

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE *Manihot esculenta* (YUCA) BAJO
TRES FÓRMULAS DE FERTILIZACIÓN (NPK) EN LA PROVINCIA DE
OXAPAMPA**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

CARLOS EDUARDO JIMENEZ SERNA

Asesor

FAUSTO SILVA CÁRDENAS

Tingo María – Perú.

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 029-2023-FA-UNAS

BACHILLER : CARLOS EDUARDO JIMENEZ SERNA

TÍTULO : "RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE *Manihot esculenta* (YUCA) BAJO TRES FORMULAS DE FERTILIZACIÓN (NPK) EN LA PROVINCIA DE OXAPAMPA"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO

VOCAL : M.Sc. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA

VOCAL : M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS

ASESOR : M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 24/11/2023

HORA DE SUSTENTACIÓN : 10:00 A.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA AUDIVISUAL DE LA F.A

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 24 DE NOVIEMBRE DE 2023

Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
PRESIDENTE

M.Sc. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
VOCAL

M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS
VOCAL

M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 012 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

| | | | |
|-------|---|------------------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de Suficiencia Profesional | |
|-------|---|------------------------------------|--|

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE DE SIMILITUD |
|--|------------------------------|------------------------------|
| RENDIMIENTO DE CUATRO VARIETADES DE Manihot esculenta (YUCA) BAJO TRES FÓRMULAS DE FERTILIZACIÓN (NPK) EN LA PROVINCIA DE OXAPAMPA | CARLOS EDUARDO JIMÉNEZ SERNA | 15 % Quince |

Tingo María, 20 de enero de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE *Manihot esculenta* (YUCA) BAJO
TRES FORMULAS DE FERTILIZACIÓN (NPK) EN LA PROVINCIA DE
OXAPAMPA”**

Autor : Carlos Eduardo JIMÉNEZ SERNA
Asesor : M Sc. Fausto SILVA CÁRDENAS
Programa de investigación : Suelos y fertilizantes
Línea de investigación : Fertilidad, clasificación, biología y manejo de suelo
Eje temático : Fertilización en yuca
Lugar de ejecución : Puerto Bermúdez
Duración : 12 meses
Financiamiento : Propio

Tingo María – Perú, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Facultad de Agronomía

Título de Tesis : “Rendimiento de cuatro variedades de *Manihot esculenta* (Yuca) bajo tres fórmulas de fertilización (NPK) en la Provincia de Oxapampa”

Autor : Carlos Eduardo Jiménez Serna

DNI : 43962842

Correo electrónico : carlos.jimenez@unas.edu.pe

Asesor : M. Sc. Fausto SILVA CÁRDENAS

Escuela Profesional : Agronomía

Programa de Investigación : Suelos y fertilizantes

Línea (s) de Investigación : Fertilidad, clasificación y manejo de suelo

Eje temático de investigación : Fertilización en yuca

Lugar de Ejecución : Puerto Bermúdez

Duración del trabajo : 12 meses

 Inicio : Julio 2020

 Término : Junio 2021

Financiamiento :

 FEDU : NO

 Propio : SI

 Otros : NO

Tingo María - Perú - Enero, 2025

DEDICATORIA

A Dios: por sus tantas bendiciones e iluminarme siempre, y por su amor incondicional.

A mi querido padre: Aquiles Jiménez Alarcón, quien siempre me brinda su amor, atención y apoyo en todo momento de mi vida.

A mi querida madre: Feliciano Serna Ortega, por creer en mí, por enseñarme que en la vida todo es posible y quien siempre me da lo mejor para afrontar la vida, me ilumina y protege cada día de mi vida.

A mis queridos hermanos: Marcelino, Luzmila, Alicia, Julio Cesar, Aquiles y Sulma, por creer siempre en mí y por brindarme su amor y apoyarme en todo momento de mi vida.

A mi amada esposa: Inés Córdova Cana, por su apoyo y motivación constante durante el desarrollo de la presente investigación y en todo momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial, a los docentes de la Facultad de Agronomía por transmitirme sus enseñanzas y experiencia para mi formación profesional como futuro Ingeniero Agrónomo.
- A mis jurados de tesis: al presidente Dr. José W. Zavala Solórzano y a los miembros M. Sc. Luis Mansilla Minaya y M. Sc. Jaime Josseph Chávez Matías por la orientación y recomendaciones durante la investigación; pero, sobre todo, por las recomendaciones y sugerencias para mejorar el informe final de tesis.
- A mi asesor M. Sc. Fausto Silva Cárdenas; por sus sugerencias y recomendaciones en este trabajo de investigación y, sobre todo, en la elaboración del informe de la presente tesis.
- Al Ing. Erick C. Romero Carrion; por sus oportunas sugerencias y recomendaciones, que contribuyeron significativamente en la elaboración del informe final de esta tesis."
- A mis familiares, amigos y a aquellas personas que colaboraron o participaron en la realización de esta investigación.

ÍNDICE

| | Página |
|---|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo general..... | 1 |
| 1.2. Objetivos específicos | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1. Origen y distribución | 2 |
| 2.2. Fenología del cultivo..... | 2 |
| 2.2.1. Etapa de crecimiento lento | 3 |
| 2.2.2. Etapa de máximo crecimiento | 3 |
| 2.2.3. Etapa de tuberización..... | 3 |
| 2.2.3.1. Fase de tuberización. | 3 |
| 2.2.3.2. Fase de engrosamiento. | 3 |
| 2.2.3.3. Fase de acumulación. | 3 |
| 2.2.4. Etapa de senescencia | 3 |
| 2.3. Variedades..... | 4 |
| 2.3.1. Variedad Amarilla | 4 |
| 2.3.2. Variedad Blanca | 4 |
| 2.3.3. Variedad yuca Blanca (Hoja morada) | 4 |
| 2.3.4. Variedad señorita..... | 5 |
| 2.4. Factores edafoclimáticos del cultivo de yuca | 5 |
| 2.4.1. Suelo | 5 |
| 2.4.2. Temperatura..... | 5 |
| 2.5. Manejo agronómico | 5 |
| 2.5.1. Preparación del terreno..... | 5 |
| 2.5.2. Siembra..... | 6 |
| 2.5.3. Distanciamiento de siembra..... | 6 |
| 2.5.4. Control de malezas | 6 |
| 2.5.5. Fertilización | 7 |
| 2.6. Fertilización en el cultivo de yuca | 7 |
| 2.6.1. Deficiencia de elementos nutricionales | 9 |
| 2.7. Trabajos de investigación..... | 11 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Ubicación del campo experimental..... | 14 |
| 3.2. Zona de vida y características climáticas..... | 14 |
| 3.2.1. Ecología..... | 14 |
| 3.2.2. Datos meteorológicos..... | 15 |
| 3.3. Materiales y métodos..... | 15 |
| 3.3.1. Materiales y equipos..... | 15 |
| 3.3.2. Metodología..... | 16 |
| 3.3.2.1. Componentes en estudio..... | 16 |
| 3.3.2.2. Tratamientos en estudio..... | 16 |
| 3.3.2.3. Diseño experimental..... | 17 |
| 3.3.2.4. Esquema de análisis de variancia..... | 18 |
| 3.3.2.5. Características del campo experimental..... | 18 |
| 3.3.2.6. Croquis del experimento..... | 19 |
| 3.4. Ejecución del experimento..... | 20 |
| 3.4.1. Preparación del terreno..... | 20 |
| 3.4.2. Delimitación de parcelas en el campo experimental..... | 20 |
| 3.4.3. Muestreo del suelo y análisis de suelo..... | 21 |
| 3.4.4. Siembra..... | 22 |
| 3.4.5. Fertilización..... | 22 |
| 3.4.6. Deshierbo..... | 23 |
| 3.4.7. Control de plagas y enfermedades..... | 23 |
| 3.4.8. Cosecha..... | 23 |
| 3.5. Características a evaluar..... | 24 |
| 3.5.1. Altura de planta..... | 24 |
| 3.5.2. Diámetro del tallo..... | 24 |
| 3.5.3. Número total de raíces reservantes por planta..... | 24 |
| 3.5.4. Número de raíces reservantes comerciales por planta..... | 24 |
| 3.5.5. Peso total de raíces reservantes por planta..... | 24 |
| 3.5.6. Peso raíces reservantes comerciales por planta..... | 24 |
| 3.5.7. Rendimiento total de raíces reservantes..... | 24 |
| 3.5.8. Rendimiento de raíces reservantes comerciales..... | 24 |
| 3.5.9. Análisis de rentabilidad..... | 24 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 25 |
| 4.1. Parámetros agronómicos del cultivo de yuca..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 4.1.1. Altura | 25 |
| 4.1.2. Diámetro | 30 |
| 4.2. Rendimiento del cultivo de yuca..... | 35 |
| 4.2.1. Número y peso total de raíces reservantes del cultivo de yuca | 35 |
| 4.2.2. Número y peso total de raíces comerciales del cultivo de yuca | 40 |
| 4.2.3. Rentabilidad en la producción del cultivo de yuca..... | 44 |
| V. CONCLUSIONES | 47 |
| VI. PROPUESTAS A FUTURO..... | 48 |
| VII. REFERENCIAS | 49 |
| ANEXOS..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|---------------|
| 1. Extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas cosechadas de varios cultivares de yuca. | 8 |
| 2. Fertilización promedio para dos rendimientos de yuca según extracción de nutrientes del cultivo. | 8 |
| 3. Absorciones total y promedio de NPK para una tonelada de yuca. | 9 |
| 4. Clasificación de los elementos esenciales según su movilidad por el floema de la planta de yuca. | 10 |
| 5. Síntomas de deficiencia de nutrientes en yuca. | 10 |
| 6. Datos meteorológicos registrados durante julio del 2020 hasta mayo del 2021. | 15 |
| 7. Descripción de los tratamientos en estudio. | 17 |
| 8. Esquema del análisis de variancia (ANVA). | 18 |
| 9. Análisis físico y químico de suelo del campo experimental. | 21 |
| 10. Momentos de aplicación de los fertilizantes. | 23 |
| 11. Análisis de varianza ($\alpha=0,05$) para altura de plantas de yuca. | 25 |
| 12. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) de la altura de la planta de yuca según factores en estudio. | 26 |
| 13. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) de la altura de la planta (cm) de yuca según tratamientos en estudio. | 27 |
| 14. Análisis de varianza ($\alpha=0,05$) para diámetro de yuca. | 30 |
| 15. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del diámetro de la planta de yuca según factores en estudio. | 31 |
| 16. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del diámetro (cm) de la planta de yuca según tratamientos en estudio. | 33 |
| 17. Análisis de varianza ($\alpha=0,05$) para número total y peso total de raíces reservantes de yuca. | 35 |
| 18. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del número y peso de raíces/planta según factores en estudio. | 36 |
| 9 Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del peso total de raíces reservantes/planta según factores en estudio. | 37 |
| 20. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del rendimiento de yuca según tratamientos en estudio. | 38 |

| | |
|--|----|
| 21. Análisis de varianza ($\alpha=0,05$) para número y peso total de raíces comerciales de yuca/planta. | 40 |
| 22. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del número y peso total de raíces comerciales de yuca/planta según factores en estudio. | 41 |
| 23. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del peso total de raíces comerciales de yuca/planta según factores en estudio. | 42 |
| 24. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del rendimiento de raíces comerciales/planta de los tratamientos..... | 43 |
| 25. Análisis beneficio costo (ABC) en los diferentes tratamientos. | 45 |
| 26. Cálculo de requerimiento nutricional según análisis de suelo y costo por factor. | 53 |
| 27. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Amarilla. | 54 |
| 28. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Tarmeña. | 55 |
| 29. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Blanca..... | 56 |
| 30. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Camerún. | 57 |
| 31. Análisis de suelo del área experimental. | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|---------------|--|---------------|
| 1. | Fenología del cultivo de yuca..... | 2 |
| 2. | Ubicación del campo experimental | 14 |
| 3. | Croquis del campo experimental, disposición de los bloques y distribución de los tratamientos..... | 19 |
| 4. | Croquis de un tratamiento en estudio. | 20 |
| 5. | Altura de las plantas de yuca a los 10 meses..... | 27 |
| 6. | Diámetro de las plantas de yuca a los 10 meses..... | 32 |
| 7. | Preparación y demarcación del campo experimental. | 59 |
| 8. | Corte de las estacas de yuca para los tratamientos en estudio..... | 59 |
| 9. | Siembra de estacas de yuca y siembra en ángulo de 45° al suelo el 13 de julio del 2020. | 60 |
| 10. | Prendimiento y desarrollo vegetativo de las variedades de yuca a los 45 días después del plante..... | 60 |
| 11. | Aplicación de Lorsban 2,5 % PS para control oportuno de plagas. | 61 |
| 12. | Fertilización de NPK a 30 días después del plante de estacas de yuca en campo. | 61 |
| 13. | Evaluación de la altura de planta de yuca antes de la cosecha..... | 62 |
| 14. | Evaluación del diámetro del tallo de yuca con Vernier mecánico. | 62 |
| 15. | Cosecha y selección de raíces reservantes de yuca. | 63 |
| 16. | Evaluación de la producción de yuca en kg/ha. | 63 |
| 17. | Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Amarilla. | 64 |
| 18. | Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Tarmeña. | 64 |
| 19. | Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Blanca. | 65 |
| 20. | Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Camerún..... | 65 |
| 21. | Visita de ejecución de tesis por el Jurado, Ing. Jaime J. Chávez Matías..... | 66 |

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de cuatro variedades de yuca (*Manihot esculenta*) bajo tres fórmulas de fertilización NPK. Se empleó un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial, conformado por 16 tratamientos y cuatro bloques. Cada tratamiento consistió en 100 plantas distribuidas en cuatro parcelas, incluyendo tres niveles de fertilización y un testigo. Se respetaron distancias de siembra de 0,80 x 1,0 m y se evaluaron nueve plantas por parcela para minimizar efectos de borde y competencia lumínica. El análisis de varianza de la altura de planta en las cinco evaluaciones reveló que no hubo diferencias estadísticas significativas ($\alpha > 0,05$) para los efectos de bloques, niveles de fertilización ni la interacción entre ambos factores. Sin embargo, se encontraron diferencias altamente significativas ($\alpha < 0,05$) entre los tratamientos y las variedades de yuca, indicando que al menos una de las variedades presentó un comportamiento superior en esta variable biométrica.

Se determinó que la variedad Camerún, bajo la fórmula de fertilización 204-24-208 kg/ha de NPK, obtuvo los mejores valores de altura (368,14 cm) y diámetro de tallo (3,19 cm), correspondientes a los tratamientos T₁₁ y T₁₅. En cuanto a la producción de raíces tuberosas comerciales, Camerún también presentó los mayores rendimientos: 49,00 t/ha (T₁₄) y 46,63 t/ha (T₁₅) con fertilizaciones de 153-18-156 y 204-24-208 kg/ha de NPK, respectivamente. Finalmente, el análisis beneficio/costo (B/C) identificó al tratamiento T₁₄ como el más rentable, con una ganancia de S/ 6,37 por cada S/ 1,00 invertido.

Palabras clave: Fertilización (NPK), *Manihot esculenta* (yuca), Rendimiento, variedad.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the yield of four cassava varieties (*Manihot esculenta*) under three NPK fertilization formulas. A completely randomized block design (CRBD) with a factorial arrangement was used, consisting of 16 treatments and four blocks. Each treatment consisted of 100 plants distributed in four plots, including three fertilization levels and a control. Planting distances of 0,80 x 1,0 m were respected, and nine plants per plot were evaluated to minimize edge effects and light competition. Analysis of variance for plant height in the five evaluations revealed no statistically significant differences ($\alpha > 0,05$) for the effects of blocks, fertilization levels, or the interaction between both factors. However, highly significant differences ($\alpha < 0,05$) were found between treatments and cassava varieties, indicating that at least one of the varieties showed superior performance in this biometric variable.

It was determined that the Cameroon variety, under the fertilization formula 204-24-208 kg/ha of NPK, obtained the best values of height (368,14 cm) and stem diameter (3,19 cm), corresponding to treatments T₁₁ and T₁₅. Regarding the production of commercial tuberous roots, Cameroon also presented the highest yields: 49,00 t/ha (T₁₄) and 46,63 t/ha (T₁₅) with fertilizations of 153-18-156 and 204-24-208 kg/ha of NPK, respectively. Finally, the benefit/cost (B/C) analysis identified treatment T₁₄ as the most profitable, with a profit of S/ 6,37 for every S/ 1,00 invested.

Keywords: Fertilization (NPK), *Manihot esculenta* (cassava), Yield, variety.

I. INTRODUCCIÓN

La *Manihot esculenta* (yuca), es un cultivo originario del trópico de América, que pertenece a la familia Euphorbiaceae, La raíz posee alto potencial para la producción de energía, con una gran capacidad de adaptación, resistencia a la sequía, tolerante a suelos pobres, relativamente fácil de cultivar y con un rendimiento potencialmente alto). En cuanto a calorías, es el cuarto cultivo tropical con mayor producción, utilizado tanto para consumo humano como para animal (Inga y López, 2001).

La fertilización y un manejo adecuado de la yuca, logran optimizar la producción pues los nutrimentos se encuentran disponibles a la planta, además de su amplia adaptabilidad al ambiente y su expresión del potencial genético, mejora su rendimiento y calidad dependiendo de la variedad (Gil, 2019; Torres, 2020).

La yuca logra producir de manera satisfactoria en lugares en que otros cultivos no pueden producir, por lo que se considera un cultivo rústico. La mayor cantidad de áreas en producción están en la selva (67 %), teniendo a Loreto como mayor productor (29,60 %) y a Tumbes como menor productor (0,10 %). Por su parte, la región Ucayali tiene un área sembrada de 6,9 mil has con un rendimiento de 12,90 t/ha (Rioja, 2020), demostrando así que los problemas en la producción de yuca son principalmente la densidad inadecuada de siembra y los inapropiados planes de fertilización, lo que genera rendimientos bajos.

Considerando esta problemática surge la presente investigación, para poder brindar al agricultor la variedad de yuca (Amarilla, Blanca, Tarmeña y Camerún) con la mayor producción, donde se pretenderá plantear una alternativa viable, en cuanto a la rentabilidad, bajo efectos de fertilizantes NPK, al utilizar adecuadamente la variedad de yuca que resulte con mayor rendimiento. Por los antecedentes, mencionados, esta investigación tiene los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de cuatro variedades de *M esculenta* (Yuca) bajo tres fórmulas de fertilización (NPK) en la provincia de Oxapampa.

1.2. Objetivos específicos

1. Determinar la mejor fórmula de fertilización de NPK en el rendimiento del cultivo de yuca.
2. Determinar la mejor variedad de yuca en la producción de raíces reservantes.
3. Determinar el análisis de rentabilidad o relación de costo/beneficio en el rendimiento del cultivo de yuca.

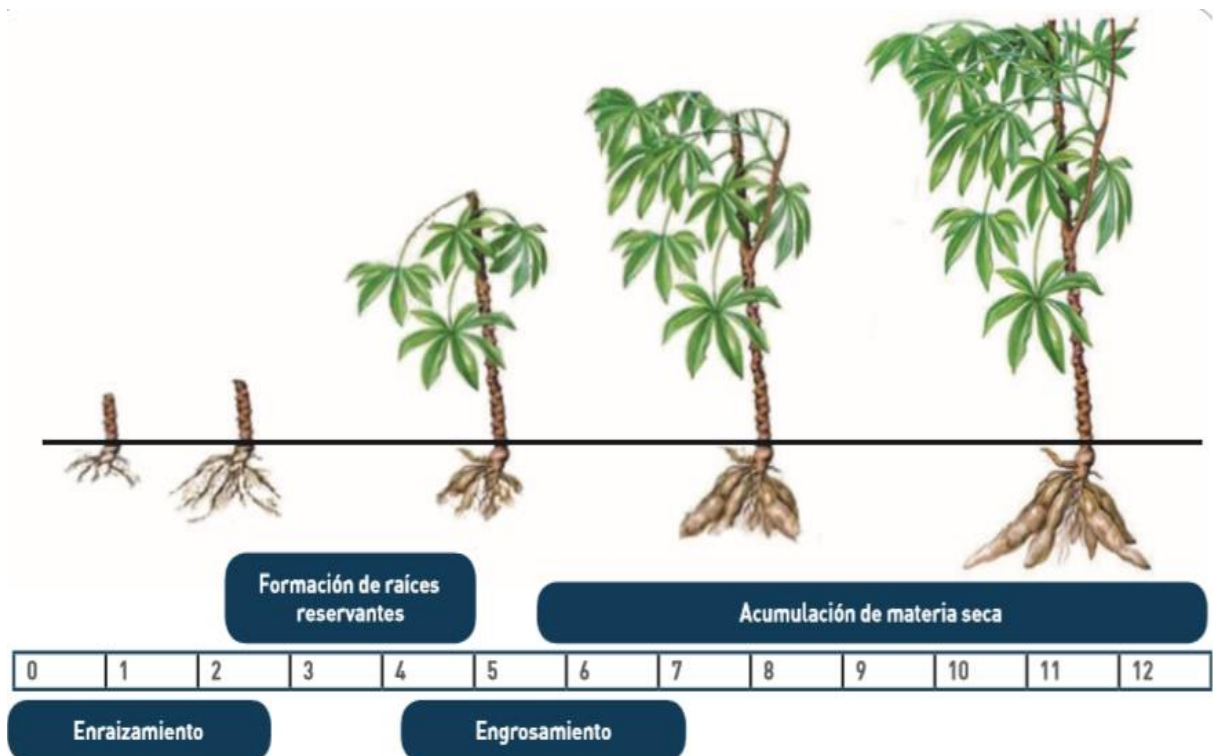
II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución

El origen de la “yuca” es desconocido, aunque los botánicos y ecólogos, en su mayoría, consideran que proviene de América tropical, teniendo como probable origen el Noreste del Brasil, donde habita la mayor diversidad del género (Elías y Mejía, 2014). Se distribuye en Estados Unidos desde Arizona, hasta Argentina de la cuenca del Plata; no obstante, las especies taxonómicas de *M. Manihot* más afines han sido encontradas en la parte norte de Brasil. La gran parte de diversidad de especies se encuentra en la parte central, de Brasil en el norte y oeste (Mato Grosso), y en Bolivia y México en la parte sur (Aguilar et al., 2017). En la costa del Perú se rastrearon restos arqueológicos en Ancón – Chillón, con 4500 años de antigüedad (Seminario, 2004).

