8 y T_1 se presentó una diferencia de 7 030.00 kg ha^{-1}, equivalente aproximadamente a 19.79 % respecto al mayor rendimiento, evidenciando una mayor respuesta productiva con el tratamiento completo NPK.

Respuesta de las parcelas de omisión e inclusión de NPK

Respuesta de las parcelas de omisión

Tabla 3.10.

Rendimiento relativo y pérdida de rendimiento por omisión de N, P y K en Musa balbisiana

Parcela	Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento relativo (%)	Pérdida de rendimiento (%)
Tratamiento completo	T8, NPK	35 530.00	100	0
Omisión de N	T5, PK	29 830.00	83.96	16.04
Omisión de P	T6, NK	34 580.00	97.33	2.67
Omisión de K	T7, NP	33 883.33	95.37	4.63

La tabla 3.10 muestra que la omisión de nitrógeno produjo la mayor reducción del rendimiento de *Musa balbisiana*. El tratamiento T5 alcanzó 29 830.00 kg ha^{-1}, equivalente al 83.96 % del rendimiento obtenido con el tratamiento completo NPK. Esto representó una pérdida de 16.04 %. La omisión de potasio, correspondiente al tratamiento T7, generó una pérdida de 4.63 %, mientras que la omisión de fósforo, representada por T6, produjo la menor reducción, con 2.67 %. En consecuencia, el nitrógeno fue el nutriente cuya ausencia ocasionó la mayor disminución del rendimiento, seguido del potasio y del fósforo.

Respuesta de las parcelas de inclusión

Tabla 3.11.

Rendimiento relativo e incremento de rendimiento por inclusión de N, P y K en Musa balbisiana

Parcela	Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Rendimiento relativo (%)	Incremento de rendimiento (%)
Testigo sin NPK	T1	28 500.00	100	0
Inclusión de N	T2	34 200.00	120	20
Inclusión de P	T3	29 450.00	103.33	3.33
Inclusión de K	T4	28 880.00	101.33	1.33

La tabla 3.11 muestra que la inclusión individual de nitrógeno produjo el mayor incremento del rendimiento. El tratamiento T2 alcanzó 34 200.00 kg ha^{-1}, equivalente al 120.00 % del rendimiento del testigo, lo que representó un incremento de 20.00 %. La inclusión de fósforo incrementó el rendimiento en 3.33 %, mientras que la aplicación individual de potasio produjo un aumento de 1.33

% respecto al tratamiento sin NPK. Estos resultados indican que el cultivo presentó una mayor respuesta a la incorporación de nitrógeno, mientras que las inclusiones de fósforo y potasio generaron incrementos menores.

Identificación del nutriente limitante

Tabla 3.12.

Comparación de la respuesta por omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana

Nutriente	Pérdida por omisión (%)	Incremento por inclusión (%)	Orden de limitación
Nitrógeno	16.04	20	1
Potasio	4.63	1.33	2
Fósforo	2.67	3.33	3

En la tabla 3.12 el análisis conjunto de las parcelas de omisión e inclusión evidencia que el nitrógeno fue el nutriente de mayor limitación para el rendimiento de *Musa balbisiana*. Su omisión ocasionó una pérdida de 16.04 %, mientras que su inclusión individual produjo un incremento de 20.00 % respecto al testigo. El potasio ocupó el segundo lugar en el orden de limitación, debido a que su omisión generó una reducción de 4.63 %. El fósforo presentó la menor pérdida por omisión, con 2.67 %, aunque su inclusión produjo un incremento de 3.33 %.

La mayor respuesta observada al nitrógeno guarda relación con las condiciones nutricionales iniciales del suelo experimental, que presentó 0.06 % de nitrógeno total, clasificado como pobre. Esta condición permite explicar que la omisión de N ocasionara la mayor reducción del rendimiento, mientras que su incorporación individual produjera el mayor incremento respecto al tratamiento testigo. En consecuencia, bajo las condiciones del ensayo, el nitrógeno presentó la mayor influencia sobre la respuesta productiva de *Musa balbisiana*.

Rentabilidad

Tabla 3.14.

