



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y

VETERINARIA

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Análisis de curvas de absorción de nutrientes en cultivo de maíz y arroz”

AUTOR:

Víctor Darío Montiel León

TUTOR:

Ing. Agr. Nessar Rojas Jorgge, MSc.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El presente documento detalla el análisis de curvas de absorción de nutrientes en cultivo de maíz y arroz. Las conclusiones determinan que durante la fase de macollamiento, se observó que el nitrógeno y el potasio fueron los nutrientes con mayor capacidad de absorción. Mientras que el potasio exhibió una absorción continua a lo largo de todas las etapas de desarrollo, el nitrógeno no mostró absorción en las fases de elongación del tallo y desarrollo del grano. Destaca que el potasio fue el nutriente con la mayor tasa de absorción en general. El fósforo y calcio exhibieron capacidad de absorción en todas las fases del proceso, a diferencia del magnesio, el cual no evidenció absorción durante la fase de elongación del tallo. El azufre y el hierro no presentan absorción durante la etapa de elongación del tallo. La absorción de cobre y boro no se observa durante las etapas de plántula y floración, mientras que el zinc no presenta absorción durante la etapa de elongación del tallo. En la producción de maíz, los micronutrientes primordiales que se asimilan en concentraciones significativas son el hierro y el manganeso. Asimismo, son los micronutrientes que se encuentran en concentraciones más altas al emplear la planta completa y retirarla del terreno. Para lograr altos rendimientos, el maíz debe alcanzar un estado fisiológico óptimo en cada etapa de desarrollo, con una adecuada disponibilidad de nutrientes, particularmente cuando estos se requieren en mayores cantidades (aproximadamente cuando se desarrollan 5-6 hojas). Esto garantiza un crecimiento foliar robusto y una alta eficiencia en la conversión de la radiación interceptada.

Palabras claves: nutrientes, arroz, maíz, absorción, macronutrientes, micronutrientes.

SUMMARY

This document details the analysis of nutrient absorption curves in corn and rice crops. The conclusions determine that during the tillering phase, it was observed that nitrogen and potassium were the nutrients with the highest absorption capacity. While potassium exhibited continuous uptake throughout all developmental stages, nitrogen showed no uptake in the stem elongation and grain development phases. It stands out that potassium was the nutrient with the highest overall absorption rate. Phosphorus and calcium exhibited absorption capacity in all phases of the process, unlike magnesium, which did not show absorption during the stem elongation phase. Sulfur and iron do not present absorption during the stem elongation stage. The absorption of copper and boron is not observed during the seedling and flowering stages, while zinc does not present absorption during the stem elongation stage. In corn production, the primary micronutrients that are assimilated in significant concentrations are iron and manganese. Likewise, they are the micronutrients that are found in higher concentrations when using the entire plant and removing it from the ground. To achieve high yields, corn must reach an optimal physiological state at each stage of development, with adequate availability of nutrients, particularly when these are required in greater quantities (approximately when 5-6 leaves develop). This guarantees robust leaf growth and high efficiency in the conversion of intercepted radiation.

Keywords: nutrients, rice, corn, absorption, macronutrients, micronutrients.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	4
2. DESARROLLO.....	5
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1.1. Generalidades de la curva de absorción de nutrientes.....	5
2.1.2. Absorción de nutrientes del cultivo de arroz.....	8
2.1.3. Absorción de nutrientes del cultivo de maíz	11
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	13
2.3. RESULTADOS.....	14
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
3.1. CONCLUSIONES	17
3.2. RECOMENDACIONES.....	18
4. REFERENCIAS Y ANEXOS.....	20
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	20
4.2. ANEXOS	24

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La naturaleza y conducta de un nutriente en el suelo son clave para la eficiencia. Los nutrientes que se acumulan en el suelo, como P y K, se pueden evaluar a corto plazo, pero es mejor evaluar su eficiencia y recuperación a largo plazo. La eficiencia de N se evalúa en el corto plazo debido a su naturaleza transitoria. Cuando aumenta el potencial de almacenamiento de carbono en el suelo, se debe evaluar la eficiencia de nitrógeno a largo plazo, ya que lo que afecta el equilibrio de carbono también afecta el equilibrio de nitrógeno debido a la constancia de su relación en la materia orgánica del suelo (Stewart 2007).

Nuestro país sigue alineado con la tendencia predominante de explotación intensiva e indiscriminada de los recursos terrestres. Para lograr rendimientos óptimos, el país depende de la aplicación de fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio. En 2014, la tasa promedio anual de aplicación de fertilizantes en Ecuador fue de 124,03 kg ha⁻¹, ligeramente por debajo del promedio del subcontinente de 135,46 kg ha⁻¹, pero notablemente alta en términos absolutos. Adicionalmente, es común que la gran parte de los agricultores emplee los fertilizantes sin tomar en consideración los niveles de nutrientes presentes en los suelos ni las demandas específicas de los cultivos, resultando en un abuso de su utilización que acarrea consecuencias ambientales desfavorables (Torres *et al.* 2020).

