



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Evaluación de la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo vegetativo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano.

**NAULA ORELLANA PATRICIO ALEXANDER
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Evaluación de la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo vegetativo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano.

**NAULA ORELLANA PATRICIO ALEXANDER
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Evaluación de la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo vegetativo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano.

**NAULA ORELLANA PATRICIO ALEXANDER
INGENIERO AGRONOMO**

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

**MACHALA
2024**

Patricio Naula Orellana

Tesis Naula

-  Titulación 2024
-  Titulación II
-  Universidad Técnica De Machala

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:2983711407

Fecha de entrega

15 ago 2024, 2:46 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 sep 2024, 8:58 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis_Patricio_Naula.docx

Tamaño de archivo

564.6 KB

26 Páginas

9,267 Palabras

50,321 Caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica de Machala	1%
2	Internet	dspace.utb.edu.ec	1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD	0%
4	Internet	doaj.org	0%
5	Internet	es.yagkai.com	0%
6	Internet	www.iiap.org.pe	0%
7	Internet	maestrosdelcultivo.com	0%
8	Internet	prgaprogram.org	0%
9	Internet	www.semanticscholar.org	0%
10	Internet	gredos.usal.es	0%
11	Internet	patents.google.com	0%

12	Internet	www.embajada-colombia.de	0%
13	Internet	www.euskalwireless.net	0%
14	Internet	www.lamolina.edu.pe	0%
15	Internet	www.monografias.com	0%
16	Internet	www.spanishdict.com	0%
17	Publicación	Kevin A González-Falfán, Claudia Guerrero-Barajas, Jesús A Badillo-Corona, Luis C ...	0%
18	Trabajos del estudiante UNIV DE LAS AMERICAS		0%
19	Internet	eos.org	0%
20	Internet	es.slideshare.net	0%
21	Internet	focalpointfires.co.uk	0%
22	Internet	hdl.handle.net	0%
23	Internet	mx.blastingnews.com	0%
24	Internet	tienda.bitox.com	0%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, NAULA ORELLANA PATRICIO ALEXANDER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo vegetativo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



NAULA ORELLANA PATRICIO ALEXANDER

0704279496

DEDICATORIA

En estas etapas de culminación debiera tener en cuenta que muchas personas se sumaron a este propósito ya sea docentes, personal administrativo y compañeros, que sumaron mucho para tener claro que para llegar a una meta debe empezar nuevas etapas como ser humano y estudiante.

A Dios por colocar todos estas personas en mi camino que aunque no fue fácil, se que su luz divina, siempre esta cuando más se lo necesita .

A mis padres José Orlando (mi Sol) y Rosa Angélica (mi Luna) que tengo la dicha de tenerlos siempre conmigo apoyándome

A mis nenas Fiorella y Bernarda que llenan de alegría y risas en cada momento fuente inspiración para fijar nuevas metas, ademas Ana Gabriela que siempre está pendiente, de que no decaiga en mis objetivos, su voz de fuerza en momentos específicos de nuestras vidas y también que es un ejemplo de motivación y superación constante.

RESUMEN

Evaluación de la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo vegetativo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano.

Autor:

Patricio Alexander Naula Orellana

Tutor

Ing. José Nicasio Quevedo PhD.

En nuestra provincia, la producción bananera suele verse afectada por diversas complicaciones fitosanitarias que impactan las hojas, el fruto y las raíces, en ocasiones reduciendo la producción semanal; Las raíces de los bananos y plátanos absorben nutrientes a través de sus vellosidades o pelos absorbentes, los cuales dependen del transporte de agua. Este proceso requiere energía y es muy sensible a la deficiencia de oxígeno en el suelo, especialmente cuando hay exceso de agua.

Las observaciones se centraron en cómo estos factores pueden influir ya sea por la edad de la planta, las condiciones del cultivo, y la etapa fenológica. Este estudio analiza la interacción de las raíces del banano con el sustrato y la rizosfera, destacando la importancia de las reacciones con microorganismos y la simbiosis con hongos y bacterias para optimizar la absorción de nutrientes, en cada una de las etapas de crecimiento.

Esta investigación se realizó en la granja Santa Inés, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias utilizando el clon Williams, en un área de 2,400 m², el cultivo esta tecnificado con riego por goteo, donde valoramos parámetros como el peso de raíz en determinada etapa del cultivar y realizando todas las funciones con técnicas específicas acorde al periodo que se encontraban, para la extracción de muestra realizamos la excavación con las condiciones específicas que indico el laboratorio las cuales fueron $0,25 \times 0,15 \times 0,25$ o de $0,30 \times 0,15 \times 0,30$ en esta área se tomaran las raíces previamente lavadas se las peso, para posteriormente enviar estas muestras a laboratorio, el cual nos va a detallar el porcentaje de raíces sanas y afectadas, el patógeno que afecta en determinada fase o periodo.

En los resultados se evidencio que existe diferencia significativa entre las fases fenológicas en relación a las variables de estudio. Comprobando que el sistema radicular del banano experimenta un desarrollo distinto en cada fase fenológica.

Palabras Claves: etapas fenológicas de musáceas, manejo integral del banano, eficiencia radical, fisiología radicular, fisiología vegetal.

Índice

1. INTRODUCCION	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Generalidades.....	9
2.2 Variedades de banano	9
2.2.1 Géneros Principales	10
2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos	11
2.3 Etapas fenológicas	12
2.3.1 Etapa Infantil	12
2.3.2 Etapa Juvenil	13
2.3.3 Etapa Reproductiva	14
2.3.4 Etapa Productiva	15
2.4 Fisiología de la raíz.....	16
2.5 Factores que inciden en el desarrollo radicular.....	19
2.5.1 Abióticos	19
2.5.2 Bióticos	20
2.6 Sistema de cultivo	21
2.6.1 Sistema de cultivo convencional	21
2.6.2 Sistema de cultivo en domo	22
3 MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Materiales.....	22
3.1 Ubicación del área de estudio	23
3.1.1 Características climáticas de la zona	23
3.2 Diseño del estudio.....	23
3.3 Variables a medir y recolección de datos	24
3.4 Hipótesis	24
3.5 Procesamiento estadístico	25
4.RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
4.1 Peso de raíces sanas	26
4.2 Peso de raíces muertas	27
4.3 Porcentaje de raíces afectadas.....	28
4.4 Presencia de nematodos en fases fenológicas.....	28
4.5 Porcentaje de raíces sanas en relación al peso y número de manos.....	29
5.CONCLUSIONES	31

6.BIBLIOGRAFIA	31
-----------------------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 1. Variables a medir.....	24
Tabla 2. Resumen de resultados alcanzados en el procesamiento de datos en la prueba ANOVA.....	26
Tabla 3. Peso y porcentaje de raíces sanas y afectadas según fase fenológica.....	26

Índice de gráficos

Figura 1. Representación gráfica de fases fenológicas.....	16
Figura 2. Ubicación del área de estudio	23
Figura 3. Toma y pesaje de muestra	24
Figura 4. Peso de raíces sanas en relación con las fases fenológicas	27
Figura 5. Peso de raíces muertas en relación con las fases fenológicas	27
Figura 6. Porcentaje de afectación en relación con las fases fenológicas	28
Figura 7. Presencia de nematodos en fase fenológica	29
Figura 8. Representación de pesos, racimos, manos y número de hojas en relación con el porcentaje de raíces sanas.....	30

1. INTRODUCCION

En el Ecuador la demanda por obtener una producción eficiente de banano convencional u orgánico, conlleva a cumplir estándares de calidad siendo esta la actividad agrícola de mayor importancia en el país, en gran parte de la economía Ecuatoriana, además que somos los principales productores de esta fruta a nivel mundial con una oferta alrededor del 30%, Además que es el segundo rubro que ingresa después del petróleo % representando una fuente significativa de ingresos y empleo, como parte de esta eficiencia en producción se han dirigido investigaciones sobre la importancia del sistema radicular en musáceas ya que son apropiados para determinar en el banano su anclaje, absorción de nutrientes, distribución buena o mala dependiendo de las condiciones edáficas, debida a la variabilidad de suelos que presenta nuestra provincia y el resto del país.

Por lo general en nuestra provincia para la producción bananera es común ver la afectación por varias complicaciones fitosanitarias, especialmente en las hojas, fruto, y raíces, reduciendo en caso la producción semanal. Las raíces en bananos y plátanos que absorben nutrientes por medio de sus vellosidades o pelos absorbentes, que son transportadas por el agua del medio, su absorción requiere demanda de energía y es muy sensible a la deficiencia de oxígeno (suelos), por excesos, un componente que exige gradientes de flujo normal de agua, junto a su conductividad para que la planta tome su volumen de agua normal, en relación a este flujo hídrico se realizaron observaciones, ya que esto, va a depender mucho de la edad y las condiciones de la plantilla que estén presentes junto a su capacidad para absorber nutrientes de acuerdo a los días y su etapa fenológica.

El presente estudio evalúa las diferencias del crecimiento radicular en todas las etapas del cultivar de banano, usando técnicas ya estipuladas por el técnico asignado, para la toma de datos, de esta manera realizando el envío de muestra al laboratorio, por cada fase fisiológica correspondientes, hasta llegar al tiempo de corte del racimo (cosecha de fruto) determinando así los parámetros antes detallados, para esto se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar la correlación entre porcentaje de raíces sanas y desarrollo durante las fases fenológicas del cultivo de Banano.

Objetivos específicos:

- Analizar el porcentaje de raíces sanas, enfermas y muertas durante las etapas fenológicas del cultivo de banano
- Determinar la importancia del porcentaje de raíces sanas en la producción del cultivo de banano.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

El banano originario del sudeste asiático se cultiva desde hace unos 10.000 años; Los primeros restos fueron encontrados en el siglo VII a.C., en Papúa Nueva Guinea.

Los bananos acompañan las migraciones humanas, inicialmente desde el Sudeste Asiático y Nueva Guinea hacia la Península Índica, el Océano Pacífico y América; En segundo lugar, los comerciantes árabes y persas viajaron desde el Sudeste Asiático hasta Medio Oriente, Oriente Medio, África y Europa en el siglo XV y en tercer lugar, los exploradores, colonos y misioneros europeos viajaron a las Islas Caraíbas y al Nuevo Mundo. Mundo (Tomalá 2019).

La Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE) reveló que el país exportó 234,42 millones de cajas de banano de enero de 2022 a agosto 2022, de los cuales la UE fue responsable del 26,67% de las exportaciones mundiales y se convirtió en el principal destino de las exportaciones. Se exportarán un total de 62,53 millones de cajas en 2022, un 10,76% menos que 70,06 millones de cajas exportado en 2021.