Análisis económico de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana, ordenados de mayor a menor rentabilidad

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Costo de producción (S/ ha^{-1})	Precio (S/ kg^{-1})	Valor bruto de producción (S/ ha^{-1})	Utilidad neta (S/ ha^{-1})	Rentabilidad (%)
T2	34 200.00	12 529.85	1.91	65 322.00	52 792.15	**421.33**
T7	33 883.33	12 869.85	1.91	64 717.16	51 847.31	**402.86**
T8	35 530.00	14 299.85	1.91	67 862.30	53 562.45	**374.57**
T6	34 580.00	13 959.85	1.91	66 047.80	52 087.95	**373.13**
T3	29 450.00	11 939.85	1.91	56 249.50	44 309.65	**371.11**
T1	28 500.00	11 600.00	1.91	54 435.00	42 835.00	**369.27**
T5	29 830.00	13 369.85	1.91	56 975.30	43 605.45	**326.15**
T4	28 880.00	13 029.85	1.91	55 160.80	42 130.95	**323.34**

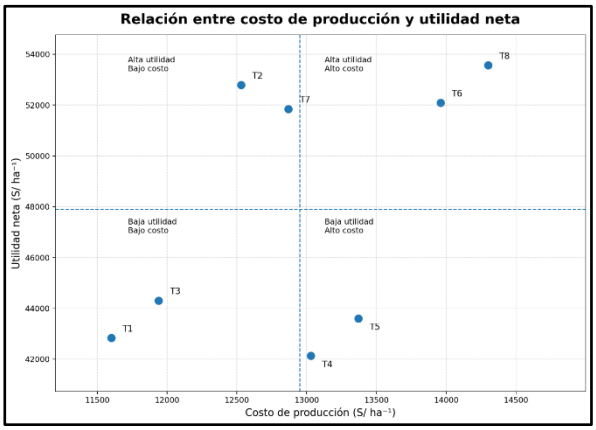
La tabla 3.14 de análisis económico, ordenada de mayor a menor rentabilidad, muestra que el tratamiento T_2, correspondiente a la inclusión individual de nitrógeno, presentó la mayor rentabilidad, con 421.33 %, seguido del tratamiento T_7, omisión de potasio, con 402.86 %. Estos resultados indican que ambos tratamientos generaron los mayores beneficios en relación con la inversión realizada. El tratamiento T_8, correspondiente al tratamiento completo NPK, ocupó el tercer lugar en rentabilidad con 374.57 %, aunque presentó el mayor valor bruto de producción (S/ 67 862.30) y la mayor utilidad neta (S/53 562.45ha^{-1}). Esto indica que, si bien fue el tratamiento más productivo, su costo de producción también fue el más alto, lo que redujo su rentabilidad relativa frente a T_2.

Los tratamientos T_6, T_3 y T_1 mostraron rentabilidades intermedias de 373.13 %, 371.11 % y 369.27 %, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos T_5 y T_4 registraron las menores rentabilidades, con 326.15 % y 323.34 %, debido a que sus costos de producción fueron relativamente elevados en relación con los rendimientos alcanzados. En consecuencia, el tratamiento T_2 fue el más conveniente desde el punto de vista económico, mientras que el tratamiento T_8 destacó por presentar la mayor producción y la mayor utilidad neta. Esto confirma que el tratamiento de mayor rendimiento

no necesariamente corresponde al tratamiento de mayor rentabilidad porcentual.

Figura 3.7.

Matriz de costo de producción y utilidad neta de los tratamientos de omisión e inclusión de NPK en Musa balbisiana



La figura 3.7 presenta la relación entre el costo de producción y la utilidad neta de los tratamientos evaluados. Las líneas discontinuas corresponden a los valores promedio de ambas variables y dividen el gráfico en cuatro cuadrantes, lo que permite identificar los tratamientos con mayor o menor eficiencia económica. Los tratamientos T_2 y T_7 se ubicaron en el cuadrante de alta utilidad y bajo costo, por lo que mostraron el comportamiento económico más favorable. Entre ellos, T_2 destacó por alcanzar una utilidad neta de S/ 52 792.15 ha^{-1} con un costo de producción de S/ 12 529.85 ha^{-1}, mientras que T7 obtuvo una utilidad de S/ 51 847.31 ha^{-1} con un costo de S/ 12 869.85 ha^{-1}.

Los tratamientos T6 y T8 se ubicaron en el cuadrante de alta utilidad y alto costo. T_8 presentó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, pero también el mayor costo de producción, con S/ 14 299.85 ha^{-1}. T_6 mostró un comportamiento similar, con una utilidad elevada, aunque requirió una inversión mayor que T_2 y T_7.

Los tratamientos T_1 y T_3 se situaron en el cuadrante de baja utilidad y bajo costo. Esto indica que demandaron una menor inversión, pero también generaron beneficios netos inferiores al promedio general. Finalmente, los tratamientos T_4 y T_5 se ubicaron en el cuadrante de baja utilidad y alto costo, lo que evidencia la menor eficiencia económica entre los tratamientos evaluados. Estos tratamientos combinaron costos de producción relativamente altos con utilidades netas inferiores al promedio.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se condujo el experimento, los resultados encontrados permiten arribar a las siguientes conclusiones:

1. La omisión e inclusión de NPK influyó significativamente en el rendimiento de *Musa balbisiana*. El tratamiento T_8 (completo: N + P + K) alcanzó el mayor rendimiento con 35 530.00 kg ha^{-1}, mientras que T_1 (testigo: sin aplicación de NPK) obtuvo 28 500.00 kg ha^{-1}. La omisión de nitrógeno redujo el rendimiento en 16.04 %, mientras que su inclusión produjo un incremento de 20.00 % respecto al testigo, identificándose al nitrógeno como el nutriente de mayor limitación y estableciéndose el orden N > K > P.