2.2. Fenología del cultivo

Según Aguilar et al. (2017) la yuca es un cultivo anual y su ciclo de vida puede estar en 6 y 12 meses, lo cual depende de las características genéticas del cultivar, así como, de las condiciones climáticas en la cual se desarrolla:



Fuente: Aguilar et al. (2017)

Figura 1. Fenología del cultivo de yuca.

2.2.1. Etapa de crecimiento lento

Abarca desde el día de la siembra hasta los 60 días después de esta. Su característica es el brote de estacas, las cuales primero forman las raíces entre los 5 y 7 días, y luego, a partir de los 8 días, se desarrollan los tallos (Aguilar et al., 2017).

2.2.2. Etapa de máximo crecimiento

Comprende un periodo de 60 - 150 días. Es la etapa de ramificación de tallos y crecimiento de hojas. En esta etapa se reporta el mayor incremento de biomasa (hojas y tallos) y se logra el mayor índice de área foliar. El almacenamiento en las raíces empieza a iniciarse a los 75 días y luego comienza la etapa de engrosamiento o llenado de dichas raíces (Aguilar et al., 2017).

2.2.3. Etapa de tuberización

Según Seminario (2004) cuando raíces reservantes empiezan a crecer, se diferencian tres fases diferentes que comprenden: la fase de tuberización, la fase engrosamiento y la fase de acumulación.

2.2.3.1. Fase de tuberización.

Comienza aproximadamente entre 30 - 45 días, y se prolonga en ocasiones hasta el cuarto mes. Aquí se define el número de raíces reservantes del cultivo y las dimensiones del engrosamiento de las mismas. También se empieza a acumular materia seca, así como almidón (Seminario, 2004).

2.2.3.2. Fase de engrosamiento.

Llega a iniciar a los noventa o a los ciento veinte días después de la siembra, terminando al sexto o séptimo mes (Seminario, 2004).

2.2.3.3. Fase de acumulación.

Se inicia a los ciento cincuenta o a los ciento ochenta días, extiende hasta el término del ciclo. Asimismo, representa una etapa crucial para la planta, debido a que, si el área foliar se ve afectado, esto podría tener un impacto en el volumen de materia seca de la producción final (Seminario, 2004).

2.2.4. Etapa de senescencia

La etapa de senescencia abarca desde los 150 días hasta la cosecha. Es característico la reducción de biomasa aérea, producto del descenso en la producción de hojas y tallos. Aunque las dimensiones de las hojas disminuyen, no se ve afectada su proporción. No obstante, hay una reducción de hojas después de los 210 días, y producto de esto se acelera la senescencia del cultivo e aumenta la translocación de foto asimilados a las partes de reservas o raíces acumuladoras (Seminario, 2004).

2.3. Variedades

En suelos de altura se puede cultivar 14 variedades, mientras que en suelos de restinga hasta 24. La variedad de yuca y el lugar del cultivo son factores que influyen en la producción de las raíces. En la ciudad de Tingo María se ha reportado 49 t/ha; por su parte, en la ciudad de Pucallpa se tiene como referencia 25 t/ha. Las variedades con las que se trabajaron fueron (Inga y López, 2001):

2.3.1. Variedad Amarilla

La planta es de una altura erguida que llega a los 1,20 m, y un eje formado por dos o tres ramas con tallo verducoso y raya vertical, rojo durante los años jóvenes y marrón cuando está completamente desarrollado. La hoja es una vaina globosa, de color claro, pecíolo de tonalidad roja que alcanza los 20 cm, las flores son verde amarillo con sépalos de 7 mm; el ovario verde de 3 mm mientras que los estambres tienen 7 mm y coloración amarilla. El fruto inmaduro alcanza 1,2 cm de diámetro y 6 aristas verdes. Finalmente, se recomienda cultivar en terrazas alta y restinga (suelo inundables y no inundables, respectivamente). Se observa crecimiento regular en las matas. Su cosecha se aprovecha entre los 8 - 12 meses de edad, luego de este periodo, las raíces endurecen y presentan menor cantidad de almidón. En ataque por insectos y las enfermedades es escaso (Inga y López, 2001).

2.3.2. Variedad Blanca

Presenta 2 o 3 ramas en la planta erecta que puede alcanzar una altura de 2,5 m. El tallo verde presenta rayas verticales de ligeramente enrojecidas en edad temprana y coloración parda cuando está bien desarrollada. La hoja presenta forma de vaina, rojo púrpura, globosa; el pecíolo puede alcanzar los 25 cm, las flores presentan sépalos rosáceos de 7 mm, con un ovario de tres mm de coloración morado verdoso; los estambres alcanzan los 7 mm y son de coloración amarilla. Fruto tuberoso morado verdoso de 1,5 cm del diámetro, con seis aristas rojizas. Cultivar en restinga y terraza alta (suelos inundables y no inundables, respectivamente). Se observa crecimiento regular en las matas. Su cosecha se aprovecha entre los 8 - 12 meses de edad, luego de este periodo, las raíces endurecen y presentan menor cantidad de almidón. En ataque por insectos y las enfermedades es escaso (Inga y López, 2001).

2.3.3. Variedad yuca Blanca (Hoja morada)

La planta es erecta y puede alcanzar los 2,5 m de la altura con tallo: de color verde con rayas verticales rojas, sus hoja con vaina globosa de coloración rojo púrpura de hasta 25 cm, lóbulos aovados de 5-8, el envés de 19 – 22 cm rojo claro, las flores presentan sépalos rosáceos de siete mm y ovario de tres mm de coloración morado verdusco; el fruto es de color morado verdusco, de 1,5 cm en el diámetro con 6 aristas rojizas; su raíz es tuberosa en

promedio de 3,5 con cáscara parda o epidermis y felodemo blanco de parénquima blanquecino con una longitud en promedio 28,0 cm; diámetro promedio de 6,0 cm; se siembra en restinga y terraza alta (suelos inundables y no inundables, respectivamente) cosechándose de 8 y 12 meses de edad con una producción de raíces frescas de 11 313 kg/ha (Inga y López, 2001).

2.3.4. Variedad señorita

Su característica principal es que presenta cogollos (puntos de crecimiento) de coloración bronceada. Son yucas alargadas, su uso generalmente es para la producción de hojuela y congelados. La variedad se caracteriza por su corto periodo de oxidación, por ello, luego de la cosecha debe ser procesada y/o consumida en un periodo muy corto (Inga y López, 2001).

2.4. Factores edafoclimáticos del cultivo de yuca

Este cultivo es considerado rústico porque se adapta a una amplia gama de suelos y soporta prolongados periodos de sequía. Sin embargo, su siembra se realiza mayormente en suelos con textura arenosa a texturas arcillosos arenosos, y textura franca. Asimismo, este cultivo se adapta desde los 0 msnm hasta una altitud de 1700 msnm, con temperatura promedio de 24 °C y 72 % de humedad relativa promedio (Pérez, 2008; Elías y Mejía, 2014; Rioja, 2020).

2.4.1. Suelo

Para siembras comerciales es preferible evitar suelos arcillosos o suelos con presencia de piedras u otro tipo de obstáculos, porque las raíces de la yuca que son reservantes, no se desarrollan de forma adecuada, porque los suelos arcillosos tienen problemas de encharcamiento y por ende las raíces son vulnerables a la pudrición. El suelo óptimo para el desarrollo y crecimiento correcto de las raíces reservantes, debe poseer textura franca, con una profundidad de 60 cm, bien drenado y con menos de 5 % de pedregosidad y que no se formen charcos. No obstante, este suelo debe presentar abundante materia orgánica y un 5,5 – 6,5 de pH (Elías y Mejía, 2014; Rioja, 2020).

2.4.2. Temperatura

El rango de temperatura que el cultivo de tolera está entre 16 a 38 °C, porque si la temperatura es menor a 16 °C, el crecimiento se ve afectado. Sin embargo, este cultivo puede tolerar un gran rango de temperatura, pero la brotación de hojas puede verse afectado y por lo tanto, la acumulación de reservantes en las raíces puede verse afectada y en consecuencia el rendimiento del cultivo se verá mermado. Finalmente, las distintas investigaciones sustentan que la temperatura óptima para este cultivo es un rango de 25 a 29 °C. (Pérez, 2008; Elías y Mejía, 2014; Rioja, 2020).

2.5. Manejo agronómico

2.5.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno depende del tipo de suelo y la influencia del clima sobre el área a sembrar. Sin embargo, como ya se dijo anteriormente, este cultivo se desarrolla

mejor en suelos profundos, sueltos, bien drenados y sin obstáculos que impidan el desarrollo de las raíces reservantes. La preparación del suelo se puede realizar a través de la tracción de acémilas o medio mecánico (tractores). En plantaciones pequeñas puede emplearse mínima labranza, el cual consistente en un volteo del suelo con azadones, posteriormente se aplica herbicida y finalmente se realiza la siembra. Este sistema de plantación es usado generalmente por agricultores que produce para consumo doméstico y venta al mercado local (Quirós y Salas, 2006; Rojas y Torres, 2010).

2.5.2. Siembra

Para la producción de este cultivo, existen diversos métodos de siembra, como en plano, lomillos, camas y surcos, cuya elección va a depender del tipo de suelo, clima disponibilidad de mano de obra y equipos agrícolas. El inicio de la siembra se hace colocando la estaca de forma horizontal, inclinada o vertical, de acuerdo a las condiciones del suelo y nivel de tecnificación. Asimismo, la calidad de las semillas es crucial, ya que una deficiencia puede reducir los rendimientos hasta en un 50 %. Además, en regiones con lluvias constantes, la siembra puede hacerse en cualquier época del año. Es importante que cuando la siembra se hace en surcos, que es muy común en grandes extensiones; se utiliza maquinaria, colocando la estaca acostada en el surco y cubriéndola con tierra (Quirós y Salas, 2006; Rojas y Torres, 2010).

2.5.3. Distanciamiento de siembra

El distanciamiento óptimo entre plantas varía de 0,40 a 1,00 m, mientras que entre zanjas y colinas se recomienda de 1,00 a 1,50 m. En pendiente plano, la distancia entre plantas varía de 0,50 a 0,60 m, con una separación entre calles de 1,0 m. Estos distanciamientos de siembra dependen de varios factores como la especie cultivada, fertilidad del suelo, nivel de mecanización y mercado objetivo (consumidores). Para una siembra comercial, la densidad de siembra idónea oscila entre 17 000 y 20 000 plantas por hectárea (Quirós y Salas, 2006; Rojas y Torres, 2010).

2.5.4. Control de malezas

El control de malezas puede realizarse manualmente o puede hacerse a través de aplicaciones químicas (herbicida) o combinada. Es importante tener en cuenta, que los primeros tres meses después la siembra de las estacas; las condiciones son especialmente críticos para el cultivo, porque una sobrepoblación de malezas puede impactar significativamente los costos de producción y reducir los rendimientos del cultivo. A los 60 a 75 días después de la siembra, el control eficaz de malezas puede incrementar notablemente el rendimiento de este cultivo. Además, es recomendable conservar la biomasa (parte aérea de la planta) cortada en el suelo para protegerlo contra la erosión y de esa forma aumentar la humedad. Por lo tanto, las investigaciones sugieren combinar el control manual con aplicaciones de herbicidas con el fin de maximizar la eficiencia en esta etapa clave (Quirós y Salas, 2006; Rojas y Torres, 2010).

2.5.5. Fertilización

Si se siembra continuamente y no se realiza ni un plan de fertilización; el cultivo reducirá significativamente su rendimiento y calidad de las raíces reservantes. Además, es vital reponer los nutrientes obtenidos por el cultivo, por lo que se recomienda agregar fertilizantes sintéticos u orgánicos al suelo e impedir la siembra continua de un mismo cultivo, dejarlo en barbecho (terreno sin sembrar durante un periodo de tiempo) o rotar de cultivo. Durante los dos primeros meses, la absorción de nutrientes por la yuca es lenta, aumentando entre el segundo y quinto mes, y estabilizándose o disminuyendo hacia el final del ciclo (Pérez, 2008; Elías y Mejía, 2014; Rioja, 2020). La yuca extrae, en promedio, 4,42 kg/ha de nitrógeno, 0,67 kg/ha de fósforo, 3,58 kg/ha de potasio, 1,36 kg/ha de calcio, 0,82 kg/ha de magnesio y 0,42 kg/ha de azufre por tonelada de raíces frescas. Es esencial limitar la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3) a menos de una tonelada por hectárea, ya que el exceso de nutrientes puede deteriorar la estructura del suelo, acelerar la descomposición de la materia orgánica y causar la inmovilización de micronutrientes esenciales como hierro, magnesio, zinc y cobre (Quirós y Salas, 2006; Rojas y Torres, 2010).

2.6. Fertilización en el cultivo de yuca

Antes de la siembra, es recomendable realizar un análisis exhaustivo del suelo con el objetivo de planificar de manera adecuada un plan de fertilización para el cultivo de yuca, dado este cultivo exige asimilar grandes cantidades de nutrientes, principalmente magnesio (Mg), calcio (Ca), potasio (K), fósforo (P) y nitrógeno (N) (Ospina y Ceballos, 2015). La secuencia de asimilación de los nutrientes en este cultivo es la siguiente: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$ (Gil, 2019). Por lo tanto, se debe reincorporar todos los nutrientes extraídos por el cultivo de yuca al suelo con el fin de mantener su fertilidad y productividad (Cadavid, 2008).

El cultivo de yuca es altamente valorado porque tiene la capacidad de crecer en diversas condiciones edafoclimáticas y donde otros cultivos no prosperarían fácilmente o tendrían una productividad muy baja. La habilidad de esta especie, se debe en gran medida a la capacidad del cultivo que tiene para extraer grandes cantidades de nutrientes del suelo, en especial potasio y nitrógeno (Gil, 2019). Según Cadavid (2008), esta característica especial, hace que el cultivo de yuca sea considerado, en concordancia con la creencia popular, un cultivo que debilita significativamente el suelo debido a su alta capacidad de extracción de nutrientes. Por su parte, Ospina y Ceballos (2015) presentan datos sobre la extracción promedio de nutrientes por cada tonelada de raíz fresca en diversos cultivares de yuca, donde se destaca también el deterioro del suelo cuando se cultiva yuca de manera frecuente en la misma área (Tabla 1). Con esto se subraya la necesidad de una gestión cuidadosa de los suelos para evitar la disminución de la fertilidad del suelo y asegurar la sostenibilidad del cultivo a largo plazo.

Tabla 1. Promedio de extracción de nutrimentos por tonelada de raíz fresca cosechada en varias variedades de yuca.

| Extracciones (kg/ha) de: | | | | | | Cultivar | Fuente |
|--------------------------|------|------|------|------|------|-----------|--------------------------|
| N | P | K | Ca | Mg | S | | |
| 4,91 | 1,08 | 5,83 | 1,83 | 0,79 | - | Varios | Howeler (1981) |
| 4,66 | 0,54 | 3,52 | 1,14 | 0,48 | 0,32 | MCOL 22 | Howeler y Cadavid (1983) |
| 6,90 | 0,88 | 3,71 | 1,47 | 0,74 | 0,51 | CM 523-7 | Caicedo (1993) |
| 3,97 | 0,62 | 3,56 | 1,53 | 1,28 | - | MCOL 1468 | Caicedo (1993) |
| 3,13 | 0,44 | 2,7 | 1,35 | 0,86 | - | MCOL 1684 | Caicedo (1993) |
| 3,89 | 0,6 | 2,76 | 1,09 | 0,78 | - | CM 507-37 | Caicedo (1993) |
| 3,46 | 0,55 | 3,02 | 1,10 | 0,78 | - | CM 523-7 | Caicedo (1993) |
| 4,42 | 0,67 | 3,58 | 1,36 | 0,82 | 0,42 | | Promedio varios autores |

Fuente: Cadavid (2008).

La yuca tiene una alta demanda de nutrientes, especialmente nitrógeno, potasio y calcio. Cuando se considera la planta completa, en cada cosecha de una tonelada de raíces frescas, la yuca extrae aproximadamente 4,42 kg de nitrógeno, 0,67 kg de fósforo, 3,58 kg de potasio, y 1,36 kg de calcio. Esto implica que, para cubrir las altas necesidades nutricionales del cultivo, se necesitarían aproximadamente 30 toneladas de yuca fresca (Cadavid, 2008).

Por lo tanto, la planificación y ejecución de un programa de fertilización bien fundamentado no solo maximiza la producción actual, sino que también garantiza la sostenibilidad a largo plazo del cultivo de yuca (Ospina y Ceballos, 2015).

Tabla 2. Fertilización promedio para dos rendimientos de yuca según extracción de nutrientes del cultivo.

| Nutriente | Fertilización (kg/ha) en la producción de yuca | |
|-----------|--|--------------------------------|
| | Producción estimada (15 t/ha) | Producción ponderada (30 t/ha) |
| N | 66,30 | 132,60 |
| P | 10,10 | 20,10 |
| K | 53,70 | 107,40 |
| Ca | 20,40 | 40,80 |
| Mg | 12,30 | 24,60 |

Fuente: Cadavid (2008).

Bertsch (2004) reunió gran serie de información sobre absorción total de nutrientes en la planta de yuca y recomendó que la extracción total media para la producción de una tonelada de yuca comprende en 5,1 kg de N, 0,6 kg de P y 5,2 kg de K.

Tabla 3. Absorciones total y promedio de NPK para una tonelada de yuca.

| Referencia | | Absorción total por tonelada de yuca (Kg/t) | | |
|-------------------------------|------------------|--|------|------|
| | | N | P | K |
| Autor del Dato | Autor del libro | | | |
| Nijholt 1935 | Howeler 1981 | 2,50 | 0,90 | 9,00 |
| Kanapathy 1974 | Howeler 1981 | 4,10 | 0 | 6,40 |
| SiTibusaya y Kurmarohita 1978 | Howeler 1981 | 2,40 | 1,00 | 2,30 |
| cours 1953 | Howeler 1981 | 5,10 | 0 | 5,00 |
| | Sanchez 1978 | 4,00 | 1,30 | 6,30 |
| | Malavolta 1982 | 5,90 | 0 | 4,20 |
| | ILACO 1981 | 6,30 | 0,70 | 6,30 |
| Kanapathy 1974 | ILACO 1981 | 4,20 | 0 | 5,60 |
| FIAC 1980 | FAO 1980 | 6,40 | 0,70 | 4,50 |
| | Sanchez 1978 | 4,00 | 1,30 | 6,20 |
| Howeler 1978 | Asher et al 1980 | 5,50 | 1 | 6,70 |
| | PPI 1997 | 6,50 | 0 | 0 |
| Arradeau 1971 | Obigbesan 1973 | 6,80 | 1,10 | 5,60 |
| Malasia | Kanapathy 1975 | 5,70 | 0 | 6,00 |
| | | 6,00 | 0,70 | 4,60 |
| Howeler y Cadavid 1983 | Howeler 1985 | 6,00 | 0,70 | 4,60 |
| Promedio (Kg/t) | | 5,10 | 0,60 | 5,20 |

Fuente: Bertsch (2004).