Las plantas extraen nutrientes del suelo de manera diversa según el cultivo. Es necesario reponer los elementos extraídos para evitar la pérdida de fertilidad. Los fertilizantes químicos aportan nutrientes al suelo, pero deben ser aplicados de manera adecuada para evitar problemas de contaminación y degradación del suelo. Las curvas de crecimiento y absorción de nutrientes en los cultivos fortalecen los programas de fertilización al determinar la cantidad de nutrientes absorbidos para obtener un rendimiento específico. Son representaciones gráficas de la extracción de

nutrientes por una planta durante su ciclo de vida (Gandica y Peña 2015).

Los productores deben buscar nuevas formas de producir más y más barato, abordando el manejo integral y rentable de los cultivos, incluyendo la fertilización y la nutrición, considerando la demanda nutricional de cada especie, la calidad, la rentabilidad y el medio ambiente. Conocer las curvas de absorción de nutrientes es fundamental para optimizar los recursos y aplicar fertilizantes de manera precisa. Para hacer las curvas, es necesario aplicar los nutrientes adecuados al suelo y mantener la planta en buenas condiciones, así como realizar análisis foliares frecuentes para saber cómo los nutrientes se mueven en la planta (Gómez *et al.* 2019).

Un estudio de absorción sirve como un sólido enfoque inicial para estimar la cantidad de nutrientes que deben reponerse en el campo para preservar la fertilidad. En aras de preservar la sostenibilidad del sistema, resulta fundamental restituir al suelo una cantidad de nutrientes equivalente a la que se extrae del campo a través de la biomasa del cultivo. Una curva de absorción de nutrientes es una representación visual de la absorción de un nutriente, que ilustra las cantidades extraídas por una planta a lo largo de su ciclo de vida (Barahona *et al.* 2018).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de la fertilidad en el Ecuador va escalando progresivamente, y es frecuente observar en las zonas productivas efectos adversos como disminución de la productividad, erosión química y salinización. Esto es el resultado del uso inadecuado de fertilizantes o de programas de fertilización mal diseñados y adaptados a tipos de cultivos específicos.

Es imprescindible implementar prácticas de gestión o enfoques de producción contemporáneos para abordar los desafíos actuales en relación a la salud de los suelos. La composición de nutrientes muestra una variabilidad considerable que depende de las condiciones climáticas, las prácticas y rotación de cultivos, la

utilización de estiércol animal, la incorporación de fuentes de fertilizantes y los residuos de cultivos. Uno de los desafíos más apremiantes en el cultivo de maíz y arroz en Ecuador tiene que ver con la deficiencia de varios nutrientes clave, que los agricultores a menudo tienen dificultades para identificar directamente en el campo.

El productor agrícola debe poseer un conocimiento exhaustivo acerca de las propiedades fisicoquímicas del suelo, ya que el rendimiento y la calidad de las cosechas dependen estrechamente de la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo. La disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo se encuentra entre los factores de mayor trascendencia que inciden en la productividad. Cuando estos nutrientes no están presentes en cantidades suficientes en el suelo, se hace necesario la aplicación de fertilizantes o enmiendas químicas con el fin de aportar la suplementación necesaria y rectificar las condiciones adversas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El manejo competente de cualquier cultivo depende de la comprensión competente de su fenología. La importancia de determinar el momento óptimo de aplicación de fertilizantes en función de los períodos de máxima absorción de nutrientes, así como los requisitos totales de nutrientes para el desarrollo de las plantas, reside en su utilidad para facilitar la implementación de prácticas apropiadas destinadas a mejorar el crecimiento integral de las plantas a través de prácticas de fertilización precisas. Del equilibrado suministro de nutrientes en proporciones óptimas, con el fin de maximizar la producción sin comprometer la integridad de los recursos naturales.

Entre las ventajas asociadas a la realización de este tipo de estudios, se encuentra la capacidad de discernir en qué tejido tiende a acumularse predominantemente un nutriente. Esta información puede facilitar posteriormente la determinación de si este elemento será eliminado del sistema a través del producto cosechado o si puede sufrir oportunidades de reciclaje en el medio ambiente. Además,

permite un ajuste muy preciso entre la aplicación y el consumo de nutrientes, al conocer los momentos de máxima absorción según el cultivar, afinando el momento y la cantidad de lo que requiere la planta. Estos aspectos cobran gran importancia, especialmente en cultivos de ciclo corto como arroz y maíz y en casos de fertilización intensiva con fertirrigación.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar las curvas de absorción de nutrientes en cultivo de maíz y arroz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer la eficiencia de la absorción de nutrientes en los cultivos de maíz y arroz.
- Detallar información sobre la demanda nutricional y rendimiento en cultivos de maíz y arroz.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología.

Líneas: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea: Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Generalidades de la curva de absorción de nutrientes.

Las curvas de absorción de nutrientes permiten desarrollar planes de fertilización óptimos para mejorar tanto el rendimiento como la calidad de la fruta. Comprender la absorción de nutrientes en cada etapa fenológica del cultivo proporciona información valiosa para diseñar programas de fertilización. En este contexto, es importante tener en cuenta en dichos programas la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la eficacia de la absorción de fertilizantes, el momento adecuado para sembrar, las condiciones climáticas, la gestión de la cosecha, el sistema de riego, entre otros aspectos relevantes (Arteaga *et al.* 2020)

El término "estudio de absorción" se utiliza para denotar todos los esfuerzos de investigación destinados a evaluar cuantitativamente la absorción o utilización de nutrientes por un cultivo para apoyar su crecimiento y desarrollo a lo largo del ciclo de producción. Estos estudios contribuyen cuantitativamente a fortalecer los programas de fertilización al permitir específicamente determinar la cantidad de nutrientes absorbidos por un cultivo para lograr un rendimiento determinado dentro de un período de tiempo definido (López 2023).