2. El tratamiento T_2 (+N: inclusión de nitrógeno) presentó la mayor rentabilidad económica con 421.33 % y una utilidad neta de S/ 52 792.15 ha^{-1}. El tratamiento T_8 (completo: N + P + K) alcanzó la mayor utilidad neta, con S/ 53 562.45 ha^{-1}, y una rentabilidad de 374.57 %; por tanto, T_2 (+N: inclusión de nitrógeno) presentó la mayor eficiencia económica respecto al capital invertido, mientras que T_8 (completo: N + P + K) destacó por su mayor producción y utilidad neta.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el análisis de suelo y la técnica de parcelas de omisión e inclusión antes de establecer un programa de fertilización para *Musa balbisiana* en Pichari. Debido a que el nitrógeno fue identificado como el nutriente de mayor limitación, su

aplicación debe priorizarse y fraccionarse durante el ciclo del cultivo, evitando recomendar únicamente la combinación completa de NPK sin considerar la disponibilidad natural de nutrientes del terreno.

2. Se recomienda validar los tratamientos T2 y T8 durante más de un ciclo productivo y en parcelas de productores de diferentes sectores de Pichari. La evaluación debe considerar variaciones en fertilidad del suelo, precipitación, precio de los fertilizantes y precio de venta del racimo, con la finalidad de confirmar si T2 mantiene la mayor rentabilidad y si T8 conserva la mayor productividad y utilidad neta bajo condiciones comerciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aba, S. C., Baiyeri, K. P., & Ortiz, R. (2021). Soil fertility dynamics and yield responses of four plantain genotypes to different nutrient management systems in Nsukka, southeastern Nigeria. *Fruits, 76*(3), 134–144. https://doi.org/10.17660/TH2021/76.3.4

Al-Harthi, K., & Al-Yahyai, R. (2009). Effect of NPK fertilizer on growth and yield of banana in Northern Oman. *Journal of Horticulture and Forestry*, *1*(8), 160–167.

Espinoza Pacheco, E. (2020). *Abonamiento orgánico-mineral en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa paradisiaca en Omaya a 570 m s. n. m., Pichari* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Banana market review: Preliminary results 2025*. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd8079en

Huaman Curo, J. (2023). *Polímeros hidroabsorbentes y métodos de propagación en el crecimiento y rendimiento de variedades de plátano (Musa sp.) Omaya 575 m s. n. m., Pichari* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6125

Li, L.-F., Wang, H.-Y., Zhang, C., Wang, X.-F., Shi, F.-X., Chen, W.-N., & Ge, X.-J. (2013). Origins and domestication of cultivated banana inferred from chloroplast and nuclear genes. *PLOS ONE, 8*(11), e80502. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080502

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2026). *Boletín estadístico mensual El agro en cifras: Diciembre 2025*. https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/6573082-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2025

Ñaña Huarancca, W. (2025). *Dosis de microorganismos eficaces en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa sp. en Pichari, Cusco–2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/8274

Ohagan, J. M., Harnaiz, L. L. A., Nagal, C. J. C., Taylaran, R. D., & Gonzaga, A. B., Jr. (2023). Productivity of 'Saba' banana (*Musa acuminata* × *balbisiana*) as influenced by different levels of NPK fertilizer under Jasaan soil series. *Mindanao Journal of Science and Technology, 21*(1), 186–201. https://mjst.ustp.edu.ph/index.php/mjst/article/view/1516

Oriundo Huaman, K. M. (2023). *Frecuencia de abonamiento en la productividad y rentabilidad de dos variedades de Musa sp. en el semillero de Omaya, Pichari, Cusco 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6124

Villaseñor-Ortiz, D., Prado, R. de M., Silva, G. P. da, & Lata-Tenesaca, L. F. (2022a). Applicability of DRIS in bananas based on the accuracy of nutritional diagnoses for nitrogen and potassium. *Scientific Reports*, *12*, Article 17525. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22554-w

Witt, C., Buresh, R. J., Peng, S., Balasubramanian, V., & Dobermann, A. (2007). *A practical guide to nutrient management*. International Rice Research Institute.