2.6.1. Deficiencia de elementos nutricionales

En condiciones de deficiencia de nutrimentos como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el magnesio, el sodio y el cloro, la mayoría de las plantas tienden a retirar estos elementos de las hojas viejas y a redistribuirlos entre los órganos jóvenes que están en crecimiento activo; como esta redistribución se realiza por el floema, tales elementos se conocen como nutrimentos móviles por el floema, tal como se observa en la Tabla 4 de los elementos esenciales (Cu, Fe, Mn, Zn y S), y su deficiencia generalmente se manifiesta en las partes jóvenes de la planta; sin embargo, cuando el suministro de uno de estos elementos ha

sido insuficiente durante algún tiempo dentro del período de crecimiento, las hojas formadas durante ese tiempo se pueden encontrar luego, con síntomas de deficiencia, en medio de las hojas sanas (Quirós y Salas, 2006).

Tabla 4. Clasificación de los elementos esenciales según su movilidad por el floema de la planta de yuca.

| Movibles | De movilidad intermedia | No movibles |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| N | Cu | Ca |
| P | Fe | B |
| K | Mn | |
| Mg | Zn | |
| Na | S | |
| Cl | | |

Fuente: Quirós y Salas (2006).

Tabla 5. Síntomas de deficiencia de nutrientes en yuca.

| Síntomas de deficiencia en el cultivo de yuca | |
|--|---|
| N | Crecimiento reducido de la planta. Amarillamiento en follaje. |
| P | Crecimiento reducido de la planta, lámina foliar, lóbulos reducidos y tallos delgados Crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas. |
| K | Manchas púrpuras, Amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes de hojas bajas e intermedias. Grietas finas en los tallos y tallos rastreros. |
| Ca | Crecimiento reducido de la raíz. Hojas superiores pequeñas y deformes. |
| Mn | Marcada clorosis intervenal en las hojas inferiores. Reducción en la altura de la planta. |
| S | Amarillamiento uniforme en las hojas superiores. |
| B | Entrenudos y pecíolos cortos; hojas jóvenes pequeñas y deformes. Exudación pegajosa en el tallo y reducción del desarrollo lateral de la raíz. |
| Fe | Clorosis uniforme de las hojas superiores y pecíolos; hojas pequeñas sin deformidades. |
| Mg | Clorosis intervenal de hojas superiores e intermedias. |
| Zn | Machas intervenales Amarillas o Blancas en las hojas jóvenes. |

Fuente: Quirós y Salas (2006).

Cuando la solución del suelo contiene un elemento mineral en concentración superior a la óptima, el exceso que la planta toma tiende a acumularse en las hojas. Las concentraciones más altas del nutrimento están en las hojas viejas, ya que es en ellas donde ha habido acumulación durante más tiempo (Quirós y Salas, 2006). Es de esperarse, por lo tanto, que los síntomas de toxicidad aparezcan primero y en forma más acentuada en las hojas viejas, y eso es lo que sucede normalmente (Gil, 2019). Sin embargo, cuando el exceso de un elemento impide la absorción de un segundo elemento o interfiere en la utilización que de él hace la planta, los síntomas observables pueden ser principalmente los correspondientes a la deficiencia del segundo elemento, y localizarse según corresponda a dicha deficiencia. Por lo tanto, los síntomas de un exceso no siempre se presentan en las hojas viejas (Cadavid, 2008).

2.7. Trabajos de investigación

Mojena y Pascual (2004), en su trabajo de investigación “Rendimiento en la yuca (*Manihot esculenta*) en diferentes arreglos espaciales” evaluó el rendimiento y sus componentes. Los resultados mostraron una respuesta diferencial entre los dos clones a los arreglos utilizados. En el clon CMC-40, el mejor rendimiento (40,93 t/ha) se obtuvo en los arreglos de 1,40 x 0,60 y 0,70 x 1,0. Mientras que, en el clon Señorita, el mayor rendimiento se alcanzó en el arreglo de 1,80 x 0,50 m con 31,46 t/ha.

Quirós y Salas (2006) en su trabajo de investigación “Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*) en el tanque de la fortuna, San Carlos, Alajuela”, encontró que el cultivo de yuca es un gran extractor de nitrógeno del suelo, con una absorción total de 889 kg/ha, del cual un 55 % es absorbido por las raíces reservantes y el tallo. La planta de yuca absorbe de un 1 a 2 % de los nutrientes durante el periodo de 0 a los 60 días. El orden de absorción total (de mayor a menor) del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) es N, K, Ca, S, P y Mg.

Pérez (2008) evaluó el efecto de las posiciones y profundidades de siembra de esquejes en el rendimiento de *M. esculenta* en Satipo, concluyendo que la posición y la profundidad de siembra del esqueje no influyen en los esquejes muertos, el falso brote por planta ni el número de ramas por planta. La siembra en forma horizontal presentó mejores resultados en cuanto a diámetro de tallo (2,78 cm), longitud de raíz (45,51 cm), peso de raíz (5,67 kg/planta), diámetro de raíz tuberosa (5,80 cm) y rendimiento (141,86 t/ha). La siembra a 8 cm de profundidad mostró un mejor número de raíces por planta (8 unidades), peso de raíz por planta (5,66 kg) y diámetro de raíz tuberosa (5,86 cm). Además, la posición de siembra influyó en la rentabilidad del cultivo de yuca, siendo la siembra horizontal la más rentable con

un índice de 19,68, seguida de la siembra vertical con un índice de 17,23 y la siembra inclinada con un índice de 16,84.

Furcal et al. (2015) evaluaron la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica, concluyendo que el incremento acelerado de materia seca (MS) se produjo a partir de los 4,5 meses debido a las raíces tuberosas, aunque la MS de las hojas decayó después de los cinco meses. La MS foliar fue estadísticamente inferior en el tratamiento foliar en comparación con el tratamiento completo en suelo ultisol a los 6,5 meses, probablemente debido a la baja fertilidad del suelo. En suelos inceptisol, el tratamiento testigo mostró un mayor rendimiento de yuca de primera calidad gracias a la fertilización balanceada. El uso de fosfato diamónico (18-46-0) al inicio del crecimiento (30 DDS) produjo una alta respuesta en dos tipos de suelos, pero la fertilización fraccionada con fósforo no fue efectiva en suelos con bajos niveles de este elemento. Altas dosis de potasio en suelos con niveles medios de este nutriente no mostraron efectos significativos comparadas con dosis bajas combinadas con aplicaciones foliares. A los siete meses, la concentración de nutrientes en las hojas y el rendimiento reflejaron la alta fertilidad del suelo andisol y la eficacia de la fertilización balanceada en suelo inceptisol. La fertilización foliar fue la opción más económica en suelos de fertilidad media y alta, pero su uso exclusivo sin combinar con fertilización al suelo puede reducir la capacidad productiva a largo plazo.

Rojas y Torres (2016), en su trabajo de investigación “Efecto de tres abonos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento en yuca (*M. esculenta*)” encontró que el humus de lombriz tendió a presentar valores numéricos más altos para las variables raíces por planta, diámetro y peso de raíces y rendimiento por hectárea, siendo diferente estadísticamente de los demás tratamientos solamente para la variable diámetro de raíz.

Rodríguez et al. (2016) en su trabajo de investigación “Fertilización fosfórica y potásica de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) en rotación de cultivos” obtuvieron altos rendimientos de la yuca cuando el suelo se encontró medianamente abastecido en fósforo (P). Por otra parte, no se encontró respuesta en rendimiento, producción de masa seca, número de raíces por planta ni peso promedio de la raíz a las aplicaciones de potasio (K). Los resultados indican que es posible utilizar la yuca en un lugar postrero de la rotación sin que requiera de nuevas aplicaciones de P y K.

Samudio (2016) evaluaron la fertilización potásica con enmienda orgánica e inorgánica en mandioca (*Manihot esculenta*), concluyendo que las dosis de K_2O tuvieron una baja influencia en las variables estudiadas, afectando únicamente el diámetro comercial y el número de raíces no comerciales. Las diferentes dosis de K_2O no favorecieron el incremento

del rendimiento de raíces, altura de plantas, longitud de raíces y número de raíces. El estiércol bovino promovió el incremento de la altura de las plantas, número de raíces, rendimiento total, longitud y diámetro comercial de raíces en la mandioca. La adición de ceniza incrementó la altura de las plantas, diámetro y longitud de raíces comerciales, número de raíces comerciales, rendimiento total de raíces y rendimiento comercial en la mandioca. La aplicación de las enmiendas aumentó el pH del suelo, obteniéndose el mayor valor con la ceniza, mientras que el contenido de P, K, Ca y Mg no fue afectado por las enmiendas.

El estudio de Gil (2019) sobre la fertilización química en la yuca forrajera (*M. esculenta*) concluyó que la fertilización incrementa significativamente la producción de forraje fresco, con un tratamiento al 125 % produciendo 10,50 veces más forraje que sin fertilización, afectando también el rendimiento en seco. La precipitación es fundamental, ya que el cultivo es sensible a la falta de agua y suelos saturados, con menor rendimiento en épocas muy lluviosas. El nitrógeno mostró la mayor absorción, pero menor eficiencia biológica, mientras que el fósforo tuvo la mayor eficiencia biológica y económica. A pesar de la alta absorción de nutrientes en los tratamientos fertilizados, los niveles de N, P y K se clasificaron como bajos a deficientes. El forraje presentó un contenido de proteína entre 15,66 % y 19,07 %, con menor digestibilidad y mayor contenido de fibra en comparación con estudios previos. Al final de las cosechas, los suelos mostraron mayor acidez y disminución de materia orgánica y nutrientes en todos los tratamientos. El forraje de yuca se destaca como una alternativa para la alimentación bovina en condiciones climáticas extremas debido a su rendimiento y calidad bromatológica.

Rioja (2020) evaluó los niveles de cal y urea y su influencia en las características agronómicas y rendimiento de *M. esculenta* en Yurimaguas. Concluyó que el mejor tratamiento en relación con la altura de la planta de yuca fue T₄ (15 kg de cal más 208,80 g de urea/25 m²) y T₂ (10 kg de cal más 208,80 g de urea/25 m²), ambos con una altura promedio de 248,85 cm, mientras que T₃ (12,50 kg de cal más 208,80 g de urea/25 m²) tuvo la menor altura (225,50 cm). En cuanto a la longitud de raíz/planta, T₀ (sin cal y 208,80 g de urea/25 m²) obtuvo los mejores resultados con 32,38 cm, y T₃ el menor con 28,18 cm. El diámetro de raíz/planta fue mayor en T₄ con 6,4270 cm, y menor en T₁ (7,5 kg de cal más 208,80 g de urea/25 m²) con 5,8035 cm. El número de raíces/planta fue mayor en T₀ con 6,95, y menor en T₂ con 6,65. En peso de raíz/planta, T₀ tuvo el mejor resultado con 0,812 kg, mientras que T₃ obtuvo el menor con 0,642 kg. Para el peso total de raíz/planta, T₀ lideró con 5,7605 kg, y T₃ quedó último con 4,4180 kg. Finalmente, en rendimiento de raíz de yuca, T₀ tuvo el mejor promedio con 10150,00 kg/ha, y T₃ el menor con 8025,00 kg/ha.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el fundo “los zurdos” de propiedad del señor Miguel Izquierdo Corrales, ubicado en el caserío Santa Isabel de Pelmaz, distrito Puerto Bermúdez, provincia Oxapampa; departamento de Pasco, cuyas coordenadas son: 502 554 m.E y 8 862 370 m.N, a una altitud de 261 m.s.n.m.

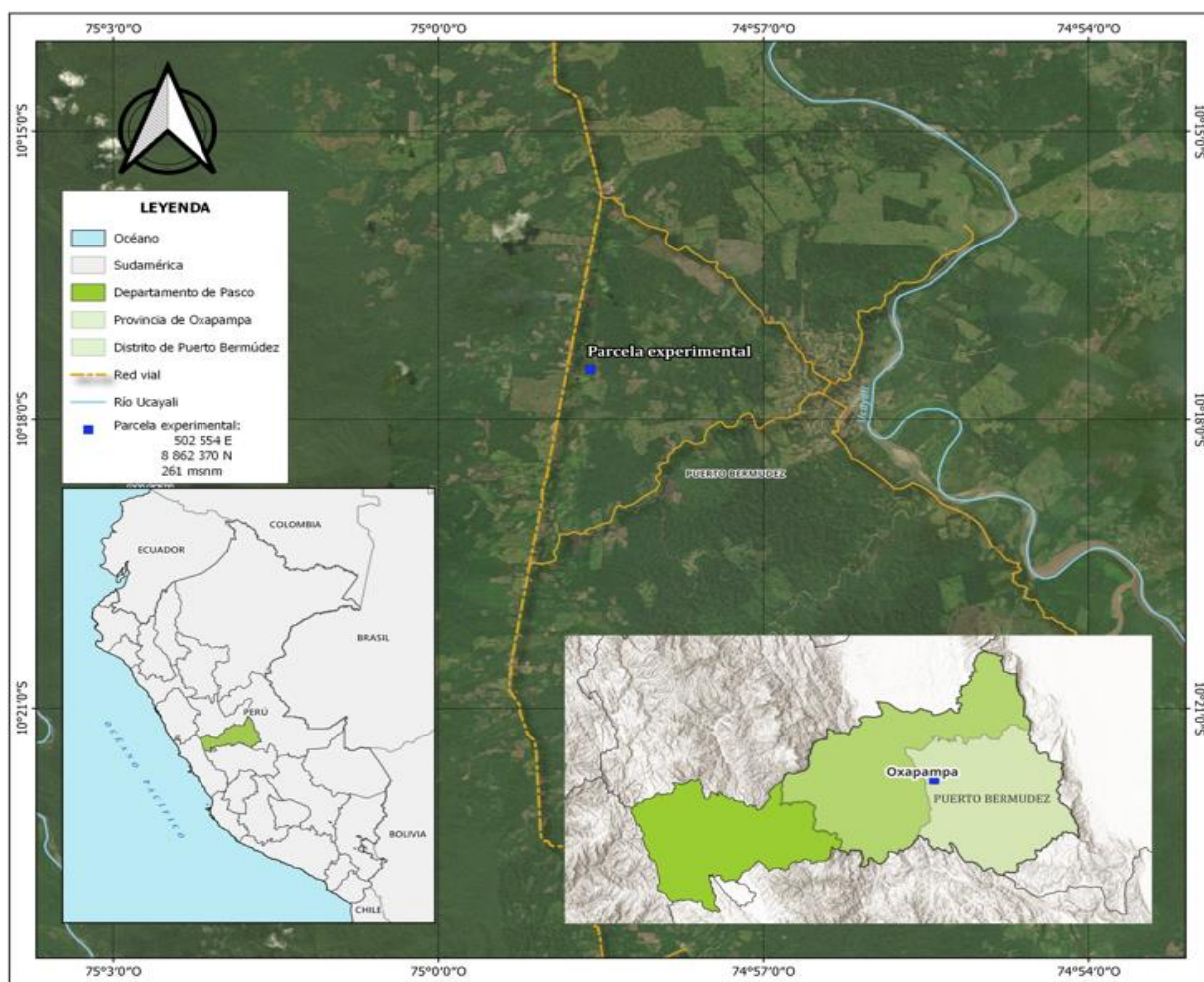


Figura 2. Imagen satelital del campo experimental.

3.2. Zona de vida y características climáticas

3.2.1. Ecología

El área experimental se ubicada en una formación de bosque húmedo tropical (bh-T). En el lugar se observa vegetación tipo bosques secundarios o purmales, donde predominan las especies de *Cecropia sp.* (Ceticos), *Ochroma pyramidale* (Topa), *Erythrina poepigiana* (Oropel), *Chorisia integrifolia* (Huimba), y se tiene también la presencia importante de *Gynerium sagittatum* (Caña brava), *Phytelphas macrocarpa* (Yarina) y *Brachiaria lumbens* (pasto). Asimismo, el área se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Tropical.

3.2.2. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se tomaron de la estación meteorológica Pozuzo, donde se registró que la precipitación, temperatura alta, baja y media, humedad relativa y horas de luz por mes, desde que se inició la instalación hasta la evaluación final del estudio que se dio a los 10 meses.

La presente investigación se dio desde julio del 2020 hasta mayo del 2021 detallándose que, la precipitación media durante la investigación fue de 209,01 mm/mes o 209,01 L/m²; pero se registró menores precipitaciones al inicio y final del experimento, La media de horas sol/mes durante la investigación fue 148,19 h con un (%) de humedad relativa de 80,18 y temperatura media de 25,44 °C como se muestra según los datos registrados por la estación meteorológica en la (Tabla 6).

Tabla 6. Datos meteorológicos registrados durante julio del 2020 hasta mayo del 2021.

| Año | Meses | Temperatura media (°C) | Humedad relativa (%) | Precipitación (mm) | Horas sol |
|-----------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| 2020 | Julio | 25,70 | 77 | 118,00 | 160,00 |
| | Agosto | 26,50 | 78 | 72,00 | 176,00 |
| | Setiembre | 25,45 | 80 | 145,30 | 113,00 |
| | Octubre | 25,35 | 81 | 160,30 | 102,00 |
| | Noviembre | 25,35 | 81 | 180,50 | 95,00 |
| | Diciembre | 25,20 | 82 | 210,00 | 90,00 |
| 2021 | Enero | 24,70 | 83 | 280,00 | 120,00 |
| | Febrero | 25,50 | 82 | 392,00 | 182,10 |
| | Marzo | 24,85 | 80 | 379,70 | 212,00 |
| | Abril | 25,75 | 80 | 256,00 | 197,00 |
| | Mayo | 25,45 | 78 | 105,30 | 183,00 |
| Promedio | | 25,44 | 80,18 | 209,01 | 148,19 |

Fuente: Estación meteorológica de Pozuzo

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Materiales y equipos

Se emplearon diversos materiales como: GPS, machete, azadones, wincha, cordeles, estacas de cuatro variedades diferentes de *Manihot esculenta* (yuca), fungicidas, insecticida, fertilizantes (Úrea, Súper fosfato triple de calcio, Cloruro de potasio) y equipos para su aplicación como; moto guadaña, mochila fumigadora, libreta de campo papel A4 y un

ordenador portátil (Laptop) para procesar los datos obtenidos de la presente investigación del área experimental en estudio.

3.3.2. Metodología

3.3.2.1. Componentes en estudio

Los componentes en estudio están conformados por dos factores que comprenden al Factor (A) cuatro variedades de yuca y el Factor (B) cuatro niveles de fertilización de NPK como se describe a continuación:

Factor (A): Variedades de yuca

a_1 = Variedad Amarilla.

a_2 = Variedad Tarmaña.

a_3 = Variedad Blanca.

a_4 = Variedad Camerún.

Factor (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

b_1 = 102 – 12 – 104 (20 t/ha).

b_2 = 153 – 18 – 156 (30 t/ha).

b_3 = 204 – 24 – 208 (40 t/ha).

b_4 = Testigo.

Las dosis se calcularon a partir de los datos de (Bertsch, 2003), quien indica que la yuca extrae 5,1 kg de N, 0,6 kg de P y 5,2 kg de K por cada tonelada de raíces que produce; de este modo, por ejemplo, para el primer nivel (102 – 12 – 104) se multiplicaron las cantidades por 20 para producir 20 t/ha, procediendo de igual manera con el segundo (30 t/ha) y tercer nivel (40 t/ha).

3.3.2.2. Tratamientos en estudio

La presente investigación comprende el resultado de las interacciones de los factores en estudio entre cuatro variedades de yuca (Factor A) con cuatro niveles diferentes de NPK (Factor B) en el que se incluye un testigo absoluto, teniendo como resultado 16 tratamientos que fueron sometidos a estudio desde el momento de la instalación en campo experimental definitivo y culminándose con el corte de las plantas para la cosecha de las raíces tuberosas reservantes. La Tabla 7 describe los tratamientos en estudio, así como las épocas en que se aplicó el fertilizante, lo que se realizó en tres partes: la primera fue al momento de instalación y se aplicó únicamente P; luego, tanto a los 30 como a los 90 días se realizó la aplicación de N y K.