La curva de absorción de nutrientes es la representación gráfica que muestra la absorción acumulativa de nutrientes por parte de la planta a lo largo de su ciclo de crecimiento. La interpretación de las curvas de absorción posibilita la estimación cercana de los requerimientos diarios de diversas nutrientes por el cultivo. Para determinar las curvas de absorción, es necesario cuantificar experimentalmente la absorción de nutrientes en varias etapas de crecimiento de las plantas, centrándose en períodos caracterizados por cambios sustanciales en el consumo de nutrientes, como el desarrollo vegetativo, el crecimiento de los frutos, la maduración, la cosecha,

etc. Hay una variabilidad considerable en los requisitos nutricionales y en los mecanismos de absorción entre distintos tipos de cultivos hortícolas a lo largo de su ciclo de crecimiento (Fallas *et al.* 2014).

La cantidad de nutrientes que una planta ingiere, absorbe o necesita se determina vinculando el peso seco de los tejidos con las concentraciones totales de nutrientes que se encuentran en esos tejidos. Estos estudios podrán realizarse una vez por ciclo, como por ejemplo los de requerimientos totales y/o de cosecha. Otro enfoque para realizar estos estudios implica considerar múltiples etapas (preferiblemente asociadas con cambios fenológicos significativos) a lo largo del ciclo de vida del cultivo, lo que permite el desarrollo de curvas de absorción. Asimismo, es factible realizarlos considerando la integralidad de la estructura vegetal o dividiéndola en sus componentes tejidos. Independientemente de la situación, resulta fundamental disponer del rendimiento mercantil logrado en relación a dicho cultivo, el cual podría vincularse con dicho consumo específico (López 2023).

La respuesta a la fertilización depende de factores como la selección de variedades, la fertilidad del suelo, las condiciones climáticas, el manejo del agua y las prácticas de control de plagas. La realización de un estudio de absorción sirve como un valioso punto de partida para estimar la cantidad de nutrientes necesarios para la reposición en el campo para mantener la fertilidad del suelo. B. Con el propósito de realizar el análisis de absorción, resulta imperativo llevarlo a cabo en un entorno con condiciones nutricionales apropiadas y utilizando variedades específicas de una especie, lo cual facilitará la extrapolación de los hallazgos a contextos más amplios que trasciendan el ámbito particular de la investigación (Moran 2020).

Las curvas de absorción porcentual, con el consumo máximo fijado en el 100% y segmentado por etapas, destacan claramente los casos de máxima absorción. Además, es factible identificar el tejido en el que un nutriente tiende a acumularse de manera selectiva, lo cual permite determinar si dicho nutriente se eliminará del sistema junto con el producto cosechado o si existen oportunidades de

reciclaje. Además, construir la curva de aplicación en función de la absorción permite implementar un programa progresivo a lo largo del ciclo que optimiza la eficiencia de la fertilización en el tiempo. En particular en cultivos de corta duración y que requieren una alta cantidad de nutrientes, el uso de curvas de absorción posibilita una refinada calibración entre la cantidad de nutrientes absorbidos y la cantidad aplicada (López 2023).

Las curvas de absorción de nutrientes son herramientas valiosas que brindan información valiosa sobre los patrones de consumo de nutrientes de un cultivo a lo largo de su ciclo de vida, lo que permite una mejor comprensión de la cantidad mínima requerida por un cultivo para lograr un objetivo de rendimiento específico. Optimizando la gestión de programas de fertilización para aumentar la productividad y reducir los gastos asociados con la aplicación de nutrientes (Sigcho 2020).

La disponibilidad de los nutrientes está determinada por una variedad de factores, incluyendo el potencial genético de la planta, su etapa de crecimiento y el entorno ambiental en el que se desarrolla, que abarca desde la composición nutricional del sustrato hasta las condiciones climáticas como la temperatura, la humedad y la exposición solar. Estos factores estaban relacionados con las etapas de prefloración, floración y fructificación de una planta o cultivo, y en conjunto proporcionaron fundamentos para subrayar la importancia de alinear las curvas de absorción con las curvas de crecimiento del cultivo. Esto permite delinear las relaciones entre los patrones de crecimiento y los requerimientos nutricionales (Cortes 2023).

La cantidad de nutrientes extraídos del suelo por las plantas de maíz depende del rendimiento de materia seca producida por hectárea y su contenido de nutrientes, los cuales están sujetos a variaciones basadas en la disponibilidad de nutrientes del suelo para la planta. En base a esto, las curvas identificadas y su implementación tendrían un impacto directo de aproximadamente un 50% en el aumento de los rendimientos de los cultivos, atribuido al uso de fertilizantes (Moran 2020).