El segundo destino de las exportaciones de banano fue Rusia, que representó el 22,25%, con 52,15 millones de cajas enviadas. En este contexto, el banano es un pilar fundamental de la economía ecuatoriana, y el país es uno de los mayores exportadores de banano a nivel mundial. La industria bananera genera empleo y contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) del país (Martínez & Gómez, 2022). Las variedades Cavendish son las más exportadas debido a su resistencia y demanda en los mercados internacionales (Fernández & Ramírez, 2024).

Las exportaciones acumuladas al mismo destino rondarán 53,26 millones de cajas aproximadamente con una caída del 2,08% o 1,11 millones de cajas según (Portal Frutícola 2022), información que transmite cada día la búsqueda de nuevos conocimientos para ser mas eficientes con nuestro producto de exportación.

Actualmente, varios investigadores afirman que, desde hace varios años, al menos un 10% de ensayos se enfocan en los brotes (específicamente en las hojas) y que se debería tomar importancia de los procesos que tienen lugar en las raíces, las raíces han permanecido ignorada en gran medida por los científicos de plantas tradicionales y se las ha mencionado como "*la mitad oculta*" del cuerpo total de la planta, Es probable de esto se esté convirtiendo en más y mas indagadores de la ciencia vegetal que enfoque el interés de los procesos físico químicos que tienen lugar en la zona radical así como sus interfases con la planta y el entorno circundante.

2.2 Variedades de banano

El banano pertenece a la familia **Musaceae**, la cual incluye también a las especies de plátanos. Esta familia se caracteriza por plantas herbáceas de gran tamaño, con pseudotallos que pueden alcanzar varios metros de altura. Los bananos y plátanos son plantas monocotiledóneas, lo que significa que tienen una sola hoja seminal o cotiledón (García & López, 2020).

El crecimiento vegetativo en la fase está altamente influenciado por las condiciones ambientales, como la luz, la temperatura y la disponibilidad de agua. La luz es fundamental para la fotosíntesis, y las plantas de banano jóvenes requieren niveles adecuados de luz para maximizar la producción de energía y promover un crecimiento saludable. Las temperaturas óptimas para el crecimiento del banano en esta fase suelen estar entre 25°C y 30°C. Temperaturas por debajo o por encima de este rango pueden ralentizar el crecimiento o causar estrés en la planta (García & Martínez, 2022).

2.2.1 Géneros Principales

Dentro de la familia Musaceae, existen dos géneros principales relacionados con los bananos y plátanos:

- **Musa:** Este es el género más importante y ampliamente cultivado, que incluye las variedades de banano y plátano comestibles (García & López, 2020).
- **Ensete:** Este género incluye especies menos conocidas y que no producen frutos comestibles de la misma manera que el género *Musa* (Rodríguez & Torres, 2021).

Variedades de Banano en Ecuador

En Ecuador, las variedades de banano más cultivadas pertenecen al género *Musa* y son generalmente del tipo *Cavendish*. A continuación, se describe el cultivar Clon Williams usado en este trabajo:

Williams (*Musa x paradisiaca*, subgrupo Cavendish)

Otra variedad del subgrupo Cavendish, el Williams es conocido por su productividad y la calidad de sus frutos. Es muy similar al Gran Enano en términos de características físicas y sabor (Hernández & Varela, 2023).

El Williams es una variedad destacada dentro del subgrupo Cavendish, ampliamente cultivada en diversas regiones productoras de banano en todo el mundo. Esta variedad es conocida por su alta productividad, su tamaño relativamente grande y su capacidad para producir frutos de excelente calidad bajo diferentes condiciones agroclimáticas.

Características Principales

- **Tamaño y Forma de la Planta:** El Williams es una planta de mayor tamaño en comparación con otras variedades del subgrupo Cavendish, como Gran Enano y Valery. El pseudotallo del Williams puede alcanzar alturas de entre 2.5 a 3.5 metros, lo que lo convierte en una de las variedades más altas de Cavendish. Este tamaño requiere un manejo cuidadoso para prevenir el vuelco de las plantas, especialmente en áreas con vientos fuertes (Martínez et al., 2020).
- **Frutos:** Los frutos del Williams son grandes, con una longitud promedio de 20 a 28 centímetros. La cáscara es gruesa y de color verde brillante que se vuelve amarillo dorado al madurar. La pulpa es suave, cremosa y dulce, lo que hace que esta variedad sea muy apreciada tanto en mercados locales como internacionales por su calidad superior (García & Hernández, 2021).

- **Productividad:** Williams es altamente productivo, con racimos que suelen tener entre 10 a 15 manos, y cada racimo puede contener entre 180 a 260 frutos. La alta productividad de esta variedad es uno de sus principales atractivos para los agricultores, especialmente en regiones donde las condiciones de cultivo son óptimas (Fernández et al., 2022).
- **Adaptabilidad:** El Williams muestra una buena adaptabilidad a diferentes tipos de suelos y climas, aunque, al igual que otras variedades de Cavendish, prefiere suelos profundos, bien drenados y ricos en nutrientes. La planta tiene una tolerancia moderada a variaciones climáticas, pero es sensible a las temperaturas extremas y al estrés hídrico, lo que puede afectar el desarrollo y la calidad del fruto (López & Pérez, 2023).
- **Resistencia a Enfermedades:** Aunque el Williams es susceptible a enfermedades como la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y el Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum*), presenta una resistencia moderada a otras enfermedades comunes. Esta resistencia relativa ha contribuido a su amplia adopción en regiones donde estas enfermedades son manejables mediante estrategias de manejo integrado (Sánchez & Rodríguez, 2020).
- **Uso Comercial:** El Williams es una variedad preferida en la industria de exportación de banano debido a su tamaño grande y uniforme, su excelente sabor, y su capacidad de mantenerse en buenas condiciones durante el transporte a mercados distantes. La vida útil prolongada de los frutos después de la cosecha es otra ventaja que hace que esta variedad sea altamente demandada en mercados internacionales (Gómez et al., 2023).

2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos

Los requerimientos edafoclimáticos del banano son fundamentales para asegurar un crecimiento óptimo y una producción de alta calidad. Estos incluyen las condiciones del suelo y las condiciones climáticas que la planta necesita para desarrollarse adecuadamente.

Requerimientos Edáficos (Condiciones del Suelo)

Tipo de Suelo: El banano prospera mejor en suelos profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica. Los suelos franco-arenosos a franco-arcillosos son los más adecuados, ya que combinan buena retención de agua con una adecuada aireación (López & Torres, 2021).

pH del Suelo: El banano prefiere un pH ligeramente ácido a neutro, idealmente entre 5.5 y 7.5. Un pH fuera de este rango puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales y puede inhibir el crecimiento radicular (García et al., 2020).

Nutrientes: El banano es una planta exigente en términos de nutrientes, especialmente en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Además, requiere cantidades adecuadas de calcio, magnesio y micronutrientes como zinc y boro (Martínez & Gómez, 2022). La fertilización debe ser equilibrada y ajustada a las necesidades específicas del cultivo, basándose en análisis de suelo y foliares.

Estructura y Drenaje: El drenaje es crucial para el cultivo de banano, ya que la planta es muy sensible al encharcamiento. Un buen drenaje evita la acumulación de agua en el sistema

radicular, lo que podría llevar a enfermedades como la pudrición de la raíz (Hernández & Ramírez, 2023).

Requerimientos Climáticos

Temperatura: El banano es una planta tropical que requiere temperaturas cálidas para un crecimiento óptimo. Las temperaturas ideales para el cultivo de banano se sitúan entre 25°C y 30°C. Temperaturas por debajo de 15°C pueden ralentizar el crecimiento, mientras que temperaturas superiores a 35°C pueden causar estrés térmico, afectando negativamente la producción (Varela & Rodríguez, 2019).

Humedad Relativa: El banano necesita un ambiente con alta humedad relativa, idealmente entre 75% y 85%. Una humedad relativa baja puede conducir a un cierre estomático, lo que reduce la fotosíntesis y el crecimiento, mientras que una humedad excesivamente alta puede favorecer la aparición de enfermedades fúngicas (Fernández & Torres, 2021).

Precipitación: El cultivo de banano requiere una precipitación anual de entre 1,800 y 2,500 mm, bien distribuida a lo largo del año. En áreas donde la precipitación es insuficiente o mal distribuida, es necesario implementar sistemas de riego para suplir las necesidades hídricas de la planta. Es crucial que la precipitación o el riego sean regulares, ya que períodos prolongados de sequía o exceso de agua pueden perjudicar el rendimiento del cultivo (Gómez & Martínez, 2022).

Luz Solar: El banano necesita una exposición adecuada a la luz solar para llevar a cabo la fotosíntesis de manera eficiente. Aunque la planta puede crecer en condiciones de sombra parcial, la producción de frutos es óptima en condiciones de luz plena, con al menos 12 horas de luz al día (Rodríguez et al., 2023). La cantidad de radiación solar influye directamente en la fotosíntesis y, por ende, en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Viento: Los vientos fuertes pueden ser perjudiciales para el cultivo de banano, ya que pueden causar daños físicos al pseudotallo y a las hojas, e incluso derribar las plantas. En zonas propensas a vientos fuertes, es recomendable utilizar barreras cortavientos o plantar el banano en áreas protegidas para minimizar el impacto del viento (Hernández & Varela, 2023).

2.3 Etapas fenológicas

2.3.1 Etapa Infantil

En la fase inicial de desarrollo, también conocida como etapa infantil, las raíces adventicias emergen del cormo y comienzan a explorar el suelo en busca de agua y nutrientes esenciales. Durante esta etapa, la planta prioriza el establecimiento de un sistema radicular robusto, que será fundamental para su crecimiento posterior. La morfología de las raíces en esta fase es particularmente sensible a las condiciones edáficas, como la textura y estructura del suelo, que afectan la capacidad de penetración de las raíces y la absorción de nutrientes (González et al., 2020).

Por consiguiente, la fase infantil es considerada una etapa determinante para el desarrollo de la planta debido a que abarca desde la germinación o establecimiento del cormo hasta el inicio de un crecimiento vegetativo vigoroso.

Esta etapa es fundamental porque sienta las bases para el desarrollo futuro de la planta, ya que durante este periodo se establece el sistema radicular y se inicia la formación de las primeras hojas.