Tabla 7. Descripción de los tratamientos en estudio.

| Tratamiento | | Descripción de los tratamientos | | | Aplicaciones | | |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------|---------------|---------------|--|
| N° | Clave | Variiedad | Dosis total (NPK) | 1ra (0 días) | 2da (30 días) | 3ra (90 días) | |
| T ₁ | a ₁ b ₁ | Amarilla | 102 – 12 – 104 (20 t/ha) | 0-12-0 NPK | 51-0-52 NPK | 51-0-52 NPK | |
| T ₂ | a ₁ b ₂ | Amarilla | 153 – 18 – 156 (30 t/ha) | 0-18-0 NPK | 76-0-78 NPK | 76-0-78 NPK | |
| T ₃ | a ₁ b ₃ | Amarilla | 204 – 24 – 208 (40 t/ha) | 0-24-0 NPK | 102-0-104 NPK | 102-0-104 NPK | |
| T ₄ | a ₁ b ₄ | Amarilla | 0 – 0 – 0 (0 t/ha) | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | |
| T ₅ | a ₂ b ₁ | Tarmeña | 102 – 12 – 104 (20 t/ha) | 0-12-0 NPK | 51-0-52 NPK | 51-0-52 NPK | |
| T ₆ | a ₂ b ₂ | Tarmeña | 153 – 18 – 156 (30 t/ha) | 0-18-0 NPK | 76-0-78 NPK | 76-0-78 NPK | |
| T ₇ | a ₂ b ₃ | Tarmeña | 204 – 24 – 208 (40 t/ha) | 0-24-0 NPK | 102-0-104 NPK | 102-0-104 NPK | |
| T ₈ | a ₂ b ₄ | Tarmeña | 0 – 0 – 0 (0 t/ha) | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | |
| T ₉ | a ₃ b ₁ | Blanca | 102 – 12 – 104 (20 t/ha) | 0-12-0 NPK | 51-0-52 NPK | 51-0-52 NPK | |
| T ₁₀ | a ₃ b ₂ | Blanca | 153 – 18 – 156 (30 t/ha) | 0-18-0 NPK | 76-0-78 NPK | 76-0-78 NPK | |
| T ₁₁ | a ₃ b ₃ | Blanca | 204 – 24 – 208 (40 t/ha) | 0-24-0 NPK | 102-0-104 NPK | 102-0-104 NPK | |
| T ₁₂ | a ₃ b ₄ | Blanca | 0 – 0 – 0 (0 t/ha) | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | |
| T ₁₃ | a ₄ b ₁ | Camerún | 102 – 12 – 104 (20 t/ha) | 0-12-0 NPK | 51-0-52 NPK | 51-0-52 NPK | |
| T ₁₄ | a ₄ b ₂ | Camerún | 153 – 18 – 156 (30 t/ha) | 0-18-0 NPK | 76-0-78 NPK | 76-0-78 NPK | |
| T ₁₅ | a ₄ b ₃ | Camerún | 204 – 24 – 208 (40 t/ha) | 0-24-0 NPK | 102-0-104 NPK | 102-0-104 NPK | |
| T ₁₆ | a ₄ b ₄ | Camerún | 0 – 0 – 0 (0 t/ha) | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | 0-0-0 NPK | |

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial de cuatro variedades de yuca para el factor (A) y cuatro niveles de fertilización para el factor (B) resultando 16 tratamientos y cuatro bloques. Todos los tratamientos fueron sometidos al análisis de variancia; en caso de mostrar diferencias estadísticas, se sometieron a una prueba múltiple LSD de Fisher al 5 % con la finalidad de determinar la mejor variedad y fórmula de fertilización. El software estadístico utilizado fue Infostat. El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \delta_k \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Es el rendimiento obtenido de la i-ésima variedad de yuca en la j-ésima dosis de fertilización en la S-ésima submuestra.

μ = Es el efecto de la media en general.

T_i = Es el efecto de la i – ésima variedad de yuca

β_j = Es el efecto de la j – ésima dosis de fertilización.

$(\tau\beta)_{ij}$ = Es el efecto del error experimental en la i – ésima variedad de yuca, de la j -ésima dosis de fertilización.

δ_k = efecto del k -ésimo bloque.

ϵ_{ijk} = Es el efecto del error experimental en la i – ésima variedad de yuca, de la j -ésima dosis de fertilización del k -ésimo bloque

Para:

$i = 1, 2, 3$ y 4 Variedad de yuca

$j = 1, 2$ y 3 Niveles de fertilización NPK.

$k = 1, 2, 3$ y 4 Bloques

3.3.2.4. Esquema de análisis de variancia

Tabla 8. Esquema del análisis de variancia (ANVA).

| Análisis Varianza | gl | SC | CM | Fc |
|------------------------------|------------|-----------|-----------------|--------------|
| Bloques | b-1 | SCb | SCb/b-1 | CMB/CMError |
| Tratamientos | t-1 | SCt | SCt/t-1 | CMt/CMError |
| Factor A | a-1 | SCA | SCA/a-1 | CMA/CMError |
| Factor B | b-1 | SCB | SCB/b-1 | CMB/CMError |
| A*B | (a-1)(b-1) | SCAB | SCAB/(a-1)(b-1) | CMAB/CMError |
| Error exp. | ab(r-1) | SCError | SCError/ab(r-1) | |
| Total | abr-1 | SCTotales | | |

3.3.2.5. Características del campo experimental

a. Del campo experimental

| | |
|------------|------------------------|
| Largo | : 81 m |
| Ancho | : 28,0 m |
| Área total | : 2 268 m ² |

b. Del bloque

| | |
|-------------------|----------------------|
| Número de bloques | : 4 |
| Largo de bloque | : 79 m |
| Ancho del bloque | : 5 m |
| Área del bloque | : 395 m ² |

c. De la parcela

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Número total de tratamientos | : 16 |
| Largo de cada parcela | : 5 m |
| Ancho de cada parcela | : 4 m |
| Área de cada parcela | : 20 m ² |

d. De Sub parcela

| | |
|--|---------|
| Número total de sub parcelas | : 64 |
| Número de plantas/tratamiento | : 100 |
| Número de plantas/parcela | : 25 |
| Número de plantas evaluar/ tratamiento | : 36 |
| Número de plantas evaluadas/dosis | : 9 |
| Número de plantas total | : 1 600 |

3.3.2.6. Croquis del experimento

En el croquis se observa cuatro bloques, y cuatro tratamientos por cada bloque, distribuidos de forma aleatoria. Cada tratamiento está conformado por una variedad de yuca con tres dosis de NPK más un testigo.

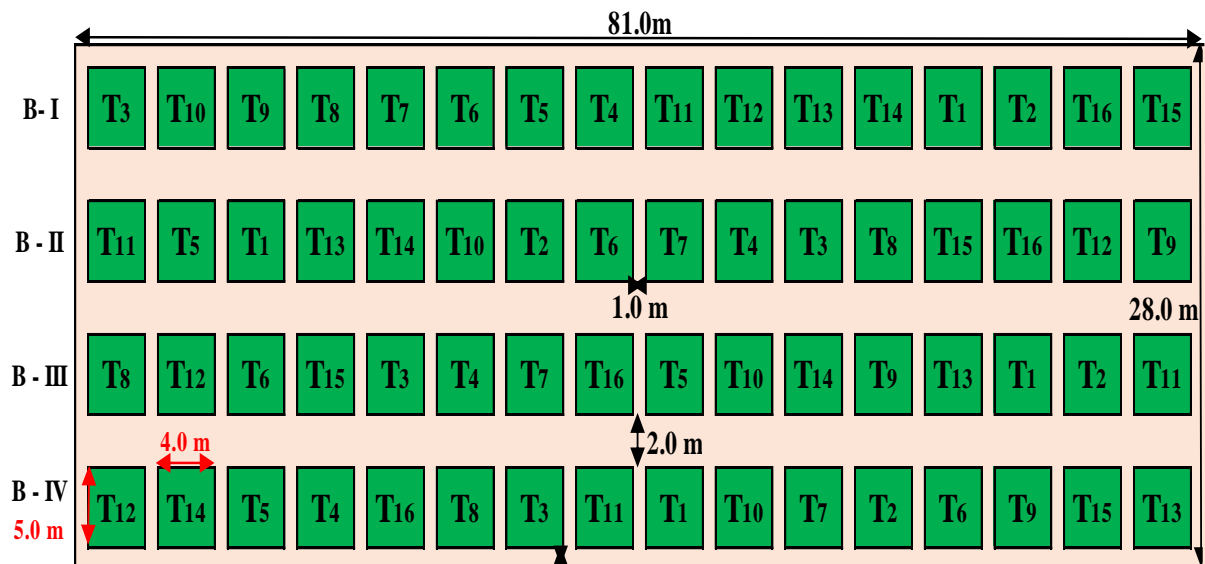


Figura 3. Croquis del campo experimental, disposición de los bloques y distribución de los tratamientos.

Cada tratamiento estuvo conformado por 100 plantas sembradas en cuatro parcelas con 25 plantas cada una distribuidas aleatoriamente en el campo experimental; el distanciamiento de siembra para las estacas de yuca es de 0,80 x 1,0 metros entre plantas e hileras respectivamente y se evaluaron nueve plantas del centro de cada parcela, respetando el efecto de borde y competencia de luz solar, como se muestra a continuación (Figura 4).

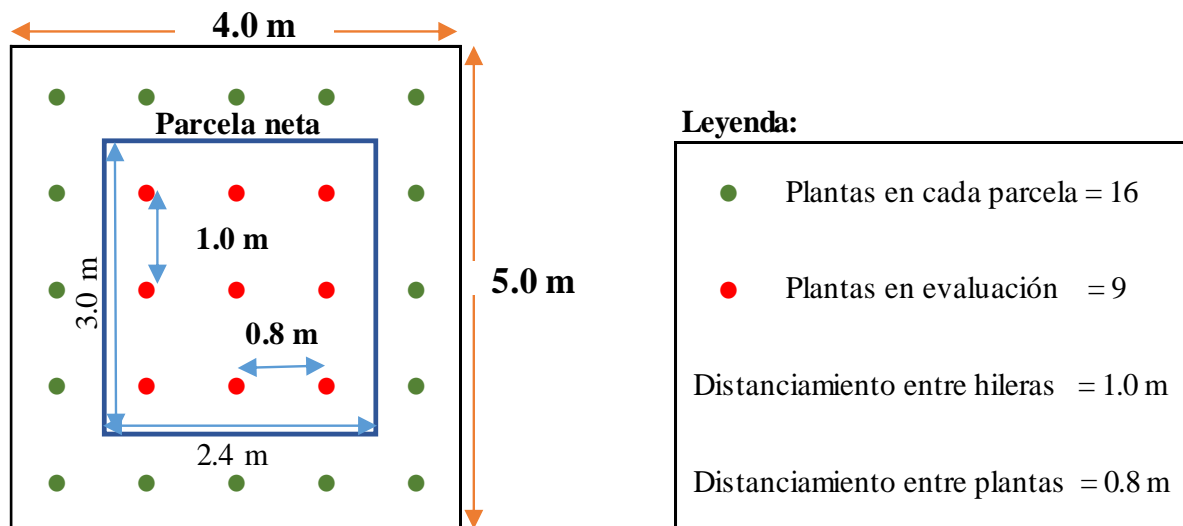


Figura 4. Croquis de un tratamiento en estudio.

3.4. Ejecución del experimento

3.4.1. Preparación del terreno

El terreno es una terraza baja no inundable, cubierta de una vegetación secundaria (conocida como “Purma”). En la preparación se realizó el corte de la vegetación luego se limpió el terreno de rastrojos; la roturación del suelo o mullido del mismo se realizó con azadones y rastrillos; luego se niveló el terreno y se realizaron los respectivos drenajes para evitar el encharcamiento del agua de lluvia.

3.4.2. Delimitación de parcelas en el campo experimental

La delimitación de las parcelas en el campo experimental se llevó a cabo con el uso de estacas y de rafia; cada parcela del campo experimental contó con las respectivas medidas diseñadas en el croquis del campo experimental para los bloques, parcelas y área neta en evaluación como se muestran en la Figura 3 y Figura 4 respectivamente.

3.4.3. Muestreo del suelo y análisis de suelo

Se procedió a sacar las muestras del suelo haciendo un recorrido en forma de “zig zag” a un distanciamiento de 4,0 m entre hoyos y a una profundidad de 30 cm, utilizándose un muestreador de suelo; posteriormente las muestras fueron secadas bajo sombra, mullidas, homogenizadas y tamizadas con malla de 2 mm, obteniéndose una muestra representativa de 1,0 kg de suelo, la misma que fue analizada en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María.

Tabla 9. Análisis físico y químico de suelo del campo experimental.

| Elementos | Contenido | Método empleado |
|---|----------------|--------------------|
| Análisis físico: | | |
| Arena (%) | 54 | Hidrómetro |
| Limo (%) | 27 | Hidrómetro |
| Arcilla (%) | 19 | Hidrómetro |
| Clase textural | Franco arenoso | Triángulo textural |
| Análisis químico: | | |
| pH (1:1) en agua | 4,17 | Potenciométrico |
| M.O. (%) | 1,28 | Walkley y Black |
| N -total (%) | 0,06 | % M.O. x 0,05 |
| Fósforo disponible (ppm) | 7,97 | Olsen Modificado |
| K ₂ O disponible (kg/ha) | 66,47 | Absorción atómica. |
| Ca cambiable (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 1,98 | EAA |
| Mg cambiable (cmol ⁽⁺⁾ .kg/ha) | 0,29 | EAA |
| K cambiable (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 0,00 | EAA |
| Na cambiable (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 0,00 | EAA |
| Al cambiable (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 3,87 | YUAN |
| H cambiable (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 0,03 | YUAN |
| C.I.Ce. (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | 6,17 | BC + AC |
| Bases cambiables (%) | 36,76 | BCx100/CICe |
| Acidez cambiable (%) | 63,24 | ACx100/CICe |
| Saturación de aluminio (%) | 62,76 | Alx100/CICe |

En la Tabla 9 se muestra el análisis físico – químico del suelo del campo experimental, observándose que el suelo es franco limoso, siendo un suelo con textura media,

con un valor de pH que se califica como fuertemente ácido; asimismo, presenta un contenido de fósforo disponible de 7,97 ppm y un contenido de potasio disponible de 66,47 ppm. Los valores de materia orgánica y nitrógeno del suelo fueron 1,28 y 0,06 % respectivamente, lo que, según Mansilla (2013), indica que el suelo posee un bajo contenido de materia orgánica; también se determinó que el porcentaje de saturación de aluminio fue 62,76 %. Según los datos obtenidos en el análisis de suelo, la fertilización para suministrar los nutrientes necesarios se programó en tres momentos (Tabla 10).

3.4.4. Siembra

Las estacas del cultivo de yuca se recolectaron del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) con diámetros promedio de 2 a 3 cm y una longitud de 20 cm, con cinco yemas como mínimo. El material de propagación (estacas de 20 cm) procedió de las chacras de Pucallpa, los cuales se cortaron con algunos días de anticipación y antes de sembrar se desinfectaron con Antracol 5 g/L de agua y Sevin 85 % PM 5 g/L de agua, por espacio de 5 minutos. Los distanciamientos de siembra fueron de 1 x 0,8 m y una estaca por golpe, en posición inclinada con una profundidad de 15 cm. Cuando fue necesario se realizó el recalce a los 7 días después de la siembra.

3.4.5. Fertilización

La fertilización se realizó en el campo definitivo de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis físico químico del suelo por cada bloque, donde la aplicación fue fijada al costado de las estacas en dos hoyos de acuerdo a la dosis de los tratamientos en estudio como se muestra en la Tabla 10.

Las fuentes de fertilizantes para el uso en el presente trabajo de investigación fueron la Úrea (46 % de Nitrógeno), el Superfosfato triple (46 % P_2O_5) y el Cloruro de potasio (60 % de K_2O). Se utilizó el análisis de suelo para conocer el nivel de cada nutriente y agregar la cantidad necesaria para llegar al nivel deseado en los casos que hicieran falta según el cálculo de requerimiento nutricional (Tabla 26).

La aplicación de los fertilizantes se realizó en tres momentos: primero se aplicó todo el fósforo en los tratamientos de interacción con el factor b_3 distribuidos en los bloques, luego se realizaron dos aplicaciones, lo cual se debe a la tasa de absorción y acumulación de nutrientes que es lenta durante los dos primeros meses y se incrementa a partir del segundo mes hasta los 4 o 5 meses; posteriormente la absorción decrece o se mantiene constante hasta el final del ciclo del cultivo Segreda et al (2016). Asimismo, Cepeda (2015) menciona que las aplicaciones deben de realizarse en partes.

Tabla 10. Momentos de aplicación de los fertilizantes.

| Aplicación | Momento | Fertilización en las 4 variedades |
|------------|---------|---|
| 1ra | Siembra | 0-12-0 NPK (b ₁) no se aplicó P (disponible en el suelo) |
| | | 0-18-0 NPK (b ₂) no se aplicó P (disponible en el suelo) |
| | | 0-24-0 NPK (b ₃) se aplicó el P según análisis de suelo. |
| | | 0-0-0 NPK (b ₄) para las cuatro variedades |
| 2da | 30 días | 51-0-52 NPK (b ₁) no se aplicó K (disponible en el suelo) |
| | | 76-0-78 NPK (b ₂) se aplicaron N y K según análisis de suelo. |
| | | 102-0-104 NPK (b ₃) se aplicaron N y K según análisis de suelo. |
| | | 0-0-0 NPK (b ₄) Para las 4 variedades |
| 3ra | 90 días | 51-0-52 NPK (b ₁) no se aplicó K (disponible en el suelo) |
| | | 76-0-78 NPK (b ₂) se aplicaron N y K según análisis de suelo. |
| | | 102-0-104 NPK (b ₃) se aplicaron N y K según análisis de suelo. |
| | | 0-0-0 NPK (b ₄) Para las 4 variedades |

Fuente: Elaboración propia

En la primera fertilización se aplicó la cantidad faltante según análisis de suelo (Tabla 24).

3.4.6. Deshierbo

Se realizaron tres deshierbes utilizando azadón o machete cada mes. Esta labor se realizó con la finalidad de eliminar las plantas indeseables (malezas) de las parcelas, para evitar competencia con las plantas de yuca.

3.4.7. Control de plagas y enfermedades

Para la incidencia de plagas y enfermedades, se aplicó Lorsban 2,5 % PS (“Clorpirifos”) y Oxidloruro de Cobre (85 %) respectivamente, después de realizar el monitoreo a las parcelas.

3.4.8. Cosecha

La cosecha se realizó cortando el tallo con machete a 0,4 m del suelo, previa extracción para determinar el estado de desarrollo, luego extrayendo las raíces con fuerza manual se las sacaran, sin embargo, es necesario considerar que se tomara en cuenta el grado de madurez fisiológica de cada tratamiento para obtener un máximo desarrollo de raíces reservantes.

3.5. Características a evaluar

3.5.1. Altura de planta

La medición se realizó desde la base del tallo (nivel del suelo), hasta las últimas hojas desarrolladas de la planta, cada 60 días. Esta medición fue con una wincha metálica, la observación se registró en centímetros.

3.5.2. Diámetro del tallo

La medida se tomó a 5 cm del nivel de suelo, y se realizó cada 30 días; en esta medición se utilizó un vernier mecánico. La observación se registró en centímetros.

3.5.3. Número total de raíces reservantes por planta.

Se realizó a la cosecha, el conteo de número total de raíces reservantes por planta de yuca.

3.5.4. Número de raíces reservantes comerciales por planta

Se contaron aquellas raíces reservantes que tengan peso y tamaño comercial al momento de la cosecha.

3.5.5. Peso total de raíces reservantes por planta.

Una vez contadas el número total de raíces reservantes se pesaron y esta medida constituyó el peso total. La observación se registró en kilos, al momento de la cosecha.

3.5.6. Peso raíces reservantes comerciales por planta.

Se pesaron aquellas raíces reservantes clasificadas como comerciales luego del conteo de raíces. La observación se registró en kilos a la cosecha.

3.5.7. Rendimiento total de raíces reservantes

Se registró el peso total de raíces por planta. La observación fue en kilos por hectárea, después de la cosecha.

3.5.8. Rendimiento de raíces reservantes comerciales

Se tomó el peso total de raíces reservantes comerciales por planta y la observación se registró en kg/ha, después de la cosecha.

3.5.9. Análisis de rentabilidad

Se determinó para cada tratamiento con la finalidad de observar comparativamente el tratamiento con mayor rentabilidad, la relación: Costo/Beneficio y el índice de rentabilidad, para lo cual se tomaron parámetros económicos, como el rendimiento, ingreso bruto y la utilidad neta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros agronómicos del cultivo de yuca

4.1.1. Altura

En la Tabla 11 se resume la prueba de F del análisis de varianza para la variable altura de planta obtenido en las cinco evaluaciones durante el experimento, donde se evidencia que no hay diferencia estadística ($\alpha > 0,05$) para el efecto de bloques; los niveles de fertilización y la interacción entre los dos factores.

Para el caso de los tratamientos y las variedades de yuca se observó la existencia de diferencias altamente estadísticas ($\alpha < 0,05$); es decir, al menos una variedad de yuca tuvo un efecto mejor y diferente en esta característica biométrica respecto a las demás variedades (Tabla 11).