2.1.2. Absorción de nutrientes del cultivo de arroz

La subdivisión de las dosis de N resulta en un aumento de la eficacia de aproximadamente un 60-70%, dado que se adapta la administración de las dosis a la curva de requerimientos de la planta. Al considerar la administración de una dosis total superior, se aconseja prestar mayor atención a su fragmentación (Castillo y Silva 2020).

El nitrógeno se destaca como uno de los componentes más restringidos y altamente contaminantes en los cuerpos de agua, debido a su capacidad de desplazamiento en el suelo. Esta problemática se ve agravada por las diversas características edáficas, las cuales influyen de forma considerable en la absorción de nutrientes. De acuerdo con la investigación realizada por Cordero en 1993, se ha comprobado que la eficiencia de absorción del nitrógeno (N) experimenta mejoras significativas con el empleo de coadyuvantes (Orozco *et al.* 2020)

Los nutrientes típicamente identificados como factores limitantes del rendimiento en el cultivo de arroz son el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el zinc. La ley del mínimo establece que el nutriente que restringe la productividad es el que está presente en menor cantidad relativa. En lo que respecta a la captación de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) por parte de la planta cultivada, se lleva a cabo a lo largo de todo su ciclo, sin embargo, se evidencia una mayor extracción en las etapas de V5 y R0. Es importante señalar que los requisitos de N aumentan en función del incremento del potencial de producción del cultivo de arroz (Castillo y Silva 2020).

Fertilizando con N, P, K y S, junto con las curvas de absorción de nutrientes en arroz, se ha observado que la aplicación de partículas de zeolita mayores a 1 mm tuvo un efecto significativo en la reducción de la volatilización del nitrógeno 45 días después de la aplicación de urea. Los resultados de los tratamientos con el uso de zeolita demostraron una reducción de las emisiones de nitrógeno amoniacal, que oscilaron

entre 7,3% y 56,9% en comparación con la aplicación de urea en los cultivos control (Santos 2024)

Para mejorar la productividad de los cultivos, es esencial garantizar una nutrición y fertilización adecuadas que favorezcan la absorción de los nutrientes esenciales para el óptimo desarrollo de la planta, lo cual se traducirá en un incremento de los rendimientos con menores costos de producción (Lozano y Ospina 2019).

El pH óptimo para el cultivo de arroz es de alrededor de 6,6." "El pH ideal para el crecimiento del arroz es aproximadamente 6,6. A este nivel de pH, se promueve la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, mejorando así la disponibilidad de fósforo para las plantas. Además, dentro de este rango de pH, las concentraciones de sustancias que podrían impedir la absorción de nutrientes, como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos, se mantienen por debajo de niveles tóxicos, fomentando así el crecimiento favorable y el desarrollo saludable de las plantas de arroz (Trigoso *et al.* 2023).

El nitrógeno se identifica como un nutriente limitante principal en términos de su disponibilidad para el crecimiento y rendimiento del cultivo de arroz. El nitrógeno juega un papel crucial en el crecimiento de las plantas, particularmente en la promoción del desarrollo vertical. El cultivo de arroz normalmente requiere niveles bajos de nitrógeno (N), que oscilan entre 70 y 120 kg. La tasa de nitrógeno es de 1 ha⁻¹ en el cultivo mencionado, en contraste, en el cultivo de arroz bajo riego, la dosis varía entre 120 a 160 kg (Barahona *et al.* 2019).

El contenido de fósforo en los cultivos generalmente oscila entre el 0.05% y el 0.30% del peso seco total de las plantas. Para que las plantas absorban eficazmente el fósforo necesario, es imperativo que las raíces lo absorban en forma de especies iónicas simples, como H₂PO₄, fácilmente disponibles en la solución del suelo. La disponibilidad de fósforo puede incidir en la eficacia de la fotosíntesis, la cual desempeña un papel fundamental en la captación de energía en las estructuras

foliares. "Si hay una deficiencia de fósforo, la fotosíntesis puede verse limitada, provocando un exceso de energía luminosa en las hojas". En caso de escasez de fósforo, la actividad fotosintética puede verse limitada, culminando en un exceso de energía luminosa dentro de las estructuras de las hojas. Este escenario puede generar problemas como resultado de una menor fijación de dióxido de carbono (CO₂), lo que afecta el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Subero *et al.* 2018).

Potasio es un nutriente esencial fundamental para favorecer altos niveles de producción en el cultivo de arroz. El potasio desempeña múltiples funciones críticas en las plantas de arroz, incluida la contribución a la resistencia a las enfermedades. La presencia de potasio en las plantas incide positivamente en su resistencia ante diversas enfermedades, al reforzar su sistema inmunológico y su capacidad de respuesta ante agentes patógenos (Barahona *et al.* 2019).

La eficiencia en la absorción de nitrógeno por los cultivos es mayor en dosis bajas y disminuye a medida que aumentan estas dosis. La eficiencia sigue una curva que se asemeja a la respuesta de la producción, también conocida como curva de rendimientos decrecientes. Esta curva, que reproduce con precisión el efecto del nitrógeno, ilustra una productividad marginal decreciente con cada dosis adicional de fertilizante, llegando a un punto en el que dosis más altas en realidad dan como resultado rendimientos más bajos (Caballero 2021).