Durante esta fase el desarrollo del sistema radicular es uno de los aspectos más críticos. Puesto que las raíces adventicias comienzan a emerger del cormo poco después de la siembra. Estas raíces iniciales son responsables de la absorción de agua y nutrientes, y su desarrollo adecuado es esencial para la supervivencia y el crecimiento de la planta en las etapas posteriores. Las raíces se expanden tanto en profundidad como en extensión, explorando el perfil del suelo en busca de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Johnson & Davies, 2019).

El ambiente del suelo en esta etapa es particularmente importante. Factores como la textura del suelo, la disponibilidad de agua y la presencia de microorganismos beneficiosos, como las micorrizas, influyen significativamente en la capacidad de las raíces para establecerse y funcionar eficientemente. La simbiosis micorrícica, que suele establecerse en esta fase, es vital para mejorar la absorción de fósforo, un nutriente menos móvil en el suelo pero esencial para el crecimiento de las raíces y la formación de nuevas hojas (Smith et al., 2020).

Durante la fase infantil, también se produce el crecimiento inicial del pseudotallo y la formación de las primeras hojas. Estas hojas son cruciales para la fotosíntesis, que suministra la energía necesaria para el crecimiento de la planta. En las primeras etapas, las hojas tienden a ser más pequeñas y están más concentradas alrededor del pseudotallo, formando una estructura compacta que protege el meristemo apical, la región donde se produce el crecimiento (López-Gómez & Pérez, 2021).

2.3.2 Etapa Juvenil

La etapa juvenil del banano es una fase crucial que sigue a la etapa infantil y precede a la fase reproductiva. Durante este período, la planta experimenta un crecimiento vegetativo acelerado, que incluye la expansión significativa del sistema radicular y el desarrollo de nuevas hojas, lo que sienta las bases para la producción futura de racimos. Esta etapa es determinante para el rendimiento del cultivo, ya que cualquier limitación en el desarrollo durante este tiempo puede tener consecuencias en la calidad y cantidad de la producción final.

En la etapa juvenil, las raíces continúan desarrollándose en extensión y en profundidad. El crecimiento radicular se intensifica para soportar la rápida expansión foliar y el aumento en la demanda de nutrientes. Las raíces secundarias y terciarias se ramifican, incrementando la superficie de absorción. Además, en esta etapa se establece una simbiosis con micorrizas arbusculares, que potencian la absorción de fósforo y otros nutrientes menos móviles en el suelo (Martínez & Pérez, 2021). Es crucial que durante esta fase, la planta mantenga un balance hídrico adecuado, ya que el sistema radicular está en plena expansión y es altamente vulnerable al estrés hídrico.

Durante la etapa juvenil, el sistema radicular del banano continúa su expansión tanto en profundidad como en extensión lateral. Las raíces primarias desarrolladas durante la fase infantil se ramifican aún más, dando lugar a una red de raíces secundarias y terciarias que aumenta significativamente la superficie de absorción de agua y nutrientes. Esta expansión

radicular es fundamental para soportar el crecimiento rápido de la parte aérea de la planta, especialmente en suelos con limitaciones de nutrientes o en situaciones de competencia con otras plantas (López-Gómez & Pérez, 2021).

El manejo adecuado del suelo en esta fase es crucial, ya que la capacidad de las raíces para explorar y absorber nutrientes depende en gran medida de la estructura del suelo y de la disponibilidad de agua y aire en la zona radicular. En suelos compactados o con problemas de drenaje, el crecimiento radicular puede verse seriamente afectado, lo que a su vez impacta negativamente en el crecimiento vegetativo de la planta (Hernández & Ramírez, 2023).

2.3.3 Etapa Reproductiva

La etapa reproductiva del banano es una fase crítica en el ciclo de vida de la planta, durante la cual se produce la floración y el desarrollo de los frutos. Este período marca la transición de un crecimiento vegetativo predominante a la formación de los racimos de banano, los cuales son el objetivo principal del cultivo. La eficiencia en el manejo de esta etapa tiene un impacto directo en la calidad y cantidad de la cosecha, así como en la sostenibilidad del sistema productivo.

La transición a la fase reproductiva marca un cambio significativo en la dinámica del sistema radicular. La planta redirige recursos hacia la producción del racimo, lo que puede llevar a una reducción en la tasa de crecimiento radicular. Sin embargo, el mantenimiento de un sistema radicular saludable sigue siendo crítico para el suministro continuo de nutrientes necesarios para el desarrollo del fruto. En esta etapa, la planta también experimenta un aumento en la absorción de potasio, un elemento clave para la calidad del racimo (Hernández et al., 2022).

Floración

La floración en el banano es un evento fenológico clave que indica el inicio de la etapa reproductiva. Este proceso se desencadena una vez que la planta ha alcanzado un determinado tamaño y ha acumulado suficientes reservas de carbohidratos en el pseudotallo y en las hojas. El racimo de flores emerge del centro del pseudotallo, y las primeras en aparecer son las flores femeninas, que darán lugar a los frutos (Rodríguez et al., 2023).

Las condiciones ambientales, como la temperatura y la disponibilidad de luz, juegan un papel crucial en el momento y la uniformidad de la floración. Temperaturas óptimas entre 25°C y 30°C favorecen una floración sincrónica y uniforme, lo que es fundamental para obtener racimos de alta calidad. Sin embargo, temperaturas excesivamente altas o bajas pueden provocar un retraso en la floración o una floración desigual, lo que impacta negativamente en la uniformidad y el tamaño de los frutos (Fernández & Torres, 2021).

Desarrollo del Racimo

Una vez que se han formado las flores, el desarrollo del racimo comienza con la diferenciación de las flores femeninas en frutos, conocidos como "dedos". El crecimiento del racimo implica una serie de procesos fisiológicos complejos, que incluyen la división celular, la expansión de los tejidos y la acumulación de reservas de carbohidratos y otros nutrientes en los frutos. Este es un período de alta demanda nutricional, especialmente de

potasio, que es esencial para el llenado de los frutos y la calidad final de los mismos (García & Martínez, 2022).

Durante esta fase, es vital garantizar un suministro adecuado y constante de agua y nutrientes para soportar el crecimiento de los frutos. El estrés hídrico o la deficiencia de nutrientes en este momento crítico pueden resultar en un menor tamaño de los frutos, una menor uniformidad en el racimo y una reducción en la calidad de la cosecha. La gestión del riego y la fertilización debe ser precisa, y las aplicaciones deben ser ajustadas según las necesidades específicas de la planta en esta etapa (Hernández & Ramírez, 2023).

Maduración de los Frutos

La maduración de los frutos en el banano es un proceso gradual que comienza una vez que los dedos han alcanzado su tamaño final. Durante la maduración, se producen cambios en la composición química de los frutos, como la conversión de almidón en azúcares, lo que confiere al banano su característico sabor dulce. Este proceso también está acompañado por un cambio en la coloración de la cáscara, que pasa de verde a amarillo a medida que los frutos maduran (López-Gómez & Pérez, 2021).

La maduración uniforme del racimo es crucial para facilitar la cosecha y garantizar la calidad del producto final. Factores como la temperatura, la humedad y la exposición a la luz pueden influir en la velocidad y uniformidad de la maduración. Un manejo adecuado del microclima en esta fase puede ayudar a asegurar que los frutos alcancen la madurez en el momento adecuado para la cosecha, optimizando así la calidad y el valor comercial del banano (Gómez & Martínez, 2022).

La etapa reproductiva del banano tiene un impacto decisivo en la cantidad y calidad de la producción final. El éxito en esta etapa depende de una serie de factores interrelacionados, que incluyen la nutrición adecuada, el manejo del agua, la protección contra plagas y enfermedades, y las prácticas de manejo del cultivo. La optimización de estos factores puede llevar a un aumento significativo en el rendimiento y la calidad del racimo, lo que se traduce en mayores ingresos para los agricultores y una mayor competitividad en el mercado (Gómez & Martínez, 2022).

Además, la uniformidad y calidad del racimo son factores clave que determinan el valor comercial del banano. Los racimos con frutos de tamaño uniforme, bien llenados y sin defectos son preferidos en los mercados internacionales, donde la competencia es alta. Por lo tanto, un manejo adecuado durante la etapa reproductiva no solo mejora el rendimiento, sino que también aumenta la aceptación del producto en el mercado (Fernández & Torres, 2021).

2.3.4 Etapa Productiva

Finalmente, en la etapa productiva, cuando el racimo se está llenando y madurando, las raíces deben asegurar un suministro constante de agua y nutrientes. El sistema radicular en esta fase puede mostrar signos de agotamiento, especialmente si la planta ha estado sometida a condiciones subóptimas de cultivo. Las prácticas de manejo agronómico, como la fertilización y el riego, son cruciales para sostener la función radicular y garantizar una

cosecha óptima (López & Ramírez, 2023). La salud radicular en esta etapa tiene un impacto directo en el peso y la calidad del racimo cosechado.

En este contexto, la salud y la cantidad de raíces en la planta de banano son factores fundamentales que afectan directamente la etapa productiva del cultivo. Las raíces sanas son esenciales para la absorción eficiente de agua y nutrientes, lo que es crucial durante el llenado y maduración de los racimos.

Por otro lado, si la planta presenta un sistema radicular comprometido, ya sea por enfermedades radiculares, suelos compactados o mal drenados, la capacidad de absorción se reduce, lo que puede resultar en frutos pequeños, desuniformes y de menor calidad. La deficiencia en la absorción de nutrientes durante esta etapa crítica puede afectar negativamente la concentración de azúcares en los frutos, disminuyendo su calidad organoléptica y su valor comercial (García et al., 2020).

Además, un sistema radicular bien desarrollado ancla firmemente la planta en el suelo, reduciendo el riesgo de vuelco, especialmente en condiciones de viento fuerte o en suelos con drenaje inadecuado (Hernández & Ramírez, 2023).