Los coeficientes de variabilidad calculados están entre los 7,43 % hasta los 14,82 %, valores considerados con poca heterogeneidad bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento; es decir, los datos obtenidos de las unidades experimentales no son muy similares entre sí.

Tabla 11. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para altura de plantas de yuca.

| Fuente de varianza | Gl. | 2 meses | | 4 meses | | 6 meses | | 8 meses | | 10 meses | |
|-----------------------|-----|---------|-------|---------|-------|----------|-------|----------|------|----------|------|
| | | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. |
| BLOQUE | 3 | 5,29 | NS | 46,14 | NS | 125,02 | NS | 150,17 | NS | 1330,01 | NS |
| TRAT. | 15 | 63,13 | AS | 11,31 | AS | 4312,65 | AS | 4901,03 | AS | 6322,25 | AS |
| A | 3 | 297,14 | AS | 6280,21 | AS | 24644,75 | AS | 27435,75 | AS | 34295,11 | AS |
| B | 3 | 6,59 | NS | 141,76 | NS | 281,73 | NS | 377,44 | NS | 279,64 | NS |
| A*B | 9 | 3,98 | NS | 106,55 | NS | 274,8 | NS | 481,48 | NS | 676,25 | NS |
| Error | 45 | 9,25 | | 236,19 | | 357,99 | | 486,4 | | 497,59 | |
| Total | 63 | | | | | | | | | | |
| CV (%) | | | 14,82 | | 16,09 | | 10,58 | | 9,47 | | 7,43 |

A: Variedades de yuca
B: Niveles de fertilización

NS: No existe diferencia significativa
AS: Existe diferencia altamente significativa

En la Tabla 12 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable altura de planta en las cinco evaluaciones realizadas durante la investigación respecto a las variedades y los niveles de fertilización. En cuanto al factor A, se puede observar diferencia estadística ($\alpha < 0,05$) que sitúa a la variedad Blanca con mejor comportamiento durante los primeros meses; sin embargo, fue la variedad Camerún (a_3) quien mostró rendimiento promedio más alto en el periodo final de la investigación (a_4).

Tabla 12. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) de la altura de la planta de yuca según factores en estudio.

| Trat. | 2 meses | | Trat. | 4 meses | | Trat. | 6 meses | | Trat. | 8 meses | | Trat. | 10 meses | |
|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|----------|------|
| | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. |
| a ₃ | 26,40 | a | a ₃ | 115,06 | a | a ₄ | 227,23 | a | a ₄ | 283,83 | a | a ₄ | 360,05 | a |
| a ₄ | 20,76 | b | a ₄ | 107,64 | a | a ₃ | 192,01 | b | a ₃ | 247,17 | b | a ₃ | 312,92 | b |
| a ₁ | 18,61 | b | a ₁ | 88,35 | b | a ₁ | 158,54 | c | a ₁ | 211,34 | c | a ₁ | 271,04 | c |
| a ₂ | 16,34 | c | a ₂ | 71,08 | c | a ₂ | 137,69 | d | a ₂ | 189,51 | d | a ₂ | 257,35 | c |

| Trat. | 2 meses | | Trat. | 4 meses | | Trat. | 6 meses | | Trat. | 8 meses | | Trat. | 10 meses | |
|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|---------|------|----------------|----------|------|
| | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. | | Medias | Sig. |
| b ₃ | 21,21 | a | b ₄ | 99,07 | a | b ₄ | 184,26 | a | b ₂ | 238,30 | a | b ₂ | 304,70 | a |
| b ₂ | 20,71 | a | b ₃ | 96,88 | a | b ₂ | 179,33 | a | b ₄ | 235,60 | a | b ₃ | 303,03 | a |
| b ₄ | 20,52 | a | b ₂ | 93,44 | a | b ₃ | 177,72 | a | b ₃ | 230,28 | a | b ₄ | 297,59 | a |
| b ₁ | 19,67 | a | b ₁ | 92,73 | a | b ₁ | 174,16 | a | b ₁ | 227,66 | a | b ₁ | 296,03 | a |

Leyenda:

Factore (A) = Variedad

- a₁ = Variedad Amarilla
- a₂ = Variedad Tarmaña
- a₃ = Variedad Blanca
- a₄ = Variedad Camerún

Factore (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

- b₁ = 102 - 12 - 104 (20 t/ha)
- b₂ = 153 - 18 - 156 (30 t/ha)
- b₃ = 204 - 24 - 208 (40 t/ha)
- b₄ = Testigo

Respecto al factor B, todos tuvieron el mismo comportamiento estadísticamente ($\alpha > 0,05$); sin embargo, se observa que, en el periodo final, la fertilización que alcanzó mayores valores en la altura fue b_2 (Tabla 12). En la Figura 5, se muestra la altura promedio de yuca alcanzada al final de la investigación. La variedad Camerún (a_4) muestra el valor más alto respecto a esta variable; asimismo, se visualiza que los resultados obtenidos por los fertilizantes son valores cercanos entre sí. Por último, se encontraron resultados más bajos en la variedad Tarmeña (a_2); probablemente las condiciones del lugar no son las apropiadas para tener un crecimiento adecuado en esta variedad o sus factores genéticos condicionen su propio crecimiento. Asimismo, la fertilización no presentó diferencia estadística, indicando también que el crecimiento de este cultivo está más determinado por factores genotípicos, como la variedad, y no por factores fenotípicos.

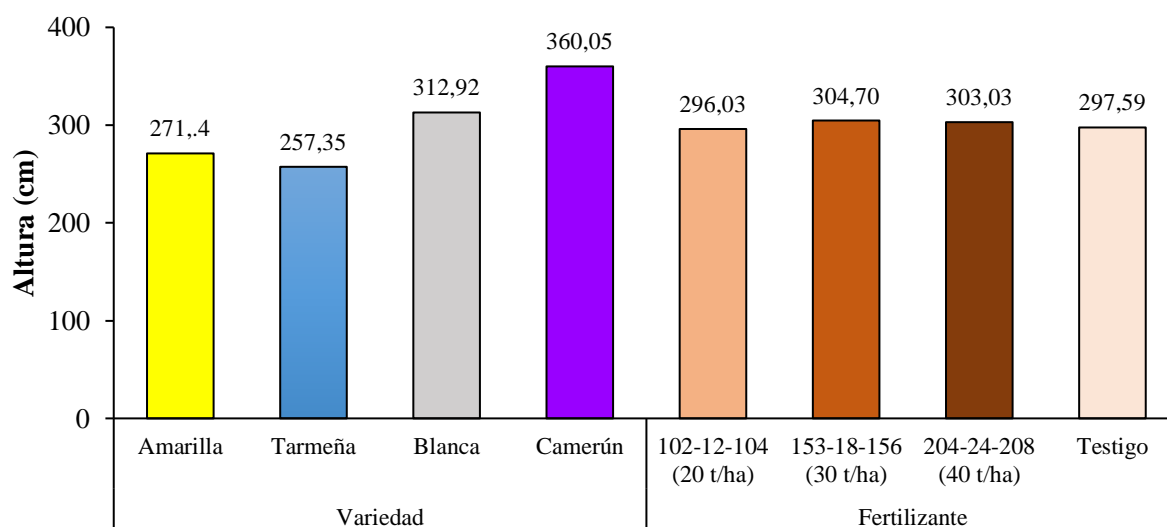


Figura 5. Altura de las plantas de yuca a los 10 meses.

En la Tabla 13, se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable altura de planta en las cinco evaluaciones realizadas durante la investigación correspondiente a los tratamientos. A partir de los 6 meses se puede observar que los tratamientos T_{13} , T_{14} , T_{15} y T_{16} , conformados por la variedad Camerún en distintos niveles de fertilización, tienen diferencia significativa y presentan mayor altura promedio; esto corrobora los resultados de la Tabla 12, que presentan la gran influencia de la variedad a_4 (Camerún). Finalmente, las combinaciones que alcanzaron resultados superiores estadísticamente fueron la variedad Camerún + 204-24-208 de NPK (40 t/ha), T_{15} , y la variedad Camerún + 102-12-104 de NPK (20 t/ha), T_{13} , mientras que los valores más bajos se produjeron en la combinación variedad Tarmeña + 204-24-208 de NPK (40 t/ha), T_7 , debido a que esta variedad tendría un crecimiento más lento en comparación de las demás.

Tabla 13. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) de la altura de la planta (cm) de yuca según tratamientos en estudio.

| 2 meses | | | 4 meses | | | 6 meses | | | 8 meses | | | 10 meses | | |
|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. |
| T ₁₁ | 27,61 | a | T ₁₀ | 124,73 | a | T ₁₆ | 236,70 | a | T ₁₄ | 299,68 | a | T ₁₅ | 368,14 | a |
| T ₁₀ | 27,03 | a | T ₁₁ | 118,42 | ab | T ₁₄ | 232,09 | a | T ₁₆ | 293,89 | ab | T ₁₃ | 360,95 | a |
| T ₉ | 26,08 | a | T ₉ | 116,86 | ab | T ₁₅ | 225,34 | ab | T ₁₅ | 285,61 | ab | T ₁₄ | 355,98 | ab |
| T ₁₂ | 24,86 | ab | T ₁₆ | 114,39 | ab | T ₁₃ | 214,81 | abc | T ₁₃ | 267,39 | abc | T ₁₆ | 355,14 | abc |
| T ₁₅ | 21,75 | bc | T ₁₅ | 111,20 | ab | T ₁₀ | 199,56 | bcd | T ₁₀ | 259,50 | bc | T ₁₀ | 327,81 | bcd |
| T ₁₆ | 20,92 | bcd | T ₁₂ | 110,56 | ab | T ₁₁ | 194,83 | cd | T ₁₁ | 251,75 | c | T ₁₁ | 323,78 | cd |
| T ₁₃ | 20,53 | cd | T ₁₄ | 104,97 | abc | T ₁₂ | 187,14 | de | T ₉ | 240,25 | cd | T ₉ | 303,46 | de |
| T ₁₄ | 19,83 | cde | T ₁₃ | 100,64 | abcd | T ₉ | 186,53 | de | T ₁₂ | 237,17 | cd | T ₁₂ | 296,61 | def |
| T ₃ | 19,60 | cde | T ₄ | 94,64 | bcde | T ₄ | 165,20 | ef | T ₄ | 218,14 | de | T ₃ | 280,61 | efg |
| T ₄ | 18,97 | cdef | T ₃ | 92,95 | bcde | T ₃ | 164,25 | ef | T ₂ | 214,34 | def | T ₄ | 276,06 | efg |
| T ₂ | 18,59 | cdef | T ₂ | 83,5 | cdef | T ₂ | 152,64 | fg | T ₃ | 210,86 | def | T ₂ | 275,08 | efg |
| T ₆ | 17,39 | def | T ₁ | 82,31 | def | T ₁ | 152,06 | fg | T ₁ | 202,03 | efg | T ₅ | 267,31 | fgh |
| T ₈ | 17,33 | def | T ₈ | 77,33 | ef | T ₈ | 148,03 | fg | T ₅ | 200,97 | efg | T ₈ | 262,56 | gh |
| T ₁ | 17,28 | def | T ₅ | 73,59 | ef | T ₅ | 143,25 | fg | T ₈ | 198,70 | efg | T ₆ | 259,95 | gh |
| T ₇ | 15,86 | ef | T ₆ | 66,86 | f | T ₆ | 133,03 | g | T ₆ | 185,47 | fg | T ₁ | 252,39 | gh |
| T ₅ | 14,78 | f | T ₇ | 66,53 | f | T ₇ | 126,45 | g | T ₇ | 172,92 | g | T ₇ | 239,59 | h |

| | | | |
|---|--|--|---|
| T ₁ : Variedad Amarilla + 102-22-104 de NPK | T ₅ : Variedad Tarmeña + 102-22-104 de NPK | T ₉ : Variedad Blanca + 102-22-104 de NPK | T ₁₃ : Variedad Camerún + 102-22-104 de NPK |
| T ₂ : Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK | T ₆ : Variedad Tarmeña + 153-18-156 de NPK | T ₁₀ : Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK | T ₁₄ : Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK |
| T ₃ : Variedad Amarilla + 204 -24-208 de NPK | T ₇ : Variedad Tarmeña + 204 -24-208 de NPK | T ₁₁ : Variedad Blanca + 204 -24-208 de NPK | T ₁₅ : Variedad Camerún + 204 -24-208 de NPK |
| T ₂ : Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK | T ₆ : Variedad Tarmeña + 153-18-156 de NPK | T ₁₀ : Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK | T ₁₄ : Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK |
| T ₄ : Variedad Amarilla + 0-0-0 de NPK | T ₈ : Variedad Tarmeña + 0-0-0 de NPK | T ₁₂ : Variedad Blanca + 0-0-0 de NPK | T ₁₆ : Variedad Camerún + 0-0-0 de NPK |

Con base a lo mostrado en la Tabla 12 y a los resultados de Gonzáles (2021) a los 6 meses, se determina que dos de las variedades utilizadas en la presente investigación alcanzan mejores resultados respecto a la altura durante el mismo periodo, las cuales son Camerún (a_4 : 227,24 cm) y Blanca (a_3 : 192,02 cm), ante los resultados logrados por el mencionado autor con las variedades señorita (186,00 cm) y chaucha (183,00 cm); sin embargo, las variedades Amarilla y Tarmeña tuvieron un menor crecimiento promedio, alcanzando 158,54 cm y 137,69 cm respectivamente. Coincidiendo con el autor, los resultados indican que estas diferencias son características propias de la variedad.

Factores como el deshierbo y la buena iluminación pudieron haber favorecido el crecimiento de las plantas, pues la yuca no es resistente a la competencia por luminosidad, lo que ocasionaría retraso en su desarrollo y baja productividad. Asimismo, el cultivo tolera condiciones de reacción del suelo desde muy ácido hasta neutro, con un óptimo de 5,5 a 6,5. Sin embargo, la ventaja comparativa de la yuca frente a otros cultivos más rentables es la adaptabilidad a suelos ácidos con baja fertilidad, en los cuales su potencial de rendimiento es superior. El suelo donde se desarrolló la presente investigación posee texturas medias, lo que influyó positivamente en la altura, pues, como señala Cadavid (2008), suelos francos, franco arenoso o migajón arenoso, son óptimos por permitir al sistema radicular penetrar sin mayor problema, lo cual repercute en el mayor vigor de la parte aérea de la planta.

Respecto a las variedades Blanca y Amarilla, Inga y López (2001) señala que la altura puede llegar hasta los 2,5 m para el primer caso y hasta 1,20 m para el segundo, asimismo que se cultivan en suelos inundables (restinga) y suelos no inundables (terrazza alta), cosechándose a los 8 y 12 meses de edad, después de lo cual las raíces se ponen duras; sin embargo, en la Tabla 13 podemos ver que estas dos variedades presentaron alturas entre 1,50 a 2,00 m en un periodo de 6 meses, a los 8 meses ya oscilaban entre los 2,00 y 2,60 m, y a los 10 meses sobrepasaron los 2,50 m, alcanzando incluso a superar los 3,00 m en el caso de la variedad de yuca Blanca, lo que coincide con el autor al mencionar su tamaño superior ante la variedad Amarilla.

Aunque es más común encontrar plantas entre 1 y 3 m (Ospina et al., 2002), algunos autores señalan que la yuca es un arbusto cuyo tamaño varía desde 1 a 5 m de la altura; en la presente investigación, las alturas alcanzadas a los 10 meses de siembra superan los 2,5 m, excepto en la combinación variedad Tarmeña + 204-24-208 kg de NPK por ha (T_7); sin embargo, esta misma fórmula de fertilizante ha producido las mejores alturas promedio (368,14 cm) en combinación con la variedad Camerún (T_{15}), lo que permite agruparlos en cultivares altos.

4.1.2. Diámetro

En la Tabla 14 se resume la prueba de F del análisis de varianza para la variable diámetro de planta obtenido en las cinco evaluaciones durante el experimento, donde se evidencia que no hay diferencia estadística ($\alpha > 0,05$) para el efecto de bloques; los niveles de fertilización y la interacción entre los dos factores.

Para el caso de los tratamientos y las variedades de yuca se observó la existencia de diferencias altamente estadísticas ($\alpha < 0,05$); es decir, al menos una variedad de yuca tuvo un efecto mejor y diferente en esta característica biométrica respecto a las demás variedades (Tabla 14).

Los coeficientes de variabilidad calculados están entre los 6,82 % hasta los 11,86 %, valores considerados con poca heterogeneidad bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento; es decir, los datos obtenidos de las unidades experimentales no son muy similares entre sí.

Tabla 14. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para diámetro de yuca.

| Fuente de varianza | Gl. | 2 meses | | 4 meses | | 6 meses | | 8 meses | | 10 meses | |
|-----------------------------|-----|---------|------|---------|------|---|------|---------|------|----------|------|
| | | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. | CM | Sig. |
| BLOQUE | 3 | 0,001 | NS | 0,01 | NS | 0,07 | NS | 0,09 | NS | 0,02 | NS |
| TRATAMIENTO | 15 | 0,02 | AS | 0,25 | AS | 0,31 | AS | 0,29 | AS | 0,24 | AS |
| A | 3 | 0,08 | AS | 1,38 | AS | 1,65 | AS | 1,46 | AS | 1,16 | AS |
| B | 3 | 0,01 | NS | 0,04 | NS | 0,01 | NS | 0,05 | NS | 0,1 | NS |
| A*B | 9 | 0,001 | NS | 0,02 | NS | 0,05 | NS | 0,05 | NS | 0,04 | NS |
| Error | 45 | 0,01 | | 0,04 | | 0,04 | | 0,05 | | 0,04 | |
| Total | 63 | | | | | | | | | | |
| C.V. (%) | | 11,86 % | | 12,91 % | | 8,39 % | | 8,33 % | | 6,82 % | |
| A: Variedades de yuca | | | | | | NS: No existe diferencia significativa | | | | | |
| B: Niveles de fertilización | | | | | | AS: Existe diferencia altamente significativa | | | | | |

En la Tabla 15 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable diámetro de planta en las cinco evaluaciones realizadas durante la investigación respecto a las variedades y los niveles de fertilización. En cuanto al factor A, se observa diferencia estadística altamente significativa ($\alpha < 0,05$) que sitúa a la variedad Blanca (a_3) con mejor comportamiento durante toda la investigación, mientras que los menores resultados se reflejaron con la variedad Tarmeña (a_2).

Tabla 15. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del diámetro de la planta de yuca según factores en estudio.

| 2 meses | | | 4 meses | | | 6 meses | | | 8 meses | | | 10 meses | | |
|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. |
| a ₃ | 0,71 | a | a ₃ | 1,89 | a | a ₃ | 2,62 | a | a ₃ | 2,88 | a | a ₃ | 3,07 | a |
| a ₁ | 0,60 | b | a ₁ | 1,54 | a b | a ₁ | 2,38 | b | a ₁ | 2,76 | a | a ₁ | 2,98 | a b |
| a ₄ | 0,56 | b | a ₄ | 1,51 | a b | a ₄ | 2,37 | b | a ₄ | 2,56 | a | a ₄ | 2,92 | b |
| a ₂ | 0,55 | b | a ₂ | 1,17 | b c | a ₂ | 1,86 | c | a ₂ | 2,19 | a | a ₂ | 2,47 | c |

| 2 meses | | | 4 meses | | | 6 meses | | | 8 meses | | | 10 meses | | |
|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|----------------|--------|------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. |
| b ₃ | 0,63 | a | b ₄ | 1,59 | a | b ₃ | 2,33 | a | b ₃ | 2,68 | a | b ₃ | 2,96 | a |
| b ₂ | 0,61 | a | b ₃ | 1,55 | a | b ₂ | 2,31 | a | b ₂ | 2,60 | a | b ₂ | 2,87 | a b |
| b ₄ | 0,60 | a | b ₂ | 1,50 | a | b ₄ | 2,31 | a | b ₁ | 2,58 | a | b ₁ | 2,84 | a b |
| b ₁ | 0,58 | a | b ₁ | 1,48 | a | b ₁ | 2,27 | a | b ₄ | 2,54 | a | b ₄ | 2,77 | b |

Leyenda:

Factore (A) = Variedad

- a₁ = Variedad Amarilla
- a₂ = Variedad Tarmeña
- a₃ = Variedad Blanca
- a₄ = Variedad Camerún

Factore (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

- b₁ = 102 - 12 - 104 (20 t/ha)
- b₂ = 153 - 18 - 156 (30 t/ha)
- b₃ = 204 - 24 - 208 (40 t/ha)
- b₄ = Testigo

Respecto al factor B, todos tuvieron el mismo comportamiento estadísticamente ($\alpha > 0,05$); sin embargo, se observa que, en el periodo final, la fertilización que alcanzó mayores valores en la altura fue b_3 (Tabla 15).