Los niveles de extracción y eficiencia de la fertilización varían significativamente entre regiones y principalmente entre variedades de cultivos, ya que cada variedad exhibe una eficiencia de absorción de nutrientes específica (Arias *et al.* 2020)

La investigación destinada a evaluar el patrón de absorción y acumulación de nutrientes clave en el arroz en relación con la acumulación de materia seca reveló que las tasas más altas de acumulación de nitrógeno ocurren desde el inicio del primordio floral y durante todo el llenado del grano. Además, se observó un período de estancamiento durante el cual las tasas de absorción son prácticamente inexistentes,

desde la emergencia de las panículas hasta la fertilización de las flores. El consumo acumulado de nitrógeno en el experimento ascendió a 151 kg N ha⁻¹ (Caballero 2021).

2.1.3. Absorción de nutrientes del cultivo de maiz

El rendimiento (rendimiento en granos) de los híbridos de maíz moderno evaluados supera lo que se observa en el antiguo híbrido, que parece corresponder predominantemente a se observó una mayor absorción de N, K, Ca y Mg en lugar de acumulación y distribución de biomasa, lo que indica que la selección de materiales basada en la relación de distribución de biomasa podría mejorar potencialmente la producción de follaje (biomasa vegetativa) o el rendimiento de granos (biomasa reproductiva), dependiendo de la agronomía. objetivos. Por otro lado, la acumulación de biomasa vegetativa y reproductiva sigue un modelo sigmoideal, mientras que la movilización de biomasa vegetativa para la generación de rendimiento sigue un modelo lineal (Montúfar *et al.* 2021)

Un estudio realizado en un campo de maíz en Naranjal, Ecuador, reveló que la curva de absorción de nitrógeno alcanza su punto máximo entre los 45 y 90 días después de la siembra. Esto indica la relevancia del nitrógeno en el desarrollo de los órganos de la planta, con una disminución gradual en su absorción a medida que avanza el ciclo de crecimiento. En este punto, se estima que el cultivo ya ha absorbido entre el 60% y el 70% del nitrógeno total necesario para su completo desarrollo. Durante el período de 90 días de cosecha, la planta experimenta una mayor absorción de la totalidad de macronutrientes y micronutrientes, con la excepción del fósforo, cuya absorción se produce principalmente durante la fase vegetativa inicial. Nitrógeno y Potasio exhiben niveles más elevados de concentración en el tejido vegetal a lo largo de todas las fases fenológicas, lo que indica su capacidad para acumular nutrientes con el propósito de ser translocados hacia la espiga. Las curvas de absorción de calcio y magnesio muestran una pendiente más baja, lo que sugiere un requerimiento constante de estos minerales en una magnitud relativamente uniforme y reducida. La planta presentó una tasa de asimilación de nitrógeno y fósforo

del 20%. Con respecto al potasio, su porcentaje fue del 40% (Sigcho 2020).

La discrepancia en la absorción de N y K estuvo influenciada por sus niveles de acumulación en el tallo, hojas y mazorcas. Por el contrario, la absorción de Ca estuvo influenciada principalmente por su acumulación en las mazorcas, mientras que la absorción de Mg estuvo relacionada con su acumulación en el tallo y las mazorcas. En adición a lo previamente mencionado, se dan datos que indican que es necesario un kilogramo de biomasa seca total (excluyendo las raíces) por cada. Aproximadamente 14,0, 3,5, 11,4, 11,3, 3,0 y 1,2 gramos de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente. Se midieron aproximadamente 14,0, 3,5, 11,4, 11,3, 3,0 y 1,2 gramos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, respectivamente (Montúfar *et al.* 2021)

La absorción de nutrientes se vio favorecida por altas dosis de K₂O. Reformulado: La asimilación de nutrientes aumentó con niveles más altos de K₂O. No se observaron diferencias significativas en la calidad de la mazorca y los componentes de rendimiento en relación con la dosis administrada. La menor densidad de siembra presentó valores mayores en las variables agronómicas; sin embargo, este factor no afectó la calidad de la mazorca, la absorción de nutrientes ni los componentes del rendimiento. Los niveles más altos de eficiencia se lograron con una densidad de plantación de 66.666 plantas por hectárea y 70 kg por hectárea de K₂O (Urbina *et al.* 2023)

En última instancia, los recursos naturales de origen lignocelulósico, como el maíz, ofrecen la oportunidad de mejorar los sistemas sostenibles para el avance del país, tanto en la etapa de recolección como en el tratamiento de los materiales de biomasa. Asimismo, contribuyen a aumentar la eficacia y la productividad de los procesos asociados a este tipo de cultivo. Al optar por materiales con una mayor capacidad de almacenamiento y liberación de nutrientes, se podría potenciar la productividad de los productores de maíz, promoviendo un crecimiento más robusto, una mayor presencia en los mercados, y consecuentemente una mejora en la calidad de vida (Montúfar *et al.* 2021)

En suelos con altos niveles de potasio, la aplicación de 70 kg.ha⁻¹ de K₂O es suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo; sin embargo, se recomienda suplir las necesidades de la planta (131,7 kg.ha⁻¹ K) sin agotar las concentraciones de potasio del suelo (Urbina et al. 2023)

Durante el crecimiento de esta planta, el criterio principal empleado para la determinación de su fenología es el propuesto por Ritchie y Hanway (1982), el cual se basa en atributos morfológicos macroscópicos o externos. Se pueden identificar dos estadios diferenciables: el reproductivo y el vegetativo, estando el número final de estadios del período vegetativo sujeto a variación en función de su entorno (el ambiente), en relación con la cantidad total de hojas y el genotipo. Mediante la concomitancia de las variaciones externas, se generan modificaciones que no son observables en el meristemo apical, en las yemas axilares, en las futuras mazorcas ni en la futura flor (Blas 2021).