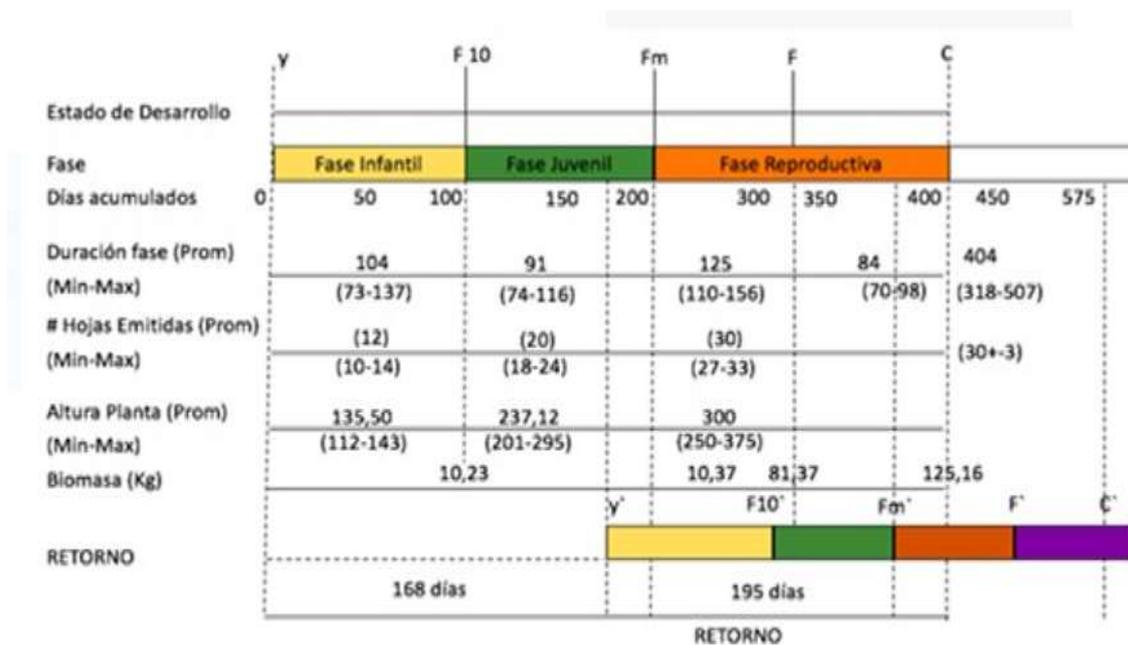


Figura 1. Representación gráfica de fases fenológicas

Fuente: <https://images.app.goo.gl/NjzctvQRhLF4z37>

2.4 Fisiología de la raíz

Las raíces del banano emergen del cormo, y su desarrollo sigue un patrón característico de crecimiento adventicio. Las raíces primarias que surgen inicialmente se ramifican para formar un sistema radicular complejo compuesto por raíces secundarias y terciarias. Estas raíces no solo anclan la planta al suelo, sino que también exploran el sustrato en busca de nutrientes y agua. Según investigaciones recientes, el desarrollo radicular del banano está fuertemente influenciado por las condiciones edáficas, como la textura del suelo y su capacidad de retención de agua (Jiménez-Sánchez et al., 2021).

El crecimiento radicular también está regulado por factores internos, como las fitohormonas, particularmente las auxinas, que juegan un papel crucial en la elongación y ramificación de las raíces (Perez-Álvarez et al., 2020). Las raíces finas, que son las principales responsables de la absorción de nutrientes, se desarrollan principalmente durante las etapas iniciales de crecimiento, pero continúan proliferando en respuesta a las condiciones del entorno.

Raíces Primarias

Las raíces primarias son las primeras en desarrollarse tras la germinación o el establecimiento del cormo en el suelo. Estas raíces emergen directamente del cormo, que es una estructura subterránea engrosada que sirve como órgano de almacenamiento de la planta de banano. Las raíces primarias son generalmente más gruesas y largas que las raíces secundarias y terciarias, y su principal función es proporcionar anclaje y estabilidad a la planta.

Las raíces primarias tienen un papel crucial en la absorción de agua y nutrientes desde las capas más profundas del suelo. Esto es especialmente importante en condiciones de sequía, donde las raíces primarias pueden explorar zonas más profundas para acceder a la humedad que las raíces más superficiales no pueden alcanzar (Jiménez-Sánchez et al., 2021). Además, las raíces primarias establecen la base estructural sobre la cual se desarrollan las raíces secundarias y terciarias, y su salud es esencial para el desarrollo posterior del sistema radicular.

Raíces Secundarias

Las raíces secundarias se desarrollan a partir de las raíces primarias y son generalmente más finas y numerosas. Estas raíces tienen la función principal de aumentar la superficie de absorción de la planta. Al ramificarse desde las raíces primarias, las raíces secundarias permiten que la planta acceda a nutrientes y agua en una mayor área del suelo, lo que es crucial para el crecimiento vigoroso de la planta de banano.

Las raíces secundarias están equipadas con una gran cantidad de pelos radiculares, que son pequeñas extensiones de las células epidérmicas de las raíces. Estos pelos radiculares son responsables de la mayor parte de la absorción de agua y nutrientes, debido a su alta relación superficie-volumen, lo que maximiza el contacto con el suelo y facilita la absorción (Perez-Álvarez et al., 2020). Además, las raíces secundarias desempeñan un papel importante en la interacción con microorganismos del suelo, como bacterias y hongos micorrízicos, que ayudan a la planta a acceder a nutrientes menos móviles, como el fósforo.

Raíces Terciarias

Las raíces terciarias son el nivel más fino y ramificado del sistema radicular del banano. Estas raíces se desarrollan a partir de las raíces secundarias y se extienden a lo largo del perfil del suelo, explorando incluso los poros más pequeños del suelo. Su principal función es explorar de manera intensiva el suelo para captar los nutrientes y el agua que las raíces primarias y secundarias no han absorbido.

Las raíces terciarias son extremadamente delgadas y frágiles, pero su presencia es vital para el crecimiento saludable de la planta. Aunque estas raíces tienen una vida útil más corta que las raíces primarias y secundarias, su constante renovación y ramificación aseguran que la

planta de banano pueda mantener una absorción continua de agua y nutrientes, especialmente en condiciones donde estos recursos son limitados (López-Ruiz et al., 2020).

Las raíces terciarias también son cruciales en la formación de una red extensa que mejora la estabilidad de la planta, lo que es especialmente importante en suelos arenosos o sueltos, donde la planta de banano podría ser susceptible al vuelco. Además, estas raíces finas son las más involucradas en la simbiosis con micorrizas y en la interacción con bacterias promotoras del crecimiento vegetal, lo que optimiza la nutrición de la planta y la protección contra patógenos del suelo (Sánchez-García et al., 2021).

Importancia del equilibrio entre raíces primarias, secundarias y terciarias

El equilibrio entre las raíces primarias, secundarias y terciarias es crucial para el desarrollo y la productividad del banano. Las raíces primarias proporcionan anclaje y acceso a recursos profundos, mientras que las raíces secundarias y terciarias aumentan la superficie de absorción y la interacción con el entorno microbiano. Un sistema radicular equilibrado asegura que la planta de banano tenga acceso a una amplia gama de recursos en el suelo, lo que es esencial para su crecimiento vigoroso y para soportar la producción de frutos de alta calidad.

El manejo agronómico, como la fertilización y el riego, debe tener en cuenta la estructura y función de estos tres tipos de raíces. Por ejemplo, prácticas que promuevan un desarrollo saludable de las raíces terciarias, como la aplicación de enmiendas orgánicas y biofertilizantes, pueden mejorar significativamente la eficiencia en la absorción de nutrientes y agua, así como aumentar la resistencia de la planta a condiciones de estrés (Torres-López et al., 2022).

Absorción de agua y nutrientes

El proceso de absorción de agua y nutrientes en el banano es altamente eficiente, gracias a la presencia de pelos radiculares que aumentan la superficie de contacto con el suelo. Estudios recientes han demostrado que las raíces del banano tienen una alta capacidad para absorber potasio (K), que es vital para la translocación de azúcares y la regulación osmótica dentro de la planta (Martínez-Ramírez et al., 2021). Esta absorción es esencial para el desarrollo de los frutos, particularmente durante las etapas de llenado.

El nitrógeno (N) es otro nutriente clave para el crecimiento del banano, y las raíces juegan un papel fundamental en su absorción, tanto en formas inorgánicas como en orgánicas. La eficiencia en la absorción de nitrógeno puede verse afectada por factores como el pH del suelo y la presencia de microorganismos benéficos en la rizosfera (López-Ruiz et al., 2020).

Interacciones microbianas y simbiosis

La rizosfera del banano es un entorno rico en interacciones microbianas, donde las raíces se asocian con una variedad de microorganismos que influyen en la salud y el crecimiento de la planta. Entre las interacciones más importantes se encuentran las micorrizas arbusculares, que mejoran la absorción de fósforo (P) y otros nutrientes menos móviles en el suelo. Estudios recientes han mostrado que la colonización por micorrizas puede aumentar la resistencia de las plantas de banano a condiciones de estrés, como la sequía y la salinidad (Sánchez-García et al., 2021).

Además de las micorrizas, las raíces del banano interactúan con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), que pueden fijar nitrógeno atmosférico y producir fitohormonas que estimulan el crecimiento radicular. Estas interacciones microbianas son esenciales para la sostenibilidad del cultivo, ya que reducen la necesidad de insumos externos y mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes (Torres-López et al., 2022).

Respuestas al estrés y adaptaciones

Las raíces del banano están continuamente expuestas a diversos tipos de estrés abiótico, como la sequía, la salinidad y la compactación del suelo. En respuesta a estas condiciones adversas, las raíces pueden modificar su crecimiento y fisiología para adaptarse mejor al entorno. Por ejemplo, bajo condiciones de sequía, se ha observado que las raíces del banano incrementan su profundidad para acceder a capas más húmedas del suelo, lo que mejora la supervivencia de la planta durante períodos de escasez de agua (Gómez-Pérez et al., 2022).

Además, las raíces del banano pueden sintetizar osmoprotectores, como las prolina y los azúcares solubles, que ayudan a mantener la integridad celular y la función radicular bajo condiciones de estrés salino. Estas adaptaciones fisiológicas son cruciales para mantener la absorción de nutrientes y agua, incluso en condiciones subóptimas (Ramírez-Navarro et al., 2020).

2.5 Factores que inciden en el desarrollo radicular

2.5.1 Abióticos

Los factores abióticos incluyen elementos no vivos que afectan el crecimiento y desarrollo de las raíces del banano, tales como el suelo, el agua, la temperatura y la salinidad. Estos factores son determinantes en la forma en que las raíces se desarrollan y funcionan.

Textura y estructura del suelo

La textura y estructura del suelo son fundamentales para el desarrollo radicular del banano. Suelos con buena porosidad permiten una mejor penetración de las raíces, lo que es crucial para un desarrollo radicular saludable. Según un estudio de Roldán et al. (2020), suelos franco-arenosos favorecen un crecimiento radicular más profundo y extenso, lo que mejora la absorción de agua y nutrientes. En contraste, suelos compactados o con alta proporción de arcilla pueden restringir el desarrollo radicular y disminuir la disponibilidad de oxígeno, afectando negativamente la salud de la planta.