En la Figura 6, se muestra el diámetro promedio de yuca alcanzado al final de la investigación. La variedad Blanca (a_3) muestra el valor más alto respecto a esta variable; asimismo, se visualiza que los resultados obtenidos por los fertilizantes son valores cercanos entre sí, pero con el testigo (b_4) se obtuvo menor rendimiento. Por último, se encontraron resultados más bajos en la variedad Tarmeña (a_2).

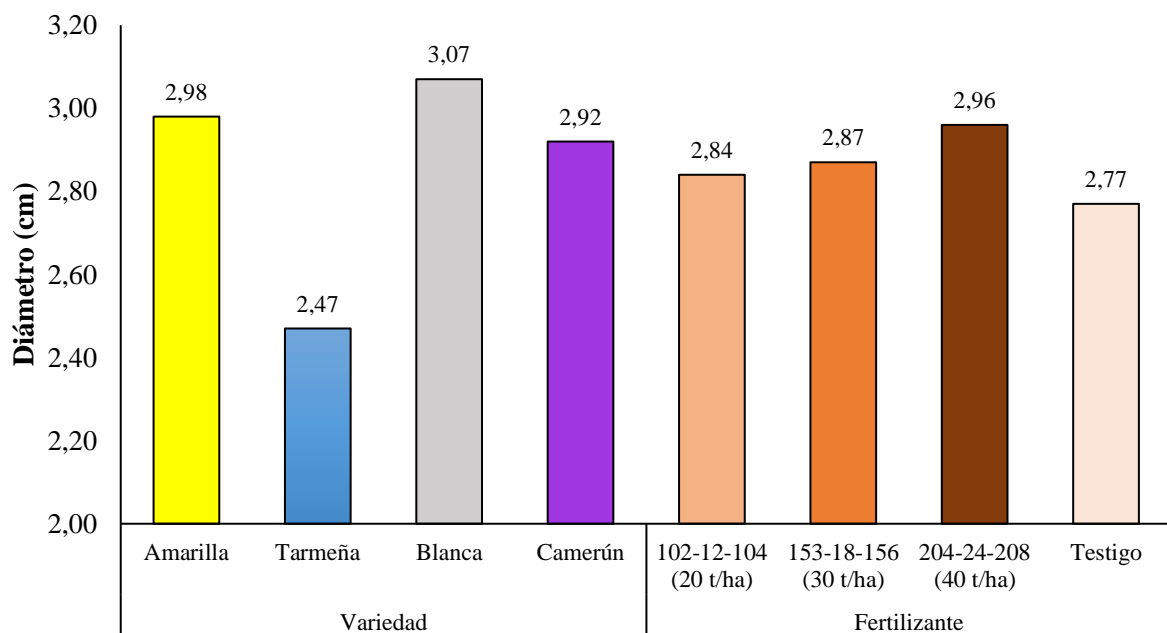


Figura 6. Diámetro de las plantas de yuca a los 10 meses.

En la Tabla 16, se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable diámetro de planta en las cinco evaluaciones realizadas durante la investigación correspondiente a los tratamientos. Los resultados de T_9 , T_{10} , T_{11} y T_{12} , conformados por la variedad Blanca en distintos niveles de fertilización, tienen diferencia significativa y presentan los diámetros promedio con mayor valor; esto corrobora los resultados de la Tabla 15, que presenta la gran influencia de la variedad a_3 (Blanca). Finalmente, las combinaciones con resultados superiores estadísticamente fue la variedad Blanca + NPK (40 t/ha), mientras que los valores más bajos se produjeron en las combinaciones de la variedad Tarmeña, siendo mínimo con la variedad Tarmeña + NPK (40 t/ha).

Tabla 16. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del diámetro (cm) de la planta de yuca según tratamientos en estudio.

| 2 meses | | | 4 meses | | | 6 meses | | | 8 meses | | | 10 meses | | |
|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|--------|------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. |
| T ₁₁ | 0,73 | a | T ₁₁ | 1,93 | a | T ₁₁ | 2,72 | a | T ₁₁ | 3,01 | a | T ₁₁ | 3,19 | a |
| T ₁₀ | 0,72 | a | T ₁₀ | 1,92 | a | T ₁₀ | 2,68 | ab | T ₉ | 2,94 | ab | T ₃ | 3,18 | ab |
| T ₉ | 0,72 | a | T ₉ | 1,87 | a | T ₉ | 2,64 | abc | T ₁₀ | 2,93 | ab | T ₁₀ | 3,18 | ab |
| T ₁₂ | 0,67 | a | T ₁₂ | 1,84 | a | T ₃ | 2,53 | abcd | T ₃ | 2,90 | ab | T ₉ | 3,11 | abc |
| T ₃ | 0,62 | bcd | T ₄ | 1,65 | b | T ₁₂ | 2,45 | abcd | T ₄ | 2,74 | abc | T ₁₅ | 3,03 | abcd |
| T ₂ | 0,61 | cde | T ₁₆ | 1,63 | b | T ₄ | 2,43 | bcd | T ₂ | 2,72 | abc | T ₄ | 2,93 | abcd |
| T ₄ | 0,61 | cde | T ₃ | 1,58 | b | T ₁₆ | 2,42 | bcd | T ₁₅ | 2,69 | bc | T ₁ | 2,91 | abcd |
| T ₁₅ | 0,60 | cde | T ₁₅ | 1,57 | b | T ₁₄ | 2,40 | cd | T ₁ | 2,68 | bc | T ₂ | 2,91 | bcd |
| T ₆ | 0,57 | cde | T ₂ | 1,49 | b | T ₁₅ | 2,37 | cd | T ₁₂ | 2,66 | bc | T ₁₄ | 2,90 | cd |
| T ₁ | 0,57 | cde | T ₁ | 1,44 | b | T ₂ | 2,31 | d | T ₁₄ | 2,58 | cd | T ₁₆ | 2,88 | cd |
| T ₇ | 0,57 | de | T ₁₃ | 1,44 | b | T ₁₃ | 2,28 | d | T ₁₃ | 2,49 | cde | T ₁₃ | 2,85 | cd |
| T ₁₄ | 0,56 | de | T ₁₄ | 1,41 | b | T ₁ | 2,26 | d | T ₁₆ | 2,47 | cde | T ₁₂ | 2,81 | d |
| T ₁₆ | 0,56 | de | T ₈ | 1,24 | c | T ₈ | 1,94 | e | T ₈ | 2,30 | def | T ₆ | 2,49 | e |
| T ₈ | 0,56 | de | T ₆ | 1,16 | c | T ₅ | 1,92 | e | T ₅ | 2,21 | ef | T ₅ | 2,47 | e |
| T ₁₃ | 0,53 | de | T ₅ | 1,15 | c | T ₆ | 1,86 | e | T ₆ | 2,16 | f | T ₈ | 2,46 | e |
| T ₅ | 0,51 | e | T ₇ | 1,12 | c | T ₇ | 1,72 | e | T ₇ | 2,11 | f | T ₇ | 2,44 | e |

T₁: Variedad Amarilla + 102-22-104 de NPK
T₂: Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK
T₃: Variedad Amarilla + 204 -24-208 de NPK
T₄: Variedad Amarilla + 0-0-0 de NPK

T₅: Variedad Tarmeña + 102-22-104 de NPK
T₆: Variedad Tarmeña + 153-18-156 de NPK
T₇: Variedad Tarmeña + 204 -24-208 de NPK
T₈: Variedad Tarmeña + 0-0-0 de NPK

T₉: Variedad Blanca + 102-22-104 de NPK
T₁₀: Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK
T₁₁: Variedad Blanca + 204 -24-208 de NPK
T₁₂: Variedad Blanca + 0-0-0 de NPK

T₁₃: Variedad Camerún + 102-22-104 de NPK
T₁₄: Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK
T₁₅: Variedad Camerún + 204 -24-208 de NPK
T₁₆: Variedad Camerún + 0-0-0 de NPK

Con base a lo mostrado en la Tabla 16 y a los resultados de Gonzales (2021) a los 6 meses, se determina que tres de las variedades utilizadas en la presente investigación alcanzan mejores resultados respecto al diámetro durante el mismo periodo, las cuales son Blanca (hasta 2,72 cm), Amarilla (hasta 2,53 cm) y Camerún (hasta 2,42 cm); sólo en el caso de la variedad Tarmeña los resultados son similares, variando entre 1,72 hasta 1,94 cm, mientras que el mencionado autor reporta 1,83 cm de diámetro para la variedad señorita y 1,68 cm para la variedad chaucha. Sin embargo, las alturas obtenidas en la presente investigación son también mayores, y ante la relación directa que existe entre esta variable y el diámetro, es de esperar que los tallos de las plantas resulten con mayor grosor.

La Tabla 16 ubica a la variedad Blanca con los mejores resultados respecto al diámetro, de modo que las tres combinaciones donde se usó NPK (T₁₁, T₁₀ y T₉) se posicionan entre los cuatro tratamientos con mayor diámetro. La combinación de la variedad Blanca + 204-24-208 kg de NPK (40 t/ha) (T₁₁), ha logrado mayor valor en esta variable (3,19 cm) entre todos los tratamientos. Esto resalta el efecto positivo de la aplicación del fertilizante, pues esta combinación se hizo con la mayor proporción de NPK; del mismo modo, la variedad Blanca + 153-18-156 de NPK (30 t/ha) llegó a los 3,18 cm del diámetro promedio, y la variedad Blanca + 102-12-104 (20 t/ha) obtuvo 3,11 cm Sin embargo, la variedad Blanca donde no se realizó la aplicación de fertilizante (T₁₂, tratamiento testigo) alcanzó 2,81 cm del diámetro, siendo apenas mejor que la variedad Tarmeña que en todos los tratamientos obtuvo valores más bajos.

Para resaltar la importancia de la fertilización, el segundo mejor tratamiento nos muestra un diámetro de 3,18 cm, el cual se logró con la combinación de la variedad Amarilla + 204-24-208 kg de NPK (40 t/ha). Si bien en este cultivo la parte más importante son las raíces, pues son estas las que se consumen, saber que las plantas cuentan con tallos más gruesos es un buen indicativo, pues el grosor del tallo muchas veces se asocia directamente con un alto rendimiento de raíces reservantes (Aguilar et al., 2017). Los diámetros en la presente investigación varían desde los 2,44 hasta los 3,19 cm, por lo que se consideran intermedias según la clasificación de Ospina et al., (2002) quienes a su vez señala que estas pueden alcanzar diámetros mayores de 4 cm, en cuyo caso se consideran gruesas. Considerando que las alturas son superiores a lo mencionado por otros autores, se esperaría que los diámetros también pudieran superar los 4 cm; no obstante, la yuca, al ser un cultivo de raíz reservante, prioriza almacenar los nutrientes en esta parte baja de la planta, de modo que podría buscar mayor altura para la disponibilidad de luz, y aprovechar los nutrientes para almacenarlos en la raíz, mas no así para engrosar los tallos.

4.2. Rendimiento del cultivo de yuca

4.2.1. Número y peso total de raíces reservantes del cultivo de yuca

En la Tabla 17 se resume la prueba de F del análisis de varianza para las variables número y peso total de raíces reservantes de la planta obtenidos al final del experimento, donde se evidencia que para el primer caso no hay diferencia estadística ($\alpha > 0,05$) para el efecto de tratamientos, los niveles de fertilización, los bloques y la interacción entre los dos factores. Para la segunda variable, tampoco existe diferencia estadística en los tratamientos y los niveles de fertilización.

Respecto a la variable número total de raíces reservantes se observó diferencia altamente estadística ($\alpha < 0,05$) en cuanto a la variedad; mientras que en el peso total de raíces reservantes, las diferencias estadísticas se presentaron en la variedad, los bloques y la interacción de los factores; es decir, al menos una variedad de yuca y una interacción de los factores tuvieron mejor y diferente efecto en el peso.

Los coeficientes de variabilidad calculados están entre los 23,85 % hasta los 25,79 %, valores considerados con poca heterogeneidad bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento; es decir, los datos obtenidos de las unidades experimentales no son muy similares entre sí.

Tabla 17. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para número total y peso total de raíces reservantes de yuca.

| Fuente de varianza | Gl. | N° raíces/planta | | Peso raíces(kg)/planta | |
|------------------------|-----|------------------|------|------------------------|------|
| | | CM | Sig. | CM | Sig. |
| BLOQUE | 3 | 1,83 | NS | 3,57 | AS |
| TRATAMIENTO | 15 | 2,46 | NS | 2,86 | NS |
| VARIEDAD | 3 | 10,47 | AS | 11,26 | AS |
| FERTILIZACIÓN | 3 | 0,37 | NS | 1,61 | NS |
| VARIEDAD*FERTILIZACIÓN | 9 | 0,48 | NS | 0,48 | S |
| Error | 45 | 1,41 | | 0,70 | |
| Total | 63 | | | | |
| C.V. (%) | | 23,85 % | | 25,79 % | |

NS: No existe diferencia significativa

S: Existe diferencia significativa

AS: Existe diferencia altamente significativa

En la Tabla 18 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para la variable número total de raíces reservantes donde se muestra que en las variedades existen dos subgrupos homogéneos, siendo a_1 (variedad Amarilla) quien muestra mejor comportamiento estadístico; asimismo, se confirma que no existe diferencia estadística entre los niveles de fertilización, aunque hay superioridad numérica en el nivel b_4 ,

Respecto al peso total de raíces reservantes, en el factor variedad se observan tres subgrupos homogéneos, de los cuales a_4 (variedad Camerún) presenta mejor comportamiento estadístico; asimismo, se confirma que no existe diferencia estadística entre los niveles de fertilización, aunque hay superioridad numérica en el nivel b_2 .

Tabla 18. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del número y peso de raíces/planta según factores en estudio.

| Número total de raíces reservantes | | | Peso total de raíces reservantes | | |
|------------------------------------|--------|------|----------------------------------|--------|------|
| Variedad | Medias | Sig. | Variedad | Medias | Sig. |
| a_1 | 6,04 | a | a_4 | 4,33 | a |
| a_2 | 5,13 | b | a_1 | 3,26 | b |
| a_4 | 4,57 | b | a_2 | 3,14 | b |
| a_3 | 4,17 | b | a_3 | 2,28 | c |
| Fertilización | Medias | Sig. | Fertilización | Medias | Sig. |
| b_4 | 5,15 | a | b_2 | 3,59 | a |
| b_2 | 5,01 | a | b_3 | 3,45 | a |
| b_3 | 4,95 | a | b_1 | 3,03 | a |
| b_1 | 4,79 | a | b_4 | 2,94 | a |

Leyenda:

Factor (A) = Variedad

- a_1 = Variedad Amarilla
- a_2 = Variedad Tarmeña
- a_3 = Variedad Blanca
- a_4 = Variedad Camerún

Factor (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

- b_1 = 102 – 12 – 104 (20 t/ha)
- b_2 = 153 – 18 – 156 (30 t/ha)
- b_3 = 204 – 24 – 208 (40 t/ha)
- b_4 = Testigo

En la Tabla 19 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para el efecto simple en la variable del peso total de raíces reservantes/planta al final de la investigación según los factores en estudio. Para el factor a_1 variedad de yuca Amarilla, a_2 variedad de yuca Tarmeña y a_4 variedad de yuca Camerún, muestran resultados favorables cuando fueron suministrados las dosis de fertilizante N-P-K del factor b_2 "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" y b_3 "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" respectivamente, obteniéndose 4,94 3,48; 3,38 kg/planta en las variedades Camerún, Amarilla y Tarmeña respectivamente.

Tabla 19 Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del peso total de raíces reservantes/planta según factores en estudio.

| Factor B | | Factor A (variedad de yuca) | |
|-------------------------------|----------------------------|---|-------------|
| Fertilización de N-P-K | | Amarilla "a₁" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 3,48 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 3,37 | a |
| b ₄ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 3,11 | b |
| b ₁ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 3,06 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Tarmeña "a₂" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 3,38 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 3,31 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 3,29 | a |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 2,59 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Blanca "a₃" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 2,61 | a |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 2,47 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 2,19 | b |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 1,88 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Camerún "a₄" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 4,94 | a |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 4,90 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 3,91 | b |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 3,58 | b |

Leyenda:

Factor (A) = Variedad

a₁ = Variedad Amarilla

a₂ = Variedad Tarmeña

a₃ = Variedad Blanca

a₄ = Variedad Camerún

Factor (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

b₁ = 102 – 12 – 104 (20 t/ha)

b₂ = 153 – 18 – 156 (30 t/ha)

b₃ = 204 – 24 – 208 (40 t/ha)

b₄ = Testigo

En la Tabla 20 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para las variables número total de raíces reservantes y peso total de raíces reservantes al final de la investigación correspondiente a los tratamientos. En la primera variable se pueden

observar dos subgrupos homogéneos, en los que predominan las combinaciones realizadas con la variedad Amarilla + diferentes dosis de NPK (T₁, T₂, T₃ y T₄); asimismo, tres de los tratamientos realizados con la variedad Amarilla (T₉, T₁₀ y T₁₁) presentaron menor número promedio de raíces reservantes.

Tabla 20. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del rendimiento de yuca según tratamientos en estudio.

| Número total de raíces reservantes | | | Peso total (kg/planta) de raíces reservantes | | | Rendimiento total (t/ha) | |
|------------------------------------|--------|------|--|--------|------|--------------------------|-------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | t/ha |
| T ₄ | 6,67 | a | T ₁₅ | 4,94 | a | T ₁₅ | 61,75 |
| T ₂ | 6,09 | a | T ₁₄ | 4,90 | a | T ₁₄ | 61,25 |
| T ₁ | 5,70 | a | T ₁₃ | 3,91 | b | T ₁₃ | 48,88 |
| T ₃ | 5,69 | a | T ₁₆ | 3,58 | b | T ₁₆ | 44,75 |
| T ₇ | 5,42 | a | T ₂ | 3,48 | b | T ₂ | 43,50 |
| T ₆ | 5,25 | a | T ₆ | 3,38 | b | T ₆ | 42,25 |
| T ₅ | 5,03 | b | T ₃ | 3,37 | b | T ₃ | 42,13 |
| T ₁₅ | 4,92 | b | T ₇ | 3,31 | b | T ₇ | 41,38 |
| T ₈ | 4,81 | b | T ₅ | 3,29 | b | T ₅ | 41,13 |
| T ₁₆ | 4,67 | b | T ₄ | 3,11 | b | T ₄ | 38,88 |
| T ₁₂ | 4,48 | b | T ₁ | 3,06 | b | T ₁ | 38,25 |
| T ₁₄ | 4,48 | b | T ₁₀ | 2,61 | b | T ₁₀ | 32,63 |
| T ₁₃ | 4,22 | b | T ₈ | 2,59 | b | T ₈ | 32,38 |
| T ₁₀ | 4,22 | b | T ₁₂ | 2,47 | b | T ₁₂ | 30,88 |
| T ₉ | 4,20 | b | T ₁₁ | 2,19 | b | T ₁₁ | 27,38 |
| T ₁₁ | 3,78 | b | T ₉ | 1,88 | b | T ₉ | 23,50 |

| | |
|---|---|
| T ₁ : Variedad Amarilla + 102-22-104 de NPK | T ₉ : Variedad Blanca + 102-22-104 de NPK |
| T ₂ : Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK | T ₁₀ : Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK |
| T ₃ : Variedad Amarilla + 204 -24-208 de NPK | T ₁₁ : Variedad Blanca + 204 -24-208 de NPK |
| T ₄ : Variedad Amarilla + 0-0-0 de NPK | T ₁₂ : Variedad Blanca + 0-0-0 de NPK |
| T ₅ : Variedad Tarmaña + 102-22-104 de NPK | T ₁₃ : Variedad Camerún + 102-22-104 de NPK |
| T ₆ : Variedad Tarmaña + 153-18-156 de NPK | T ₁₄ : Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK |
| T ₇ : Variedad Tarmaña + 204 -24-208 de NPK | T ₁₅ : Variedad Camerún + 204 -24-208 de NPK |
| T ₈ : Variedad Tarmaña + 0-0-0 de NPK | T ₁₆ : Variedad Camerún + 0-0-0 de NPK |

En el peso promedio de raíces reservantes se obtuvieron dos subgrupos homogéneos en los que estadísticamente predominan los tratamientos con la variedad Camerún (T₁₃, T₁₄, T₁₅ y T₁₆), destacando numéricamente T₁₅, que es la combinación con 204-24-208 kg

de NPK (40 t/ha). Asimismo, las combinaciones realizadas con la variedad Amarilla (T₉, T₁₁ y T₁₂), resultaron tener un rendimiento más bajo.