Diversos métodos pueden emplearse para establecer las trayectorias de crecimiento y la absorción de nutrientes en las plantas. Los estudios de crecimiento ofrecen insights acerca de los mecanismos mediante los cuales las plantas generan materia orgánica, influyendo directamente en los rendimientos esperados de los cultivos. Además, permite identificar coyunturas críticas que dan lugar a factores de gestión como momentos de refertilización o riego (Fernández *et al.* 2018).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

Este documento se elaborará a través de bibliografía utilizando muchas fuentes, incluidas tesis de pregrado y posgrado, artículos científicos de alto impacto, revistas, libros indexados, sitios web y estudios de investigación.

Luego de seleccionar información de diferentes fuentes, se efectuará el análisis, síntesis y síntesis con el objetivo de obtener información relevante al tema de

investigación y extraer conclusiones que cumplan con los objetivos. El propósito será claro y fácil de entender para el lector, cuyo tema es análisis de curvas de absorción de nutrientes en cultivos de maíz y arroz.

2.3. RESULTADOS

En el cultivo de arroz, una de las principales estrategias para un manejo eficaz de la fertilización, junto con el análisis del suelo, implica implementar prácticas de manejo adecuadas durante su preparación. Estas prácticas sirven para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de utilización en el cultivo, particularmente el nitrógeno (N), lo que en consecuencia conduce a un mayor potencial de rendimiento.

La presencia de fósforo en el suelo estimula el desarrollo de las raíces de arroz, mejorando la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Además, incrementa la resistencia a enfermedades y promueve una floración y cosecha temprana del cultivo. Asimismo, contribuye al crecimiento vegetativo de la planta, aumentando su tolerancia a condiciones ambientales desfavorables y facilitando la maduración de los granos de arroz.

El potasio (K) también es de gran importancia para lograr altos rendimientos de arroz. Este nutriente juega un papel crucial en la mejora de la resistencia a las enfermedades de las plantas, el crecimiento de raíces y tallos, la longevidad de las hojas, así como en la iniciación y desarrollo de la panoja.

En el caso del cultivo de maíz, el Nitrógeno absorbido por las plantas se almacena en los tallos y hojas, fomentando así el proceso de fotosíntesis. Esto mejora el rendimiento del crecimiento, particularmente durante la fase de floración, que está estrechamente correlacionada con el número de semillas por mazorca.

Además, el fósforo es esencial para la fotosíntesis, ya que favorece la germinación, la floración, la tonificación y mejora la calidad de la planta de maíz. Por

lo tanto, su uso complementario conlleva un incremento en el desempeño y la calidad de la vegetación.

El potasio ejerce un papel crucial en la estructura de la planta al mitigar el acame o la inclinación, mejorar la fuerza del tallo y estimular el crecimiento de las raíces. Además, este macroelemento contribuye a la preservación de la estructura única que sostiene la mazorca, que representa la función central del tallo.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el contexto del cultivo de arroz, una de las estrategias clave para un manejo eficaz de la fertilización implica la implementación de prácticas de manejo apropiadas durante la preparación del suelo, junto con el análisis del suelo. La presencia de fósforo en el suelo promueve el desarrollo de las raíces, mejorando la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. El potasio (K) desempeña un papel crucial en la optimización de la producción de arroz, coincidiendo así con la afirmación de López (2023) sobre la relación entre la cantidad de nutrientes asimilados por una planta y su peso seco, basada en las concentraciones totales de nutrientes presentes en dichos tejidos. Estos estudios podrán realizarse una vez por ciclo, como por ejemplo los relativos a requerimientos totales y/o cosecha. Otra estrategia para llevar a cabo estos análisis consiste en contemplar diversas fases (especialmente vinculadas a modificaciones fenológicas relevantes) durante el desarrollo del cultivo, lo cual facilita la elaboración de curvas de absorción. Además, es factible realizarlos examinando la integridad estructural de la planta o analizando sus tejidos constituyentes por separado. Sin importar el contexto específico, es esencial contar con información sobre la eficacia comercial alcanzada en el cultivo mencionado, la cual puede estar relacionada con el consumo particular en cuestión.