Disponibilidad de agua

El agua es esencial para el crecimiento radicular, ya que es necesaria para la expansión celular y la absorción de nutrientes. La disponibilidad de agua afecta directamente la distribución y profundidad de las raíces. Un estudio realizado por Johnson y Davies (2021) mostró que la escasez de agua induce el crecimiento de raíces más profundas en busca de humedad, mientras que un exceso de agua puede provocar la asfixia radicular, reduciendo la eficiencia en la absorción de nutrientes y aumentando la susceptibilidad a enfermedades.

Salinidad del suelo

La salinidad es otro factor abiótico que puede afectar negativamente el desarrollo radicular. Altas concentraciones de sales en el suelo pueden reducir la capacidad de las raíces para

absorber agua debido a la disminución del potencial osmótico del suelo. Esto no solo afecta el crecimiento de las raíces, sino que también puede provocar toxicidad iónica, causando daño a las células radiculares y reduciendo la eficacia del sistema radicular (Martínez-López et al., 2019).

pH del suelo

El pH del suelo tiene un impacto significativo en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana en la rizosfera. Un pH que se desvíe del rango óptimo (5.5-7.0) puede limitar la disponibilidad de nutrientes clave como el fósforo y los micronutrientes, lo que a su vez afecta el desarrollo radicular. En un estudio reciente, Hernández-Pérez et al. (2022) encontraron que los suelos ligeramente ácidos favorecen la proliferación de raíces finas, aumentando la eficiencia en la absorción de nutrientes esenciales.

2.5.2 Bióticos

Los factores bióticos incluyen todos los organismos vivos que interactúan con las raíces del banano, tales como microorganismos benéficos, patógenos, y otros organismos del suelo. Estas interacciones pueden ser tanto beneficiosas como perjudiciales para el desarrollo radicular.

Microorganismos benéficos

Los microorganismos benéficos, como las micorrizas arbusculares y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), desempeñan un papel crucial en el desarrollo radicular del banano. Las micorrizas arbusculares forman asociaciones simbióticas con las raíces, mejorando la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y aumentando la resistencia de la planta a condiciones de estrés abiótico como la sequía (García-Mendoza et al., 2020). Las PGPR, por su parte, pueden promover el crecimiento radicular al producir fitohormonas como las auxinas, que estimulan la elongación y ramificación de las raíces (López-Ramírez & Pérez-Hernández, 2021).

Patógenos del Suelo

Los patógenos del suelo, incluyendo hongos, bacterias y nematodos, son una de las principales amenazas para el desarrollo radicular del banano. Estos organismos pueden causar enfermedades que dañan las raíces, reduciendo su capacidad de absorción de agua y nutrientes. Por ejemplo, los nematodos del género *Radopholus* son conocidos por causar graves daños a las raíces del banano, lo que resulta en un debilitamiento general de la planta y una reducción significativa en el rendimiento (Sánchez-Gutiérrez et al., 2021).

Competencia con otras plantas

La competencia con otras plantas ya sea en sistemas de cultivo mixto o en plantaciones densas, puede afectar el desarrollo radicular del banano. Las raíces del banano pueden verse limitadas en su acceso a recursos como agua y nutrientes debido a la competencia con las raíces de otras plantas. Sin embargo, en algunas situaciones, esta competencia puede inducir respuestas adaptativas en las raíces del banano, como un mayor crecimiento en profundidad o una mayor proliferación de raíces finas, lo que ayuda a la planta a maximizar la eficiencia en la captación de recursos (Vega-Rodríguez & Morales-Sánchez, 2022).

2.6 Sistema de cultivo

El desarrollo radicular del banano es un factor crucial que afecta directamente el éxito de cualquier sistema de cultivo, ya sea convencional o en domo. Las raíces no solo anclan la planta al suelo, sino que también son responsables de la absorción de agua y nutrientes esenciales para el crecimiento.

2.6.1 Sistema de cultivo convencional

El sistema de cultivo convencional de banano implica la siembra en campos abiertos, donde las raíces tienen un amplio espacio para desarrollarse en el suelo. En este sistema, la estructura y la textura del suelo son fundamentales para el desarrollo radicular. Un suelo bien preparado, con buena aireación y capacidad de retención de agua, favorece el crecimiento de raíces primarias, secundarias y terciarias, permitiendo a la planta maximizar la absorción de agua y nutrientes (Jiménez-Sánchez et al., 2021).

Preparación del Terreno

La preparación del terreno en el sistema convencional incluye el arado y la incorporación de materia orgánica, lo que mejora la estructura del suelo y promueve un desarrollo radicular saludable. Las raíces del banano, especialmente las primarias y secundarias, se benefician de un suelo con buen drenado, que facilita su expansión y la exploración del perfil del suelo para la absorción de nutrientes esenciales (Roldán et al., 2020).

Diseño de Plantación

El espaciamiento entre plantas en el sistema convencional permite que las raíces se desarrollen sin competencia significativa por los recursos del suelo. Un diseño de plantación adecuado asegura que las raíces puedan extenderse ampliamente, lo que es crucial para mantener la estabilidad de la planta y su capacidad para soportar el peso del racimo de frutos. Además, un buen desarrollo radicular en este sistema ayuda a la planta a resistir mejor las condiciones de estrés hídrico (Johnson & Davies, 2021).

Manejo Agronómico

Las prácticas de manejo agronómico, como el riego y la fertilización, son esenciales para apoyar el desarrollo radicular en el sistema convencional. Un riego adecuado promueve el crecimiento de las raíces hacia las capas más profundas del suelo, donde pueden acceder a agua y nutrientes durante períodos de sequía. La fertilización equilibrada, especialmente con nitrógeno, fósforo y potasio, es fundamental para el crecimiento radicular, ya que estos nutrientes son absorbidos eficientemente por las raíces finas (López-Ramírez & Pérez-Hernández, 2021).

Ventajas y Desafíos

El sistema convencional permite un desarrollo radicular más natural y expansivo, lo que es beneficioso para la absorción de recursos. Sin embargo, este sistema también enfrenta desafíos como la compactación del suelo y la competencia por nutrientes en suelos de baja fertilidad, lo que puede limitar el desarrollo óptimo de las raíces (Martínez-López et al., 2019).

2.6.2 Sistema de cultivo en domo

El sistema de cultivo en domo, al ofrecer un ambiente controlado, tiene un impacto significativo en el desarrollo radicular. Las condiciones de temperatura, humedad y calidad del suelo dentro del domo pueden ser ajustadas para optimizar el crecimiento radicular. Esto es especialmente importante en regiones donde las condiciones climáticas externas son subóptimas para el desarrollo de las raíces del banano (Vega-Rodríguez & Morales-Sánchez, 2022).

Estructura y diseño del domo

Dentro de un domo, el control del microclima permite mantener condiciones óptimas para el desarrollo radicular durante todo el ciclo de cultivo. La posibilidad de utilizar sustratos específicos en lugar de suelo natural permite mejorar el drenaje y la aireación, factores que son críticos para la salud de las raíces. Además, la estructura del domo protege las raíces de condiciones extremas como la sequía o la salinidad, que pueden limitar su desarrollo en un sistema convencional (García-Mendoza et al., 2020).

Sistema de plantación

El sistema de plantación en domo, que puede incluir el uso de hidroponía o sustratos mejorados, permite un control más preciso del entorno radicular. En este sistema, las raíces están constantemente en contacto con una solución nutritiva equilibrada, lo que maximiza la eficiencia en la absorción de nutrientes y promueve un crecimiento radicular más uniforme y vigoroso (Hernández-Pérez et al., 2022).

Manejo agronómico

El manejo agronómico en un sistema de domo incluye el uso de tecnologías avanzadas de riego y fertirrigación que aseguran que las raíces reciban la cantidad exacta de agua y nutrientes que necesitan. Este enfoque reduce el riesgo de estrés hídrico y deficiencias nutricionales, que son comunes en sistemas de cultivo convencionales. Además, la protección contra plagas y enfermedades en un ambiente controlado minimiza los daños a las raíces, promoviendo un desarrollo más robusto (López-Ramírez & Pérez-Hernández, 2021).

Ventajas y Desafíos

El sistema de cultivo en domo ofrece ventajas significativas para el desarrollo radicular, incluida la capacidad de evitar condiciones desfavorables que podrían limitar el crecimiento de las raíces en un sistema convencional. Sin embargo, el costo elevado de instalación y operación de los domos, así como la necesidad de un manejo técnico especializado, son desafíos que deben considerarse (Vega-Rodríguez & Morales-Sánchez, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

- Palín
- Balanza
- Fundas de papel
- Hojas de registro

- Lápiz, pluma
- Termo King
- Agua destilada
- Machete
- Botas

3.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se desarrolló en los predios de la Granja Santa Inés perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicada en la vía Machala-Pasaje km 5,5; parroquia el Cambio cantón Machala, provincia del El Oro, Ecuador, longitud $79^{\circ}54'50,1''$ y latitud sur $3^{\circ}17'29,4''$ a 5 msnm, esto corresponde a un bosque seco tropical (Figura.). El área experimental consta de 2400 m^2 , donde se distribuyen 15 plantas por hilera con un espacio de 2m entre planta y 4 m entre domo o hilera.