La Tabla 20 muestra que el mayor número promedio de raíces reservantes se presentó con la variedad Amarilla (T₁, T₂, T₃ y T₄), y que fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos, llegando a un valor de 6,67. Estos resultados son menores a lo obtenido por Torres (2020) con la variedad chaucha (8,6) y señorita (6,95), así como por Gonzales (2021) quien reporta 8,4 y 7,5 con las respectivas variedades mencionadas.

Las diferencias estadísticas del número de raíces/planta, responden a que la planta define este componente del rendimiento durante el primer periodo del desarrollo (Samudio, 2016). Los resultados difieren a lo mencionado por Gonzales (2021), quien observó una tendencia de respuestas favorable en el aumento de las raíces a medida que se incrementa la dosis de P, independientemente de la cantidad de N y K; aunque el P es el nutriente encargado de promover el desarrollo radicular de la planta, en la presente investigación no se ha encontrado diferencia estadística respecto al número de raíces. Aunque aritméticamente los resultados difieren, distan mucho más de las 13,67 raíces/planta que reportaron Burgos y Cenoz (2012); sin embargo, aunque es importante el factor edafoclimático, se vuelve a recalcar las características propias que posee cada variedad, pues esta última investigación mencionada se realizó con la variedad rocha.

Asimismo, aunque la yuca es un cultivo que puede adaptarse a suelos con bajos nutrientes, es importante encontrar una adecuada fertilización para un mejor provecho en el rendimiento. Rioja (2020) menciona que los altos niveles de K no favorecieron la producción de raíces reservantes y que la mayor producción de estas estuvo asociada con un alto nivel de fósforo, y finalmente demostraron que no existe formación de raíces reservantes con altos niveles de N y bajos niveles de P y K.

Respecto a los resultados obtenidos en el peso de raíz, estos varían entre 1,88 – 4,94 kg/planta, siendo superior a lo reportado por Gonzales (2021) con las variedades chaucha (1,97 kg/planta) y señorita (1,94 kg/planta) a los 8 meses, mientras que Inga y López (2001) afirma que en variedades como señorita el rango es de 1-3 kg/planta. Sin embargo, en muchos cultivos, también el factor densidad de siembra presenta influencia en las variables; en el caso del peso de raíz, Gonzales (2021) ha encontrado mejores resultados con el distanciamiento 1 x 1,2 y 1 x 1,5 (2,34 y 2,33 kg) ante 1 x 0,8 m (2,00 kg/planta), que es la densidad utilizada en la presente investigación; esto debido a que los niveles de nutrientes presentes en el suelo fueron complementados con las cantidades descritas en cada fórmula de fertilización.

Finalmente, se puede observar que mayor número de raíces no asegura un mayor rendimiento en el peso de las mismas, pues teniendo en cuenta que los autores mencionados encontraron resultados mayores respecto al número de raíces, el rendimiento en el peso de las raíces que reportan es menor a lo obtenido en la presente investigación.

4.2.2. Número y peso total de raíces comerciales del cultivo de yuca

En la Tabla 21 se resume la prueba de F del análisis de varianza para las variables número y peso total de raíces comerciales de la planta obtenidos al final del experimento, donde se evidencia que para el primer caso no hay diferencia estadística ($\alpha > 0,05$) para el efecto de tratamientos, las variedades, los niveles de fertilización, los bloques ni la interacción entre los dos factores.

Respecto a la variable peso total de raíces comerciales se observó diferencia estadística ($\alpha < 0,05$) en cuanto al tratamiento, variedad y la interacción de estos dos factores; es decir, al menos una variedad de yuca y una interacción de los factores tuvieron diferente y mejor efecto.

Los coeficientes de variabilidad calculados están entre los 30,29 % hasta los 33,65 %, valores considerados con poca heterogeneidad bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento; es decir, los datos obtenidos de las unidades experimentales no son muy similares entre sí.

Tabla 21. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para número y peso total de raíces comerciales de yuca/planta.

| Fuente de varianza | Gl. | Número de raíces comerciales | | Peso raíces comerciales | |
|--------------------|-----|------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | CM | Sig. | CM | Sig. |
| BLOQUE | 3 | 0,66 | NS | 1,92 | S |
| TRATAMIENTO | 15 | 0,18 | NS | 2,23 | AS |
| A | 3 | 0,10 | NS | 9,15 | AS |
| B | 3 | 0,01 | NS | 1,24 | NS |
| A*B | 9 | 0,26 | NS | 0,26 | S |
| Error | 45 | 0,75 | | 0,49 | |
| Total | 63 | | | | |
| C.V. (%) | | 33,65 % | | 30,29 % | |

A: Variedades de yuca

B: Niveles de fertilización

NS: no existe diferencia significativa

S: Existe diferencia significativa

AS: Existe diferencia altamente significativa

En la Tabla 22 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para la variable número total de raíces comerciales donde se muestra que en las variedades no existen diferentes subgrupos; no obstante, a_2 (variedad Amarilla) y a_4 (variedad Camerún) alcanzaron los mayores resultados promedio (2,62). Del mismo modo, en el factor fertilización tampoco hubo subgrupos.

Respecto al peso total de raíces comerciales, en el factor variedad se observan tres subgrupos homogéneos, de los cuales a_4 (variedad Camerún) presenta superior comportamiento estadístico; asimismo, se confirma que no existe diferencia estadística entre los niveles de fertilización, aunque hay superioridad numérica en el nivel b_2 .

Tabla 22. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del número y peso total de raíces comerciales de yuca/planta según factores en estudio.

| Número total de raíces comerciales | | | Peso total (kg) de raíces comerciales | | |
|------------------------------------|--------|------|---------------------------------------|--------|------|
| Variedad | Medias | Sig. | Variedad | Medias | Sig. |
| a_2 | 2,62 | a | a_4 | 3,35 | a |
| a_4 | 2,62 | a | a_2 | 2,17 | b |
| a_1 | 2,60 | a | a_1 | 2,17 | b |
| a_3 | 2,45 | a | a_3 | 1,53 | c |
| Fertilización | Medias | Sig. | Fertilización | Medias | Sig. |
| b_2 | 2,61 | a | b_2 | 2,57 | a |
| b_4 | 2,57 | a | b_3 | 2,49 | a |
| b_3 | 2,56 | a | b_1 | 2,19 | a |
| b_1 | 2,55 | a | b_4 | 1,97 | a |

Leyenda:

Factore (A) = Variedad

- a_1 = Variedad Amarilla
- a_2 = Variedad Tarmaña
- a_3 = Variedad Blanca
- a_4 = Variedad Camerún

Factore (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

- b_1 = 102 – 12 – 104 (20 t/ha)
- b_2 = 153 – 18 – 156 (30 t/ha)
- b_3 = 204 – 24 – 208 (40 t/ha)
- b_4 = Testigo

En la Tabla 23 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para el efecto simple en la variable del peso total de raíces comerciales reservantes/planta al final de la investigación según los factores en estudio. Para el factor a_4 variedad de yuca Camerún muestra resultados favorables cuando fue suministrado las dosis de fertilizante N-P-K del factor b_2 "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" y b_3 "204 – 24 – 208 (40 t/ha)", obteniéndose 3,92 y 3,73 kg/planta respectivamente.

Tabla 23 Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del peso total de raíces comerciales de yuca/planta según factores en estudio.

| Factor B | | Factor A (variedad de yuca) | |
|-------------------------------|----------------------------|---|-------------|
| Fertilización de N-P-K | | Amarilla "a₁" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 2,45 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 2,16 | b |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 2,15 | b |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 1,91 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Tarmeña "a₂" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 2,55 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 2,23 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 2,13 | a |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 1,78 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Blanca "a₃" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 1,65 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 1,56 | a |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 1,52 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 1,40 | b |
| Fertilización de N-P-K | | Camerún "a₄" (kg/planta) | |
| | | Medias | Sig. |
| b ₂ | "153 – 18 – 156 (30 t/ha)" | 3,92 | a |
| b ₃ | "204 – 24 – 208 (40 t/ha)" | 3,73 | a |
| b ₁ | "102 – 12 – 104 (20 t/ha)" | 3,07 | b |
| b ₄ | "0 – 0 – 0 (0 t/ha)" | 2,67 | b |

Leyenda:

Factor (A) = Variedad

a₁ = Variedad Amarilla

a₂ = Variedad Tarmeña

a₃ = Variedad Blanca

a₄ = Variedad Camerún

Factor (B) = Fertilización de N-P-K (t/ha)

b₁ = 102 – 12 – 104 (20 t/ha)

b₂ = 153 – 18 – 156 (30 t/ha)

b₃ = 204 – 24 – 208 (40 t/ha)

b₄ = Testigo

En la Tabla 24 se muestra la prueba de comparación de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) para las variables número total de raíces comerciales y peso total de raíces comerciales al final de la investigación correspondiente a los tratamientos. En la primera variable se puede

observar que no existen subgrupos; sin embargo, T₁₅, tratamiento formado por la variedad Camerún + 204-24-208 kg de NPK (40 t/ha), presenta el segundo mejor comportamiento.

Tabla 24. Prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$) del rendimiento de raíces comerciales/planta de los tratamientos.

| Número total de raíces comerciales | | | Peso total (kg) de raíces comerciales | | | Rendimiento comercial (t/ha) | |
|------------------------------------|--------|------|---------------------------------------|--------|------|------------------------------|-------|
| Trat. | Medias | Sig. | Trat. | Medias | Sig. | Trat. | t/ha |
| T ₆ | 3,06 | a | T ₁₄ | 3,92 | a | T ₁₄ | 49,00 |
| T ₁₅ | 2,89 | a | T ₁₅ | 3,73 | a | T ₁₅ | 46,63 |
| T ₄ | 2,75 | a | T ₁₃ | 3,07 | a | T ₁₃ | 38,38 |
| T ₁ | 2,67 | a | T ₁₆ | 2,67 | b | T ₁₆ | 33,38 |
| T ₁₆ | 2,67 | a | T ₆ | 2,55 | b | T ₆ | 31,88 |
| T ₇ | 2,64 | a | T ₃ | 2,45 | b | T ₃ | 30,63 |
| T ₉ | 2,64 | a | T ₇ | 2,23 | b | T ₇ | 27,88 |
| T ₁₂ | 2,50 | a | T ₁ | 2,16 | b | T ₁ | 27,00 |
| T ₃ | 2,50 | a | T ₂ | 2,15 | b | T ₂ | 26,88 |
| T ₂ | 2,47 | a | T ₅ | 2,13 | b | T ₅ | 26,63 |
| T ₁₀ | 2,47 | a | T ₄ | 1,91 | b | T ₄ | 23,88 |
| T ₁₃ | 2,47 | a | T ₈ | 1,78 | b | T ₈ | 22,25 |
| T ₁₄ | 2,45 | a | T ₁₀ | 1,65 | b | T ₁₀ | 20,63 |
| T ₅ | 2,42 | a | T ₁₁ | 1,56 | b | T ₁₁ | 19,50 |
| T ₈ | 2,36 | a | T ₁₂ | 1,52 | b | T ₁₂ | 19,00 |
| T ₁₁ | 2,20 | a | T ₉ | 1,40 | b | T ₉ | 17,50 |

T₁: Variedad Amarilla + 102-22-104 de NPK
 T₂: Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK
 T₃: Variedad Amarilla + 204 -24-208 de NPK
 T₄: Variedad Amarilla + 0-0-0 de NPK
 T₅: Variedad Tarmeña + 102-22-104 de NPK
 T₆: Variedad Tarmeña + 153-18-156 de NPK
 T₇: Variedad Tarmeña + 204 -24-208 de NPK
 T₈: Variedad Tarmeña + 0-0-0 de NPK

T₉: Variedad Blanca + 102-22-104 de NPK
 T₁₀: Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK
 T₁₁: Variedad Blanca + 204 -24-208 de NPK
 T₁₂: Variedad Blanca + 0-0-0 de NPK
 T₁₃: Variedad Camerún + 102-22-104 de NPK
 T₁₄: Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK
 T₁₅: Variedad Camerún + 204 -24-208 de NPK
 T₁₆: Variedad Camerún + 0-0-0 de NPK

En el peso promedio de raíces comerciales se obtuvieron dos subgrupos homogéneos en los que estadísticamente predominan los tratamientos con la variedad Camerún (T₁₃, T₁₄, T₁₅ y T₁₆), destacando numéricamente T₁₄, que es la combinación con 153 – 18 – 156

de NPK (30 t/ha). Asimismo, las combinaciones realizadas con la variedad Amarilla (T₉, T₁₀, T₁₁ y T₁₂), resultaron tener un rendimiento más bajo.

La variedad Camerún ha tenido mejor interacción con los distintos niveles de fertilización. Las fórmulas utilizadas se basaron en lo recomendado por Bertsch (2004), quien para un rendimiento de 1 t/ha de yuca sugiere 5,1 de N, 0,6 de P y 5,2 kg K; así, de las combinaciones con las que se estimaba alcanzar el máximo rendimiento (40 t/ha) tenemos sólo aquella que se hizo con la variedad Camerún, que llegó a las 46,63 t/ha. Sin embargo, este valor se vio superado por la fertilización que buscaba alcanzar las 30 t/ha, llegando a producir 49 t/ha de raíz comercial. De la variedad mencionada, el tratamiento con menor rendimiento fue T₁₆, donde no se aplicó fertilización, aunque también tuvo mejor rendimiento que los demás tratamientos.

El rendimiento obtenido en cada tratamiento supera a lo presentado por autores como Gonzales (2021), quien con la variedad chaucha alcanzó las 6,78 t/ha y con la variedad señorita 8 t/ha de rendimiento comercial en Tingo María. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las variedades poseen características propias para un crecimiento aéreo y radicular, las variaciones en los rendimientos pueden responder también a factores edafoclimáticos que presentan los diferentes campos experimentales.

4.2.3. Rentabilidad en la producción del cultivo de yuca según los tratamientos

En la Tabla 25 se presenta el beneficio costo de los cinco tratamientos aplicados en la investigación. Los resultados muestran que los tratamientos tienen un B/C mayor a uno; es decir, los beneficios son mayores que los costos, por lo tanto la diferencia beneficio costo (B/C) será positivo, indicando las ganancias por unidad monetaria invertida y viceversa; asimismo, es necesario tener en cuenta que una relación beneficio costo igual a uno no significa que no existe beneficio, sino que estos apenas llegan a compensar el costo de oportunidad de las alternativas de inversión.

Los tratamientos con la variedad Camerún (T₁₃, T₁₄, T₁₅ y T₁₆) presentan mejor proyección, mostrando en T₁₄ (153–18–156 kg de NPK) el mayor resultado. El valor 6,37 indica que por cada S/ 1,00 soles invertidos, se obtendrá un beneficio de S/ 5,37 soles. Sin embargo, T₁₆, donde no se utilizó fertilizante, proyecta un beneficio costo de 5,74, siendo una buena alternativa.

El propósito del análisis beneficio - costo es brindar un procedimiento consistente para evaluar la toma de decisiones en base a sus posibles consecuencias y por lo mismo se recomienda su aplicación si se considera introducir un producto en el mercado.

Tabla 25. Análisis beneficio costo (B/C) en los diferentes tratamientos.

| CLAVE | plantas/ golpe | Plantas /ha | Kg/ha | Costo de producción/ha S/ | Ingreso total/ha S/ | B/C |
|-----------------|-------------------|----------------|-----------|---------------------------------|------------------------|------|
| T ₁ | 1 | 12 500 | 27 000,00 | 7 202,00 | 29 700,00 | 4,12 |
| T ₂ | 1 | 12 500 | 26 875,00 | 8 009,20 | 29 562,50 | 3,69 |
| T ₃ | 1 | 12 500 | 30 625,00 | 9 216,10 | 33 687,50 | 3,66 |
| T ₄ | 1 | 12 500 | 23 875,00 | 6 202,20 | 26 262,50 | 4,23 |
| T ₅ | 1 | 12 500 | 26 625,00 | 7 194,40 | 29 287,50 | 4,07 |
| T ₆ | 1 | 12 500 | 31 875,00 | 8 111,20 | 35 062,50 | 4,32 |
| T ₇ | 1 | 12 500 | 27 875,00 | 9 160,00 | 30 662,50 | 3,35 |
| T ₈ | 1 | 12 500 | 22 250,00 | 6 169,10 | 24 475,00 | 3,97 |
| T ₉ | 1 | 12 500 | 17 500,00 | 7 008,10 | 19 250,00 | 2,75 |
| T ₁₀ | 1 | 12 500 | 20 625,00 | 7 881,60 | 22 687,50 | 2,88 |
| T ₁₁ | 1 | 12 500 | 19 500,00 | 8 989,10 | 21 450,00 | 2,39 |
| T ₁₂ | 1 | 12 500 | 19 000,00 | 6 102,80 | 20 900,00 | 3,42 |
| T ₁₃ | 1 | 12 500 | 38 375,00 | 7 434,20 | 42 212,50 | 5,68 |
| T ₁₄ | 1 | 12 500 | 49 000,00 | 8 460,70 | 53 900,00 | 6,37 |
| T ₁₅ | 1 | 12 500 | 46 625,00 | 9 542,60 | 51 287,50 | 5,37 |
| T ₁₆ | 1 | 12 500 | 33 375,00 | 6 396,10 | 36 712,50 | 5,74 |

T₁: Variedad Amarilla + 102-22-104 de NPK
T₂: Variedad Amarilla + 153-18-156 de NPK
T₃: Variedad Amarilla + 204 -24-208 de NPK
T₄: Variedad Amarilla + 0-0-0 de NPK
T₅: Variedad Tarmaña + 102-22-104 de NPK
T₆: Variedad Tarmaña + 153-18-156 de NPK
T₇: Variedad Tarmaña + 204 -24-208 de NPK
T₈: Variedad Tarmaña + 0-0-0 de NPK

T₉: Variedad Blanca + 102-22-104 de NPK
T₁₀: Variedad Blanca + 153-18-156 de NPK
T₁₁: Variedad Blanca + 204 -24-208 de NPK
T₁₂: Variedad Blanca + 0-0-0 de NPK
T₁₃: Variedad Camerún + 102-22-104 de NPK
T₁₄: Variedad Camerún + 153-18-156 de NPK
T₁₅: Variedad Camerún + 204 -24-208 de NPK
T₁₆: Variedad Camerún + 0-0-0 de NPK

Los resultados de la presente investigación están por encima de los obtenidos por autores que utilizaron otras variedades. Gonzales (2021) reporta valores de B/C que van desde 1,38 hasta 3,28 en las variedades señorita y chaucha; Torres (2020) presenta B/C desde 0,3 hasta 2,08 con las mismas variedades que el primero. Sin embargo, el precio de venta de las raíces que ambos consideraron en sus investigaciones para los respectivos años fue de S/ 0,80xkg, mientras que actualmente el precio considerado es de S/ 1,10 por 1 kg.

El B/C no aspira a tomar decisiones ni a justificarlas, sino brindar asistencia en la elección, cuando se usa de esta manera, es una herramienta invaluable en la

toma de decisiones, por lo tanto, es importante determinar las cantidades que constituyen los ingresos llamados “beneficios” y los egresos llamados “costos”, para que sea una herramienta de toma de decisiones en el cultivo de yuca. El B/C es un instrumento de toma de decisiones sistemática y cuantitativa, con una visión larga proyectada a las posibles consecuencias de la toma de decisiones, por lo que es muy utilizado; además, el B/C ve la producción como un medio para aumentar el bienestar.

V. CONCLUSIONES

1. La mejor altura y diámetro de tallo del cultivo de yuca fue con la variedad Camerún con la fórmula de fertilización de 204–24–208 kg/ha de NPK, determinándose una altura y diámetro de 368,14 y 3,19 cm para los tratamientos T₁₁ y T₁₅ respectivamente.

2. La mejor producción de raíces reservantes comerciales con la variedad Camerún con resultados en (T₁₄) 49,00 y (T₁₅) 46,63 t/ha con fertilizaciones correspondientes a 153–18–156 y 204–24–208 kg/ha de NPK respectivamente.