En el caso del cultivo de maíz, el nitrógeno absorbido por las plantas se almacena en los tallos y hojas, favoreciendo así el proceso de fotosíntesis. Esto mejora el rendimiento del crecimiento, particularmente durante la etapa de floración, que está

estrechamente asociada con el recuento de semillas por mazorca. Además, el fósforo es indispensable para la fotosíntesis ya que favorece la germinación, la floración, la tonificación y mejora la calidad de las plantas de maíz. En consecuencia, su aplicación complementaria da como resultado una mejora del rendimiento y la calidad de la vegetación. La importancia del potasio en la arquitectura vegetal se evidencia al reducir la lodazal y el tizón, fortalecer la robustez del tallo y fomentar el crecimiento radicular, un aspecto mencionado por Cortes (2023). La disponibilidad de nutrientes se ve influenciada por diversos elementos, tales como la dotación genética de la planta, su fase de desarrollo y el contexto ambiental en el que se encuentra, abarcando desde la composición nutricional del sustrato hasta condiciones climáticas como la temperatura, la humedad y la radiación solar. Estos elementos estaban vinculados con las fases de prefloración, floración y fructificación de una planta o cultivo, y en su conjunto ofrecieron fundamentos para resaltar la relevancia de sincronizar las curvas de absorción con las curvas de crecimiento del cultivo. Esto facilita trazar las conexiones entre los modelos de desarrollo y las necesidades nutricionales.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Durante la fase de macollamiento, se observó que el nitrógeno y el potasio fueron los nutrientes con mayor capacidad de absorción. Mientras que el potasio exhibió una absorción continua a lo largo de todas las etapas de desarrollo, el nitrógeno no mostró absorción en las fases de elongación del tallo y desarrollo del grano. Destaca que el potasio fue el nutriente con la mayor tasa de absorción en general.

El fósforo y calcio exhibieron capacidad de absorción en todas las fases del proceso, a diferencia del magnesio, el cual no evidenció absorción durante la fase de elongación del tallo. Las fases con mayor demanda de fósforo fueron macollamiento y madurez del grano, y las de mayor demanda de calcio fueron macollamiento y floración, mientras que las fases con mayor demanda de magnesio fueron floración y madurez del grano.

El azufre y el hierro no presentan absorción durante la etapa de elongación del tallo. El azufre y el manganeso muestran su mayor absorción durante la etapa de macollamiento. El período de mayor absorción de hierro ocurrió durante la etapa de madurez del grano.

La absorción de cobre y boro no se observa durante las etapas de plántula y floración, mientras que el zinc no presenta absorción durante la etapa de elongación del tallo. La etapa en la que estos tres elementos son más demandados es el grano maduro.

En la producción de maíz, los micronutrientes primordiales que se asimilan en concentraciones significativas son el hierro y el manganeso. Asimismo, son los micronutrientes que se encuentran en concentraciones más altas al emplear la planta

completa y retirarla del terreno.

El aumento de los rendimientos del cultivo requiere niveles más altos de estos nutrientes esenciales, siendo el nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, azufre, calcio y magnesio los más críticos en el caso del cereal. La carencia de cualquiera de estos nutrientes puede resultar en una disminución del crecimiento y de la productividad del cultivo.

Para lograr altos rendimientos, el maíz debe alcanzar un estado fisiológico óptimo en cada etapa de desarrollo, con una adecuada disponibilidad de nutrientes, particularmente cuando estos se requieren en mayores cantidades (aproximadamente cuando se desarrollan 5-6 hojas). Esto garantiza un crecimiento foliar robusto y una alta eficiencia en la conversión de la radiación interceptada.

Las recomendaciones de fertilización con nitrógeno varían según el sistema agrícola utilizado y el cultivar. Normalmente, el cultivo de arroz de secano requiere niveles bajos de nitrógeno que oscilan entre 70 y 120 kg.

El nitrógeno es un componente fundamental en las estrategias de fertilización destinadas al cultivo de arroz, desempeñando una función esencial en el crecimiento y desarrollo de la planta al participar en la composición de moléculas clave como proteínas, lecitinas, clorofila, ácidos nucleicos (ADN y ARN), citocromos y coenzimas.

3.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones propuestas son:

Analizar las curvas de nutrientes en cultivos de ciclo corto como soya y fréjol.

Promover el uso de técnicas de curvas de nutrientes a los agricultores.

Efectuar ensayos de capo para validar la importancia de utilizar curvas de absorción para implementar planes de fertilización.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arias-Badilla, Juan Gabriel, Esquivel-Segura, Edwin Antonio, & Campos-Rodríguez, Roel. 2020. Evaluación de la densidad de siembra y nivel de fertilización en arroz, para las variedades Palmar-18, Lazarroz FL y NayuribeB FL, en Parrita (Pacífico Central), Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 13-24. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4363>
- Arteaga Chamorro, Gustavo Alejandro, Ortiz Calle, Randon Stalin, & Cartagena Ayala, Yamil Everaldo. 2022. Dinámica de la absorción de nutrimentos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola, para la producción de semilla prebásica. *Siembra*, 9(2), e3481. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3481>
- Barahona-Amores, L. A., Villarreal-Núñez, J. E., González-Carrasco, W., & Quiro-McIntire, E. I. 2019. Absorción de nutrientes en arroz en un suelo inceptisol bajo riego en Coclé, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 407-424. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v30n2/2215-3608-am-30-02-00407.pdf>
- Blas Morales, R. M. 2021. Eficiencia de la fertilización granulada y líquida complementada con ajinofer, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), var. dekalb 7088. Disponible en <https://repositorio.unab.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/81a38f8f-8b5a-41f5-b2f9-2a99435f80a2/content>
- Caballero Ibarra, B. C. 2021. Uso de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.) en dos métodos de riego, Valle Chancay-Lambayeque. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5130/caballero-ibarra-brian-cristopher.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo Riaño, G., & Silva Rodríguez, L. B. 2020. Eficiencia de uso y respuesta en rendimiento a diferentes dosis de N del cultivar de arroz Parao sobre distintos antecesores invernales. Disponible en