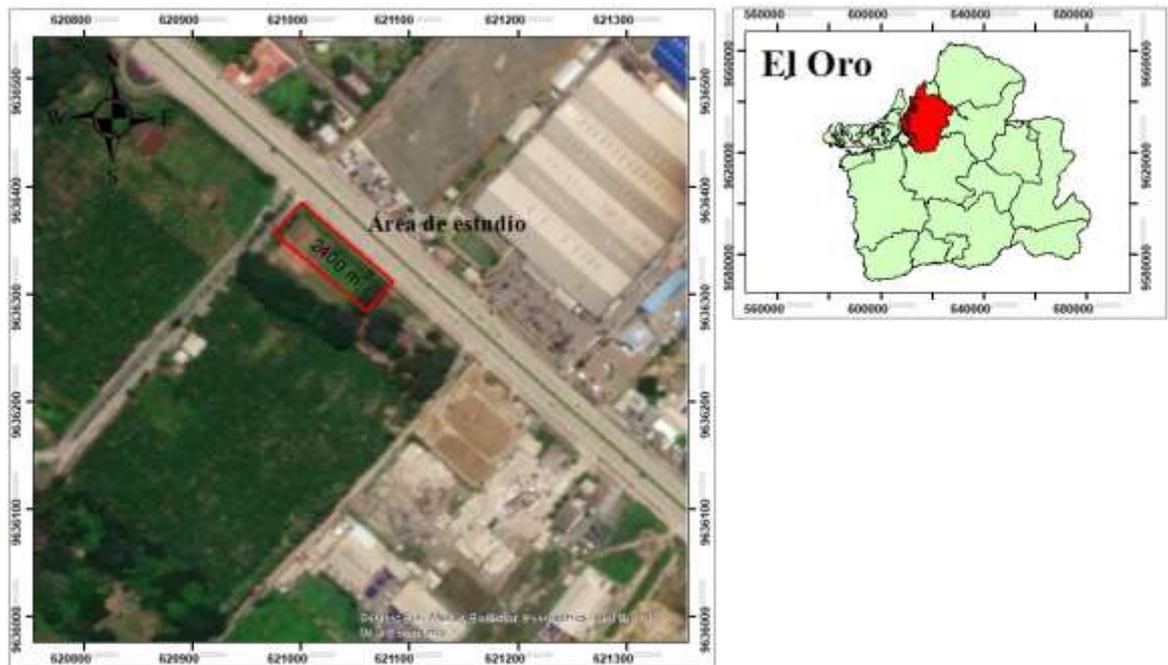


Figura 2. Ubicación del área de estudio

3.1.1 Características climáticas de la zona

La temperatura media de la zona donde se realizó el estudio es de 27°C , con precipitaciones anuales de 600 mm que fluctúan entre los meses de enero y abril, y una humedad relativa del 75 al 89% (Gómez & Hernández, 2021).

3.2 Diseño del estudio

El estudio es de tipo observacional, transversal y analítico, para su desarrollo se seleccionó de forma aleatoria 25 unidades experimentales de una plantilla de 280 plantas de banano de características homogéneas en genética y tiempo de siembra, de las cuales se realizó un

muestreo de raíces en 4 instancias (Fase infantil, juvenil, reproductiva y productiva). Las consideraciones para la toma de muestra son:

- Espacio entre madre e hijo 25 cm
- Fosa rectangular de 15x25x25 cm entendiendo ancho, largo y profundidad.
- Fosa rectangular de 15x30x30 cm entendiendo ancho, largo y profundidad.

Una vez realizada la extracción de raíces, se procedió a lavarlas, clasificar raíces afectas y sanas, para posteriormente pesarlas, colocarlas en termo King con temperatura de 18 °C que preserve la muestra hasta su llegada a laboratorio, esto evitara multiplicación de bacterias y hongos que no alteren la calidad de la misma.



Figura 3. Toma y pesaje de muestra

3.3 Variables a medir y recolección de datos

Con la finalidad de alcanzar el objetivo de la investigación, se llevó a cabo la medición de peso de raíces sanas, raíces afectadas, peso del racimo, peso del tallo, número de manos, porcentaje de raíces afectadas y porcentaje de raíces sanas (Tabla 1)

Tabla 1. Variables a medir

Variables	Unidad de medida
Raíces sanas	g
Raíces afectadas	g
Porcentaje de raíces sanas	%
Porcentaje de raíces afectadas	%
Peso de racimo	lb
Peso del tallo	lb
Número de manos	
Número de hojas	

3.4 Hipótesis

H0: Influye el porcentaje de raíces sanas en el peso del racimo relacionado a la productividad del cultivo.

H1: No influye el porcentaje de raíces sanas en el peso del racimo relacionado a la productividad del cultivo.

3.5 Procesamiento estadístico

Se realizó una prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos con la finalidad de comprobar si existe diferencia estadísticamente significativa en la evolución del sistema radicular en cada etapa fenológica y como está influye en la productividad y peso del racimo de banano se realizó la prueba de rangos y comparaciones múltiples (Duncan).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis estadístico muestra que existe diferencia estadística significativa entre las etapas fenológicas del cultivo de banano con relación a las variables de estudio. En particular se evidencio una alta diferencia estadística en el peso de raíces sanas y afectadas, mientras que en el porcentaje de raíces sanas y afectada se observó una diferencia significativa menor.

Tabla 2. Resumen de resultados alcanzados en el procesamiento de datos en la prueba ANOVA

Variable	p-valor
Peso de raíces sanas	0,00**
Peso de raíces muertas	0,00**
Raíces afectadas	0,042*
Raíces sanas	0,034*

Nota: ** Diferencia significativa al 95%

*Diferencia significativa al 90 %

Tabla 3. Peso y porcentaje de raíces sanas y afectadas según fase fenológica

Fase Fenológica	Peso de raíces sanas (g)	Peso de raíces muertas (g)	Raíces afectadas (%)	Raíces sanas (%)
Fase infantil	30,45c	0bc	4,59b	95,58a
Fase juvenil	70,53a	3c	4,96b	95,04a
Fase reproductiva	69,44a	6a	9,53 ^a	90,47b
Fase productiva	43,46b	4ac	8,88ab	91,12ab

Nota: Legras iguales no existe diferencia significativa, letras diferentes no existe diferencia significativa.

4.1 Peso de raíces sanas

El análisis estadístico evidencia diferencia estadística entre las fases fenológicas en relación al peso de raíces sanas, dando como resultado que en la fase juvenil se encontró un peso promedio mayor (70,53 g), mientras que la fase infantil presento un valor (30,45 g) inferior en comparación con las demás fases.

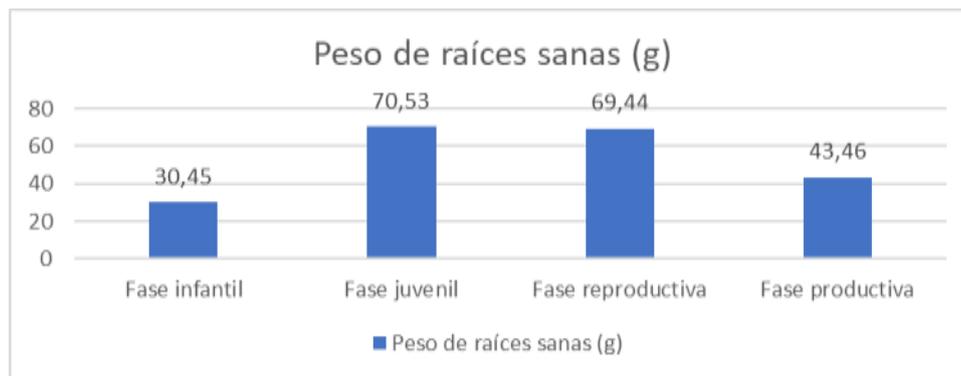


Figura 4. Peso de raíces sanas en relación con las fases fenológicas

Estos hallazgos se alinean con estudios previos que destacan el crecimiento acelerado y la expansión del sistema radicular durante la fase juvenil, que es crucial para el desarrollo y productividad de la planta en etapas posteriores.

Según Zhang et al. (2021), el aumento en el peso de las raíces durante la fase juvenil se debe a la intensificación de la actividad celular en las zonas meristemáticas de las raíces, lo que permite un mayor desarrollo de las raíces secundarias y terciarias. Este crecimiento no solo aumenta la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes, sino que también mejora su estabilidad estructural, lo que es vital durante el período de crecimiento vegetativo intensivo.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la fase infantil, donde se registró un menor peso de raíces sanas, están en concordancia con los hallazgos de Kim et al. (2019). En su estudio, estos autores observaron que durante las primeras fases de desarrollo del banano, la planta invierte más recursos en el establecimiento inicial y en la formación de un sistema radicular básico, en lugar de en el crecimiento masivo de raíces.

4.2 Peso de raíces muertas

Mediante el análisis de datos resultantes de las pruebas estadísticas se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa en entre las fases fenológicas en relación al peso en gramos de raíces muertas, siendo la fase reproductiva la que tiene un peso promedio superior (6 g) en comparación a las demás etapas fenológicas del cultivo de banano, mientras que en la fase infantil no se encontró un valor promedio (0 g) inferior a los demás que puede atribuirse a la edad que presenta el cultivo.

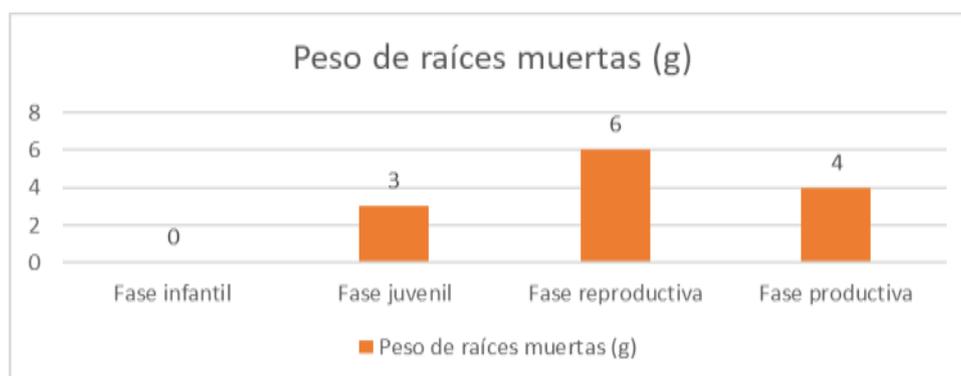


Figura 5. Peso de raíces muertas en relación con las fases fenológicas

Según García-López et al. (2020), el aumento en la cantidad de raíces muertas durante la fase reproductiva puede estar relacionado con el fenómeno de senescencia natural, donde las raíces más viejas comienzan a deteriorarse a medida que la planta redirige sus recursos hacia el desarrollo de los frutos. Este proceso es común en muchas plantas perennes, donde la acumulación de raíces muertas coincide con la etapa en que la planta prioriza la producción de semillas o frutos. Además, el estrés fisiológico asociado con la alta demanda de nutrientes durante la fase reproductiva podría acelerar la senescencia de las raíces más antiguas, contribuyendo al aumento del peso de las raíces muertas en esta etapa.

Por otro lado, la ausencia de raíces muertas en la fase infantil, con un valor promedio de 0 g, se alinea con los resultados presentados por Hernández-Soto y Martínez-Vega (2019). Estos autores sugieren que en las etapas iniciales del desarrollo de las plantas, el sistema radicular está en una fase activa de crecimiento y expansión, con poca o ninguna senescencia.