3. Según el análisis de B/C realizado a los tratamientos en estudio, la mejor rentabilidad en la producción de raíces reservantes de yuca se dio en la variedad Camerún, con una dosis de 153–18–156 kg/ha de NPK, calculando un beneficio de S/ 6,37 soles de ganancia por cada S/ 1,00 sol invertido. (mejorar).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Replicar el experimento con diferentes distanciamientos que varíen la densidad de siembra, para determinar la densidad de siembra apropiada del cultivo de yuca en suelos aluviales debido a las diferencias de promedio de raíces obtenidos por otros autores que instalaron a menor densidad.
2. Realizar investigaciones en la producción de yuca mediante abonamiento de restos de animales diferentes (Estiércoles) para una producción orgánica buscando nichos de mercados diferentes que incrementen los ingresos económicos de los agricultores.
3. Realizar investigaciones en la producción de yuca en diferentes tipos de suelo para ver su potencial genético de producción y adaptabilidad a medios diferentes de su lugar de origen.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, E., Segreda, A., Saborío, D., Morales, J., Chacón, M., Rodríguez, L., Acuña, P., Torres, S., y Gómez, Y. (2017). Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Bertsch, F. (2004). Absorción de nutrimentos por los cultivos: información disponible y usos de los estudios de absorción. *V Congreso Nacional de Fitopatología, V Congreso Iberoamericano de Agroplasticultura, IV Congreso Nacional de Suelos*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/4f83c58e-e1bf-4708-a953-4d6596d892db>
- Burgos, A., y Cenóz, P. (2012). Efectos de la aplicación de fósforo y potasio en la producción y calidad de raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en un suelo arenoso y clima subtropical. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1), 143-151. <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/45605/1/cg12017.pdf>
- Cadavid, L. (2008). Fertilización del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca [CLAYUCA]*. <https://buscador.una.edu.ni/Record/RepoAGROSAVIA19225>
- Elías, R., y Mejía, J. (2014). *Caracterización morfológica y genética de etnovariedades de Manihot esculenta, Crantz, "yuca" en seis localidades de la cuenca baja del río Ucayali – Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://biblioteca.unapiquitos.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13320>
- Furcal, P., Torres, S., y Andrade, W. (2015). Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 28(2), 84–101. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i2.2336>
- Gil, J. (2019). *Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento y la calidad de un cultivo de yuca forrajera (Manihot esculenta Crantz)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80397>
- Gonzales, A. (2021). *Efecto del distanciamiento de siembra en el rendimiento de dos variedades de Manihot esculenta Crantz en suelo ex cocal, Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/38ee8e67-01af-4b53-b310-5321fcf130c2>

- Inga, H., y López, J. (2001). Diversidad de yuca (*Manihot esculenta* crantz) en Jenaro Herrera, Loreto – Perú. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/237>
- Mojena, M., y Pascual, M. (2004). Rendimiento en la yuca (*Manihot esculenta*) en diferentes arreglos espaciales. *Agronomía Costarricense*, 28(2),87-94. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v28n02_087.pdf
- Ospina, B., Ceballos, H., Álvarez, E., Bellotti, A., Calvert, L., Arias, V., Cadavid, L., Pineda, B., Llano, G., y Cuervo, M. (2002). La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*. <https://cgspace.cgiar.org/items/7682a05d-f242-4264-bfd8-6ca93913adcf>
- Ospina, B., y Ceballos, H. (2015). Tecnologías modernas para la producción de yuca. *Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca [CLAYUCA]*. <http://www.fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/Portals/0/Documentos/Tecnologias%20modernas%20para%20produccion%20de%20yuca.pdf>
- Pérez, E. (2008). *Efecto de las posiciones y profundidades de siembra de esquejes en el rendimiento de Manihot esculenta crantz en la estación experimental agropecuaria Satipo de la UNCP* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1906>
- Quirós, B., y Salas, E. (2006). *Análisis de crecimiento y absorción de nutrientes en yuca (Manihot esculenta) en El Tanque La Fortuna de San Carlos, Alajuela* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5896>
- Rioja, P. (2020). *Niveles de cal más urea y su influencia en las características agronómicas y rendimiento de (Manihot esculenta Crantz), Yurimaguas 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/7300>
- Rodríguez, R., Herrera, J., y Herrera, A. (2016). Fertilización fosfórica y potásica de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) en rotación de cultivos. *Universidad & ciencia*, 5 (2):1-12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8315502>
- Rojas, M., y Torres, E. (2010). *Efecto de tres abonos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento en Yuca (Manihot esculenta Crantz) El Plantel, Masaya, 2007* [Tesis de

- pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/2106/>
- Samudio, G. (2016). *Fertilización potásica, con enmienda orgánica e inorgánica en mandioca (Manihot esculenta Crantz)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Asunción]. Repositorio Institucional UNA. <https://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/4121>
- Seminario, J. (2004). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) N° 6. *Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación*. <https://books.google.com.pe/books?id=L-sz8Eir9IIC>
- Torres, M. (2020). *Efecto de cinco fórmulas de abonamiento en el rendimiento de dos variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz) en un suelo ácido en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/3363d760-5836-4807-9dca-12ec54820b22>

ANEXOS

Tabla 26. Cálculo de requerimiento nutricional según análisis de suelo y costo por factor.

| Cálculo De Requerimiento Nutricional Según Análisis De Suelo | Nutriente Requerido | kg/ha | | Fuente a Emplear | Fertilizante requerido kg/ha | Costo fertilizante S/x kg | Costo fertilizante S/ x ha | Costo de aplicación/ha del (Factor B) S/ |
|---|------------------------|--------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| b₁ = 102 – 12 – 104 (20 t/ha) | | | | | | | | 936,00 |
| (EXTRACCION-((PCA* % N)/100 * Cm * Cd))/CAU | N | 143,52 | NH ₄ ⁺ | Úrea 46 % | 312 | 3 | 936 | |
| (EXTRACCION-((PCA* Pppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | P | -7,16 | P ₂ O ₅ | SFT 46 % | no | 3,5 | | |
| (EXTRACCION-((PCA* Kppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | K | -47,88 | K ₂ O | KCl 60 % | no | 2,7 | | |
| b₂ = 153 – 18 – 156 (30 t/ha) | | | | | | | | 1 745,70 |
| (EXTRACCION-((PCA* % N)/100 * Cm * Cd))/CAU | N | 245,52 | NH ₄ ⁺ | Úrea 46 % | 533,74 | 3 | 1 601,2 | |
| (EXTRACCION-((PCA* Pppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | P | -1,16 | P ₂ O ₅ | SFT 46 % | no | 3,5 | | |
| (EXTRACCION-((PCA* Kppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | K | 32,12 | K ₂ O | KCl 60 % | 53,53 | 2,7 | 144,5 | |
| b₃ = 204 – 24 – 208 (40 t/ha) | | | | | | | | 2 876,10 |
| (EXTRACCION-((PCA* % N)/100 * Cm * Cd))/CAU | N | 347,52 | NH ₄ ⁺ | Úrea 46 % | 755,48 | 3 | 2 266,4 | |
| (EXTRACCION-((PCA* Pppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | P | 13,82 | P ₂ O ₅ | SFT 46 % | 30,04 | 3,5 | 105,2 | |
| (EXTRACCION-((PCA* Kppm)/106 *0,4*1,21))/CAU | K | 112,12 | K ₂ O | KCl 60 % | 186,87 | 2,7 | 504,5 | |

Saco de 50 kg Precio
 Úrea S/ 150,00
 Súper Fosfato Triple S/ 175,00
 Cloruro de Potasio S/ 135,00

Los valores en negativo (-) no requieren aplicación pues ya se encuentran disponibles en el suelo.

Tabla 27. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Amarilla.

| Costo de la producción de yuca | Unidad de medida | Valor Unitario (S/) | C | Costo | Costo | Costo | Costo |
|---------------------------------------|------------------|---------------------|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) |
| I. Costos directos | | | | T₁ | T₂ | T₃ | T₄ |
| | | | | a ₁ b ₁ | a ₁ b ₂ | a ₁ b ₃ | a ₁ b ₄ |
| 1.2 Insumos y equipos | | | | | | | |
| Alquiler de terreno | ha | 1 000,00 | 1 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Análisis de suelo | ha | 80,00 | 1 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Compra de estacas semilleras | saco | 60,00 | 12 | 720,00 | 720,00 | 720,00 | 720,00 |
| Fungicida | kg | 50,00 | 3 | 150,00 | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Insecticida | l | 55,00 | 3 | 165,00 | 165,00 | 165,00 | 165,00 |
| Fertilizante N-P-K | saco | * | | 936,00 | 1 745,70 | 2 876,10 | 0,00 |
| 1.1 Mano de obra | | | | | | | |
| Preparación de terreno | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Alineamiento, hoyado y siembra | Jor. | 50,00 | 10 | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Control de malezas | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Fertilización | Jor. | 50,00 | 6 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Control fitosanitario | Jor. | 100,00 | 3 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Cosecha, selección y encostalado | Jor. | 50,00 | 20 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Transporte y Carguío | Jor. | 1 000,00 | 1 | 551,00 | 548,50 | 625,00 | 487,20 |
| Costo Total de Producción S/ | | | | 7 202,00 | 8 009,20 | 9 216,10 | 6 202,20 |
| II. Valorización de la cosecha | | | | | | | |
| 2.1 Rendimiento total (kg/ha) | | | | 38 250,00 | 43 500,00 | 42 125,00 | 38 875,00 |
| 2.2 Rendimiento comercial (kg/ha) | | | | 27 000,00 | 26 875,00 | 30 625,00 | 23 875,00 |
| 2.3 Precio prom de venta (S/ x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 2.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 29 700,00 | 29 562,50 | 33 687,50 | 26 262,50 |
| III. Análisis económico | | | | | | | |
| 4.2 Costo Total de Prod. | | | | 7 202,00 | 8 009,20 | 9 216,10 | 6 202,20 |
| 4.3 Precio prom de venta (S/ x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 4.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 29 700,00 | 29 562,50 | 33 687,50 | 26 262,50 |
| 4.5 Utilidad de la Prod. | | | | 22 498,00 | 21 553,30 | 24 471,40 | 20 060,30 |
| 4.6 Beneficio Costo (B/C) | | | | 3,12 | 2,69 | 2,66 | 3,23 |

* Los costos de fertilización de NPK se detallan en la Tabla 24.

Tabla 28. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Tarmeña.

| Costo de la producción de yuca | Unidad de medida | Valor Unitario (S/) | C | Costo | Costo | Costo | Costo |
|---------------------------------------|------------------|---------------------|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) |
| I. Costos directos | | | | T₅ | T₆ | T₇ | T₈ |
| | | | | a ₂ b ₁ | a ₂ b ₂ | a ₂ b ₃ | a ₂ b ₄ |
| 1.2 Insumos y equipos | | | | | | | |
| Alquiler de terreno | ha | 1 000,00 | 1 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1000,00 |
| Análisis de suelo | ha | 80,00 | 1 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Compra de estacas semilleras | saco | 60,00 | 12 | 720,00 | 720,00 | 720,00 | 720,00 |
| fungicida | kg, | 50,00 | 3 | 150,00 | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Insecticida | l. | 55,00 | 3 | 165,00 | 165,00 | 165,00 | 165,00 |
| Fertilizante N-P-K | saco | * | | 936,00 | 1 745,70 | 2 876,10 | 0,00 |
| 1.1 Mano de obra | | | | | | | |
| Preparación de terreno | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Alineamiento, hoyado y siembra | Jor. | 50,00 | 10 | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Control de malezas | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Fertilización | Jor. | 50,00 | 6 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Control fitosanitario | Jor. | 1 00,00 | 3 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Cosecha, selección y encostalado | Jor. | 50,00 | 20 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Transporte y Carguío | Jor. | 1 000,00 | 1 | 543,40 | 650,50 | 568,90 | 454,10 |
| Costo Total de Producción S/ | | | | 7 194,40 | 8 111,20 | 9 160,00 | 6 169,10 |
| II. Valorización de la cosecha | | | | | | | |
| 2.1 Rendimiento total (kg/ha) | | | | 41 125,00 | 42 250,00 | 41 375,00 | 32 375,00 |
| 2.2 Rendimiento comercial (kg/ha) | | | | 26 625,00 | 31 875,00 | 27 875,00 | 22 250,00 |
| 2.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 2.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 29 287,50 | 35 062,50 | 30 662,50 | 24 475,00 |
| III. Análisis económico | | | | | | | |
| 4.2 Costo Total de Producción | | | | 7 194,40 | 8 111,20 | 9 160,00 | 6 169,10 |
| 4.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 4.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 29 287,50 | 35 062,50 | 30 662,50 | 24 475,00 |
| 4.5 Utilidad de la Producción | | | | 22 093,10 | 26 951,30 | 21 502,50 | 18 305,90 |
| 4.6 Beneficio Costo (B/C) | | | | 3,07 | 3,32 | 2,34 | 2,96 |

* Los costos de fertilización de NPK se detallan en la Tabla 24.

Tabla 29. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Blanca.

| Costo de la producción de yuca | Unidad de medida | Valor Unitario (S/) | C | Costo | Costo | Costo | Costo |
|---------------------------------------|------------------|---------------------|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) |
| I. Costos directos | | | | T₉ | T₁₀ | T₁₁ | T₁₂ |
| | | | | a ₃ b ₁ | a ₃ b ₂ | a ₃ b ₃ | a ₃ b ₄ |
| 1.2 Insumos y equipos | | | | | | | |
| Alquiler de terreno | Ha | 1 000,00 | 1 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Análisis de suelo | Ha | 80,00 | 1 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Compra de estacas semilleras | Saco | 60,00 | 12 | 720,00 | 720,00 | 720,00 | 720,00 |
| fungicida | kg. | 50,00 | 3 | 150,00 | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Insecticida | l. | 55,00 | 3 | 165,00 | 165,00 | 165,00 | 165,00 |
| Fertilizante N-P-K | saco | * | | 936,00 | 1 745,70 | 2 876,10 | 0,00 |
| 1.1 Mano de obra | | | | | | | |
| Preparación de terreno | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Alineamiento, hoyado y siembra | Jor. | 50,00 | 10 | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Control de malezas | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Fertilización | Jor. | 50,00 | 6 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Control fitosanitario | Jor. | 100,00 | 3 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Cosecha, selección y encostalado | Jor. | 50,00 | 20 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Transporte y Carguío | Jor. | 1 000,00 | 1 | 357,10 | 420,90 | 398,00 | 387,80 |
| Costo Total de Producción S/ | | | | 7 008,10 | 7 881,60 | 8 989,10 | 6 102,80 |
| II. Valorización de la cosecha | | | | | | | |
| 2.1 Rendimiento total (kg/ha) | | | | 23 500,00 | 32 625,00 | 27 375,00 | 30 875,00 |
| 2.2 Rendimiento comercial (kg/ha) | | | | 17 500,00 | 20 625,00 | 19 500,00 | 19 000,00 |
| 2.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 2.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 19 250,00 | 22 687,50 | 21 450,00 | 20 900,00 |
| III. Análisis económico | | | | | | | |
| 4.2 Costo Total de Producción | | | | 7 008,1 | 7 881,60 | 8 989,10 | 6 102,80 |
| 4.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 4.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 19 250,00 | 22 687,50 | 21 450,00 | 20 900,00 |
| 4.5 Utilidad de la Producción | | | | 12 241,90 | 14 805,90 | 12 460,90 | 14 797,20 |
| 4.6 Beneficio Costo (B/C) | | | | 1,7468215 | 1,8785399 | 1,39 | 2,42 |

* Los costos de fertilización de NPK se detallan en la Tabla 24.

Tabla 30. Análisis beneficio costo en la producción de yuca variedad Camerún.

| Costo de la producción de yuca | Unidad de medida | Valor Unitario (S/) | C | Costo | Costo | Costo | Costo |
|---------------------------------------|------------------|---------------------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) | Total (S/) |
| I. Costos directos | | | | T₁₃ | T₁₄ | T₁₅ | T₁₆ |
| | | | | a _{4b1} | a _{4b2} | a _{4b3} | a _{4b4} |
| 1.2 Insumos y equipos | | | | | | | |
| Alquiler de terreno | Ha | 1 000,00 | 1 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Análisis de suelo | Ha | 80,00 | 1 | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Compra de estacas semilleras | Saco | 60,00 | 12 | 720,00 | 720,00 | 720,00 | 720,00 |
| fungicida | kg. | 50,00 | 3 | 150,00 | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Insecticida | l. | 55,00 | 3 | 165,00 | 165,00 | 165,00 | 165,00 |
| Fertilizante N-P-K | Saco | * | | 936,00 | 1 745,70 | 2 876,10 | 0,00 |
| 1.1 Mano de obra | | | | | | | |
| Preparación de terreno | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Alineamiento, hoyado y siembra | Jor. | 50,00 | 10 | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Control de malezas | Jor. | 50,00 | 15 | 750,00 | 750,00 | 750,00 | 750,00 |
| Fertilización | Jor. | 50,00 | 6 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Control fitosanitario | Jor. | 100,00 | 3 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Cosecha, selección y encostalado | Jor. | 50,00 | 20 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 | 1 000,00 |
| Transporte y Carguío | Jor. | 1 000,00 | 1 | 783,20 | 1 000,00 | 951,50 | 681,10 |
| Costo Total de Producción S/ | | | | 7 434,20 | 8 460,70 | 9 542,60 | 6 396,10 |
| II. Valorización de la cosecha | | | | | | | |
| 2.1 Rendimiento total (kg/ha) | | | | 48 875,00 | 61 250,00 | 61 750,00 | 44 750,00 |
| 2.2 Rendimiento comercial (kg/ha) | | | | 38 375,00 | 49 000,00 | 46 625,00 | 33 375,00 |
| 2.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 2.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 42 212,50 | 53 900,00 | 51 287,50 | 36 712,50 |
| III. Análisis económico | | | | | | | |
| 4.2 Costo Total de Producción | | | | 7 434,20 | 8 460,70 | 9 542,60 | 6 396,10 |
| 4.3 Precio prom de venta (S/x kg) | | | | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 4.4 Ingreso de la Prod. (S/ x ha) | | | | 42 212,50 | 53 900,00 | 51 287,50 | 36 712,50 |
| 4.5 Utilidad de la Producción | | | | 34 778,30 | 45 439,30 | 41 744,90 | 30 316,40 |
| 4.6 Beneficio Costo (B/C) | | | | 4,68 | 5,37 | 4,37 | 4,74 |

* Los costos de fertilización de NPK se detallan en la Tabla 24.

Tabla 31. Análisis de suelo del área experimental.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Callejón Central Km1.31 - Tingo María - CELULAR 941531338
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelos@hotm.com




ANÁLISIS DE SUELOS

| SOLICITANTE: | | DATOS DEL AGRICULTOR | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-------------------------|--|--|-----------|-------------------------------|--|--|--|--|--|
| DEVIDA | NOMBRE | IZQUIERDO PORTAL JAVIER | | | DNI | 47813881 | | | | | |
| | DISTRITO | PUERTO BERMUDEZ | | | LOCALIDAD | CC.NN. SANTA ISABEL DE PELMAZ | | | | | |
| ACTIVIDAD: | ASISTENCIA TÉCNICA EN LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA DE BIENES Y SERVICIOS ALTERNATIVOS SOSTENIBLES EN LOS DISTRITOS DE CONSTITUCIÓN Y PUERTO BERMÚDEZ , ÁMBITO DE LA OFICINA ZONAL LA MERCED - SEDE CONSTITUCIÓN | | | | | | | | | | |

| N° | CÓDIGO DEL LAB. | ANÁLISIS MECÁNICO | | | | pH | CE | M.O. | N | P | K | Cd |
|------|-----------------|-------------------|-----------|--------|----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | Arena % | Arcilla % | Limo % | Textura | | | | | | | |
| 1712 | S1712 | 54 | 19 | 27 | Franco Arenoso | 4.17 | 0.02 | 1.28 | 0.06 | 7.97 | 66.47 | 0.003 |

| CIC | CAMBIABLES Cmol(+)/kg | | | | | | CICe | % | % | % |
|-----|-----------------------|------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|
| | Ca | Mg | K | Na | Al | H | | | | |
| --- | 1.98 | 0.29 | --- | --- | 3.87 | 0.03 | 6.17 | 36.76 | 63.24 | 62.76 |

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 TINGO MARIA, 25 DE OCTUBRE 2019
 RECIBO N° 001-0600662



Ing. Luis G. Mansilla Minava
JEFE






Figura 7. Preparación y demarcación del campo experimental.



Figura 8. Corte de las estacas de yuca para los tratamientos en estudio.



Figura 9. Siembra de estacas de yuca y siembra en ángulo de 45° al suelo el 13 de julio del 2020.



Figura 10. Prendimiento y desarrollo vegetativo de las variedades de yuca a los 45 días después del plante.



Figura 11. Aplicación de Lorsban 2,5 % PS para control oportuno de plagas.



Figura 12. Fertilización de NPK a los 30 días después del plante de estacas de yuca en campo.



Figura 13. Evaluación de la altura de planta de yuca antes de la cosecha.



Figura 14. Evaluación del diámetro del tallo de yuca con Vernier mecánico.



Figura 15. Cosecha y selección de raíces reservantes de yuca.



Figura 16. Evaluación de la producción de yuca en kg/ha.



Figura 17. Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Amarilla.



Figura 18. Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Tarmeña.



Figura 19. Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Blanca.



Figura 20. Efecto de la fertilización en la producción de yuca en la variedad Camerún.



Figura 21. Visita de ejecución de tesis por el Jurado, Ing. Jaime J. Chávez Matías.