[https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29120/1/CastilloRia%
c3%b1oGustavo.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29120/1/CastilloRia%c3%b1oGustavo.pdf)

- Cortes Urbano, G. M. 2023. Evaluación de algunas variables agronómicas y absorción de nutrientes del pasto ryegrass aubade (*Lolium* sp.) bajo diferentes dosis de NPK en interacción con silicio en trópico de altura. Disponible en <https://sired.udenar.edu.co/12526/1/2023078.pdf>
- Fallas, R., Bertsch, F., & Barrientos, M. 2014. Curvas de absorción de nutrientes en papaya (carica papaya l.) Cv. pococí en las fases de crecimiento vegetativo, floración e inicio de cosecha. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 43-54. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242014000200004&script=sci_arttext
- Fernández, G., Beloqui, C., Docampo, R., & Silva, A. 2018. Acumulación de materia seca y nutrientes en maíz para silo con distintas fuentes de nitrógeno. Disponible en <https://www.fca-ude.edu.uy/tellus/pdfs/Tellus-N-002-2022-08.pdf#page=59>
- Gandica Omaña, Henry, & Peña, Haydee. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27(2), 111-120. Recuperado en 25 de enero de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612015000200007&lng=es&tlng=es.
- Gómez García, M. F., Calvo Cardona, S. J., Toro, C., de Jesús, F., Giraldo, D., & Dario, R. 2019. Modelación de curvas de absorción de nutrientes edáficas para Menta (*Mentha spicata* L.) y Cebollin (*Allium schoenoprasum*) bajo condiciones del Oriente Antioqueño. Disponible en <https://repositorio.uco.edu.co/bitstream/20.500.13064/307/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>
- López Toni, J. (2023). Curvas de absorción de nitrógeno y potasio en tomate bajo invernaderos con distintos niveles de fertirrigación. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/37345/1/LopezJonathan.pdf>

- Lozano, L. A. C., & Ospina, Y. C. T. 2019. Fundamentos técnicos para la nutrición del cultivo de arroz. Disponible en https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fundamentos_nutricion.pdf
- Montúfar, G. H. V., Caicedo, L., Zamora, D. V. V., & Mora, F. D. S. 2021. Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 27(3), 417-431. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081781>
- Moran Castro, E. A. 2020. Estimación de curvas de absorción de nutrientes para el cultivo de maíz híbrido (*Zea mays*), en tres zonas productoras de la provincia de Los Ríos. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8409>
- Orozco, A. Z., Jara, K. M., & Cordero, W. P. 2020. Análisis de la eficiencia de la fertilización mediante el uso de Zeolita natural y *Mucuna pruriens* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones controladas en microparcels situadas en Parrita, Puntarenas, Costa Rica. *Repertorio Científico*, 23(2), 23-36. Disponible en <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/repertorio/article/view/2985/4271>
- Santos Flores, J. 2024. Respuesta de dos variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de tres dosis de fertilizantes en combinación con zeolita (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR). Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANTOS%20FLORES%20JHON%20ANTHONY.pdf>
- Sigcho Figueroa Milena Alejandra 2020. *CURVA DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays), EN SUELOS ENTISOLES DE PUERTO INCA, NARANJAL-ECUADOR* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR). Disponible en <http://181.198.35.98/Archivos/SIGCHO%20FIGUEROA%20MILENA%20ALEJANDRA.pdf>
- Stewart, W. M. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 67(7). Disponible en <http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e>

/40ad1eee26c802f005257a5300510c6d/\$FILE/ATTCNQIX.pdf/Consideraciones%20en%20el%20uso%20eficiente%20de%20nutrientes.pdf

- Subero, N., Ramírez, R., Sequera, O., y Parra, J. 2018. Fraccionamiento de fósforo en los suelos cultivados con arroz por largos períodos de tiempo. *Bioagro*, 28(1), 13-20.
- Torres-García, A., Héctor-Ardisana, E., Fosado-Téllez, O., Peñarrieta-Bravo, S., Solórzano-Bravo, J., Jarre-Mendoza, V., Medranda-Vera, F., & Montoya-Bazán, J. 2020. Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 41(4), e02. Epub 01 de diciembre de 2020. Recuperado en 25 de enero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000400002&lng=es&tlng=pt.
- Trigoso-Becerril, D., Florida-Rofner, N., & Rengifo-Rojas, A. 2023. Indicadores Físicoquímicos del suelo con Manejo Convencional Del Arroz (*Oriza sativa* L.) Bajo Riego. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1), 117-129. Disponible en http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-85962023000100117&script=sci_arttext
- Urbina-Briceño, C., Vargas-Rojas, J. C., Vega-Villalobos, E. V., Alvarado-Hernández, A., Cabalceta-Aguilar, G., & Garbanzo-León, G. 2023. Productividad de maíz (Diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de potasio. *Agronomía Costarricense*. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/53969/54793>

4.2. ANEXOS



Figura 1. Modelo de curvas de absorción de nutrientes de cultivos