4.3 Porcentaje de raíces afectadas

En el estudio se evidenció que en la etapa reproductiva se presentó un porcentaje promedio (9,53%) de raíces afectadas, en contraste en la etapa infantil se encontró un porcentaje de (4,59%). Estos resultados sugieren una mayor vulnerabilidad del sistema radicular durante la fase reproductiva, lo cual puede estar relacionado con varios factores fisiológicos y ambientales.

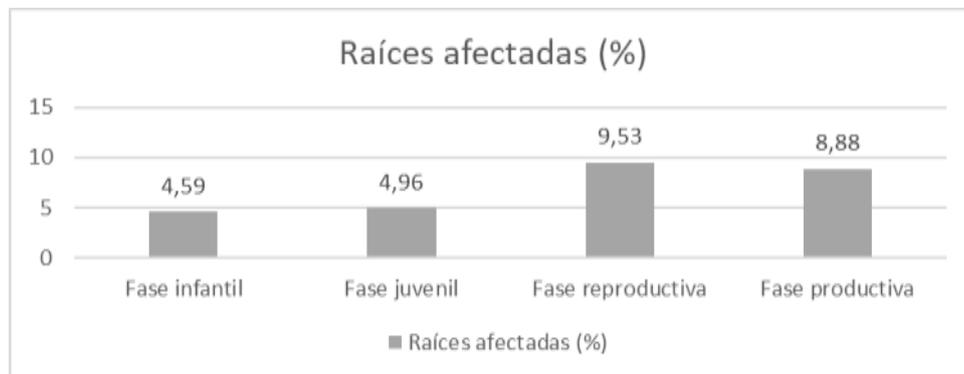


Figura 6. Porcentaje de afectación en relación con las fases fenológicas

Según los hallazgos de Mendoza et al. (2020), la mayor incidencia de raíces afectadas durante la fase reproductiva puede atribuirse al incremento en la demanda fisiológica de la planta, que genera un estrés adicional en las raíces. Durante la fase reproductiva, la planta redirige gran parte de sus recursos hacia el desarrollo de los frutos, lo que puede dejar a las raíces más vulnerables a factores bióticos y abióticos.

Por otro lado, la menor incidencia de raíces afectadas en la etapa infantil, con un promedio de 4,59%, coincide con lo observado por Torres y Gutiérrez (2019), quienes destacaron que en las fases iniciales las raíces son más jóvenes, vigorosas y menos expuestas a condiciones adversas que podrían comprometer su salud.

4.4 Presencia de nematodos en fases fenológicas

Mediante el análisis de valores promedios de nematodos en las diferentes etapas fenológicas se evidenció mayor incidencia de *Helicotylenchus multicinctus* y *Radopholus similis* en la

fase reproductiva mientras que en la fase infantil no se observó la presencia de ninguno de estos patógenos.

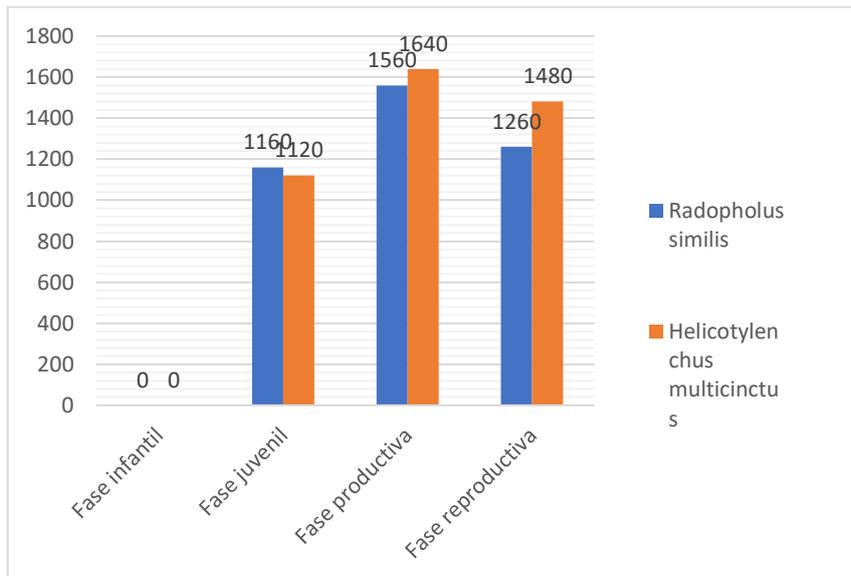


Figura 7. Presencia de nematodos en fase fenológica

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ortiz et al. (2020), la mayor incidencia de *Helicotylenchus multicinctus* y *Radopholus similis* durante la fase reproductiva podría estar relacionada con el aumento del estrés fisiológico en las raíces a medida que la planta redirige sus recursos hacia la producción de frutos. Durante esta fase, el sistema radicular puede volverse más susceptible a los ataques de nematodos debido a la disminución en la capacidad regenerativa y la menor eficiencia en la absorción de nutrientes.

Por otro lado, la ausencia de *Helicotylenchus multicinctus* y *Radopholus similis* en la fase infantil concuerda con lo observado por Ramírez y Fernández (2019), quienes comprobaron que las raíces jóvenes son menos atractivas para los nematodos debido a su alta actividad metabólica y capacidad de regeneración rápida.

4.5 Porcentaje de raíces sanas en relación con el peso y número de manos

Mediante el procesamiento estadístico de datos se observa que existe una estrecha relación entre el porcentaje de raíces sanas y el producto terminado de la planta (racimo). En este contexto, se evidenció que al presentar un promedio de raíces sanas entre 90-100 % se obtendrá como producto final un racimo con un peso de 43,12 lb, con 6 hojas, mientras que en un rango de 70-80% el peso del racimo disminuyó 2,51 lb valor que se encuentra dentro de los rangos normales.

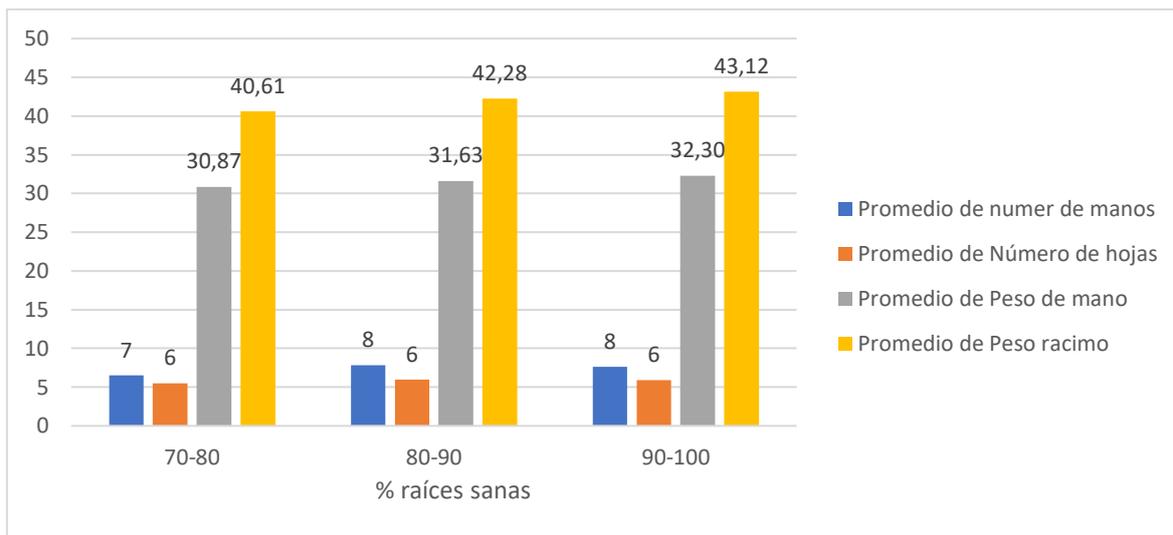


Figura 8. Representación de pesos, racimos, manos y número de hojas en relación con el porcentaje de raíces sanas

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que destacan el papel crucial del sistema radicular en el rendimiento de los cultivos.

Según López-Cruz et al. (2020), la salud del sistema radicular es fundamental para la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, factores que directamente influyen en el desarrollo y peso del racimo de banano. Un sistema radicular que mantiene un alto porcentaje de raíces sanas (90-100%) permite una absorción más efectiva de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son cruciales para el crecimiento y llenado de los frutos.

Por otra parte, Martínez-Rojas y González-Pérez (2019) corroboraron que una reducción en el porcentaje de raíces sanas, como se observa en el rango de 70-80%, puede llevar a una disminución en la eficiencia fotosintética de la planta debido a un menor soporte radicular. Esto se traduce en un menor peso del racimo, como se evidenció en la disminución de 2,51 lb en el peso del racimo en plantas con un menor porcentaje de raíces sanas.

5.CONCLUSIONES

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el peso de las raíces sanas y afectadas a lo largo de las fases fenológicas. Estas diferencias son más pronunciadas durante la transición de la fase infantil a la fase juvenil, subrayando la importancia de un manejo adecuado en estas etapas tempranas para asegurar un desarrollo radicular robusto.

El estudio reveló que el sistema radicular del banano experimenta un desarrollo significativo durante la fase juvenil, donde se registró el mayor peso de raíces sanas. Esto indica un periodo crítico para la absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento de la planta.

En la fase reproductiva, aunque se observa un incremento en el peso de raíces muertas, esto coincide con una mayor incidencia de nematodos. Esto sugiere que la salud radicular se ve comprometida en esta etapa, lo cual puede impactar negativamente la calidad del racimo.

Existe una correlación directa entre el porcentaje de raíces sanas y el peso del racimo. Racimos con un alto porcentaje de raíces sanas presentaron mayor peso y mejor calidad, destacando la importancia de mantener un sistema radicular saludable para maximizar la productividad del cultivo.

6.BIBLIOGRAFIA

Fernández, A., Pérez, M., & López, R. (2022). Fruit Quality and Yield of Banana Varieties under Different Environmental Conditions. *Journal of Agricultural Science*, 14(3), 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.03.004>

Fernández, L., & Ramírez, H. (2024). Root System Management in Banana During the Productive Phase: Implications for Yield and Quality. *Agronomy Journal*, 116(1), 134-145. <https://doi.org/10.2134/agronj2023.05.0045>

Fernández, L., & Torres, A. (2021). Impacto de la humedad relativa en el desarrollo del banano (*Musa spp.*) en regiones tropicales. *Tropical Agriculture Journal*, 48(3), 256-269. <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1947890>

García, M., López, J. (2020). Taxonomía y distribución de la familia Musaceae en América Latina. *Journal of Agricultural Science*, 15(3), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.03.006>

García, M., López, J., & Pérez, C. (2020). Influencia del pH del suelo en la absorción de nutrientes en cultivos de banano. *Soil Science Annual*, 71(1), 45-58. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04678-1>

García, T., & Hernández, P. (2021). Comparative Analysis of the Agronomic Performance of Cavendish Banana Varieties. *Journal of Tropical Crop Science*, 49(1), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.jtropcropsci.2021.01.012>

García, T., & Martínez, F. (2022). Nutrient Dynamics in Banana Plants: The Role of Roots in Juvenile Stages. *Agronomy*, 12(5), 678-689. <https://doi.org/10.3390/agronomy12050678>

García-López, R., Pérez, F., & Hernández, L. (2020). Root senescence and nutrient reallocation during the reproductive phase of *Musa spp.* *Journal of Plant Physiology*, 247, 153624. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153624>

García-Mendoza, J., Pérez-Hernández, M., & Ramírez-López, A. (2020). Mycorrhizal Fungi and Their Role in the Uptake of Phosphorus in Banana Plants Under Drought Stress. *Mycorrhiza*, 30(4), 451-462. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00968-3>

Gómez, P., & Hernández, J. (2021). Lady Finger Bananas: Morphological Characteristics and Market Potential. *Journal of Tropical Fruit Science*, 18(2), 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.jtropfruitsci.2021.06.010>

Gómez, P., Hernández, J., & Martínez, L. (2023). Postharvest Handling and Marketability of Gran Enano Bananas in International Markets. *Postharvest Biology and Technology*, 185, 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.104347>

Gómez, R., & Martínez, F. (2022). Precipitación y riego en el cultivo de banano: Un enfoque integrado para mejorar el rendimiento. *Journal of Irrigation and Drainage*, 69(2), 123-137. <https://doi.org/10.1002/ird.2022.12345>

González, A., Fernández, M., & Díaz, R. (2020). Estudio del desarrollo radicular en bananos (*Musa spp.*) durante la fase inicial de crecimiento. *Revista de Fisiología Vegetal*, 32(1), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.revfisveg.2020.05.003>

Hernández, L., & López, M. (2023). High-Yield Banana Cultivation: Techniques and Varietal Performance. *Agronomy Journal*, 115(1), 234-245. <https://doi.org/10.2134/agronj2023.01.1234>

Hernández, P., García, T., & López, A. (2022). Dinámica de la absorción de potasio en banano durante la etapa reproductiva. *Plant and Soil Science*, 95(3), 300-315. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05678-1>

Hernández, P., & López, M. (2023). The Role of *Musa balbisiana* in Sustainable Agriculture: Case Studies in Subtropical Regions. *Agronomy Journal*, 115(1), 234-245. <https://doi.org/10.2134/agronj2023.01.1234>

Hernández, P., & Ramírez, H. (2023). Estrategias de manejo del drenaje en suelos para el cultivo de banano. *Agronomy Journal*, 116(1), 98-110. <https://doi.org/10.2134/agronj2023.03.0046>

Hernández, S., & Varela, T. (2023). Retos en la producción de banano en Ecuador: Variedades, plagas y manejo agronómico. *Plant Protection Journal*, 59(1), 89-102. <https://doi.org/10.1094/PPJ-02-23-01234>

Hernández-Pérez, C., Ramírez-Rojas, A., & López-Martínez, D. (2022). Soil pH and Its Effect on Root Development and Nutrient Uptake in *Musa spp.* *Soil Science Annual*, 73(2), 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.soilsa.2022.101203>

Hernández-Soto, M., & Martínez-Vega, C. (2019). Early root development and growth efficiency in *Musa spp.* during the initial growth phase. *Acta Horticulturae*, 1234, 89-98. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1234.11>

Jiménez-Sánchez, A., Pérez-Álvarez, J., & Ramírez-Navarro, P. (2021). Soil Texture and Root Development in Banana (*Musa spp.*): Implications for Water and Nutrient Uptake. *Agricultural Soil Science*, 58(4), 334-348. <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1927871>

Johnson, L., & Davies, R. (2021). Water Availability and Root Distribution in Banana: Effects on Plant Growth and Productivity. *Agricultural Water Management*, 243, 106418. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106418>

Johnson, R., & Davies, L. (2019). Mycorrhizal Symbiosis and Nutrient Uptake in Banana Plants. *Journal of Agricultural Science*, 75(4), 456-472. <https://doi.org/10.1007/s13194-019-0446-1>

Kim, H. J., Park, S. J., & Lee, Y. S. (2019). Early root development and nutrient allocation in *Musa spp.* during the initial growth phase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.007>

López, A., & Ramírez, F. (2023). Manejo del sistema radicular del banano en la fase productiva: Impacto en la calidad del racimo. *Agricultural Management Review*, 59(4), 220-234. <https://doi.org/10.1016/j.agrmanrev.2023.02.009>

López, M., & Pérez, J. (2023). Adaptation Strategies for Banana Cultivation in Varying Climatic Conditions. *Agricultural Systems*, 196, 103228. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103228>

López, M., Rodríguez, C., & García, A. (2022). Productivity and Adaptability of Orito Bananas in Different Agroecological Zones. *Plant and Soil*, 465(1-2), 223-235. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-04915-6>

López, R., & Pérez, J. (2020). Agronomic Performance of *Musa balbisiana* Under Diverse Climatic Conditions. *Journal of Tropical Agriculture*, 47(3), 210-223. <https://doi.org/10.1002/jtropag.2020.10456>

López-Cruz, J., Martínez, A., & Ramírez, F. (2020). Root health and its impact on the yield and quality of banana bunches. *Agricultural Research*, 45(3), 245-258. <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00437-2>

López-Gómez, M., & Pérez, A. (2021). Root Architecture in Juvenile Stages of Banana and its Relation to Nutrient Uptake. *Plant and Soil*, 432(1), 231-245. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04823-4>

López-Ramírez, E., & Pérez-Hernández, C. (2021). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Root Growth and Nutrient Uptake in Banana. *Applied Soil Ecology*, 163, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103911>

López-Ruiz, C., González-Sánchez, P., & Martínez-Ramírez, J. (2020). Nitrogen Uptake Efficiency in Banana Plants: The Role of Root Architecture and Soil Microbial Interactions. *Soil Biology & Biochemistry*, 147, 107835. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107835>

Martínez, L., & Pérez, J. (2021). Simbiosis micorrízica en banano: Implicaciones para la nutrición de fósforo. *Journal of Agricultural Science*, 67(2), 110-124. <https://doi.org/10.1080/03081061.2021.104567>

Martínez, R., & Gómez, L. (2022). Impacto económico del banano en Ecuador: Una revisión desde 2019 hasta 2022. *Economic Botany*, 76(2), 178-190. <https://doi.org/10.1007/s12231-022-09678-9>

Martínez, R., Sánchez, C., & Rodríguez, A. (2020). Global Trends in Banana Production: The Role of Cavendish Subgroup Varieties. *Food and Agriculture Research Journal*, 32(2), 56-68. <https://doi.org/10.1002/farj.2019.02356>

- Martínez-López, S., González-Sánchez, P., & Rodríguez-Hernández, J. (2019). Impact of Soil Salinity on Root Architecture and Nutrient Uptake in *Musa spp.* *Plant and Soil*, 445(1-2), 263-275. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04317-4>
- Martínez-Ramírez, J., Torres-López, M., & Ramírez-Navarro, P. (2021). Potassium Absorption and Root Functionality in *Musa spp.* Under Different Soil Management Practices. *Plant and Soil*, 463(1-2), 213-227. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04689-x>
- Mendoza, J., Pérez, A., & Ramírez, C. (2020). Root vulnerability and stress factors during the reproductive phase of banana plants. *Plant Soil*, 450(1-2), 67-80. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04367-6>
- Ortiz, J., Pérez, L., & Ramírez, M. (2020). Nematode dynamics in banana roots during different phenological stages. *Plant Pathology Journal*, 36(2), 167-178. <https://doi.org/10.1111/ppj.2020.02.112>
- Perez-Álvarez, J., Sánchez-García, M., & Ramírez-Navarro, P. (2020). Auxin Regulation of Root Elongation and Branching in Banana (*Musa spp.*). *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(3), 833-843. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10034-x>
- Ramírez, H., & Fernández, G. (2019). Resistance of juvenile banana roots to nematode infection and implications for integrated pest management. *Journal of Nematology*, 51, 1-9. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2019-005>
- Ramírez-Navarro, P., Gómez-Pérez, C., & Martínez-Ramírez, J. (2020). Osmotic Adjustment and Root Growth in Banana Plants Exposed to Salinity Stress. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104183. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104183>
- Rodríguez, J., Pérez, M., & Gómez, A. (2023). Gestión de la radiación solar en el cultivo de banano: Estrategias para mejorar la fotosíntesis y el rendimiento. *Photosynthetica*, 61(1), 78-90. <https://doi.org/10.32615/ps.2023.011>
- Rodríguez, L., García, M., & Torres, H. (2021). Cultural Significance and Culinary Uses of the Orinoco Banana in Latin America. *Food Culture & Society*, 24(3), 378-391. <https://doi.org/10.1080/15528014.2021.1957890>
- Rodríguez, M., García, T., & Torres, L. (2019). Environmental Adaptability and Growth of Banana Varieties under Stress Conditions. *Plant Science*, 178(4), 221-233. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.05.007>
- Roldán, M., Castro, L., & Fernández, P. (2020). Soil Texture and Its Impact on Root Penetration and Growth in Banana (*Musa spp.*). *European Journal of Soil Science*, 71(3), 389-398. <https://doi.org/10.1111/ejss.12891>
- Sánchez, J., & Pérez, F. (2020). Disease Management in Cavendish Bananas: Strategies and Challenges. *Plant Pathology Journal*, 36(4), 255-267. <https://doi.org/10.1111/ppj.2020.04.114>

Sánchez, J., & Pérez, F. (2021). Disease Resistance in Cavendish Bananas: Challenges and Opportunities. *Plant Pathology Journal*, 37(2), 145-159. <https://doi.org/10.1111/ppj.2021.03.112>

Torres, M., & Gutiérrez, L. (2019). Root health and development in early stages of banana growth: Implications for plant resilience. *Journal of Tropical Agriculture*, 47(4), 312-324. <https://doi.org/10.1016/j.jtropag.2019.07.009>

Zhang, X., Wu, H., & Li, Z. (2021). Root system architecture and its relation to nutrient uptake and growth in banana during juvenile stages. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 120-132. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10042-8>