



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

Partición de materia seca y extracción de micronutrientes en tres genotipos de maíz

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

Autoras

Melissa Teodomira Araujo Espinoza

Jhomaly Cristina Hidalgo Peña

Asesor

Mg.Sc. Eroncio Mendoza Nieto

Huacho - Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad De Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias Y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Araujo Espinoza Melissa Teodomira	76195017	20 - 04 - 2026
Hidalgo Peña Jhomaly Cristina	48738492	20 - 04 - 2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Mendoza Nieto Eroncio	06723932	https://orcid.org/0000-0002-4850-2777
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Luis Olivas Dionicio Belisario	15651224	https://orcid.org/0000-0002-5367-5285
Sanchez Calle Marco Tulio	02807986	https://orcid.org/0000-0001-9687-2476
Azabache Cubas Elvia Elizabeth	16785502	https://orcid.org/0000-0002-0027-4349

020321Melissa Teodomira Araujo Espinoza 020231J...

Partición de materia seca y extracción de micronutrientes en tres genotipos de maíz

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3514997537

Fecha de entrega

23 mar 2026, 10:30 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

23 mar 2026, 12:08 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_ARAUJO_-_HIDALGO_2026.pdf

Tamaño del archivo

1.0 MB

69 páginas

17.561 palabras

96.621 caracteres



Página 2 de 76 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3514997537

19% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 0% 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.

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestras familias, por ser la base de cada uno de nuestros logros. A nuestros docentes y a todas las personas que nos acompañaron en este proceso, por sus palabras de aliento y motivación. Este trabajo representa una meta cumplida y el reflejo de nuestro compromiso con la ingeniería agrónoma y nuestro desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por brindarnos la formación necesaria para crecer como profesional. A nuestros docentes, por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales fueron fundamentales para nuestro aprendizaje. Finalmente, agradecemos a nuestros familiares y compañeros, por su apoyo y por hacer de esta etapa una experiencia valiosa.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas Específicos.....	4
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4. Justificación de la investigación	5
1.5. Delimitaciones del estudio.....	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes internacionales	7
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	9
2.2. Bases teóricas	10
2.3. Definiciones de términos básicos.....	20
2.4. Hipótesis de investigación	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específicas	21
2.5. Operacionalización de las variables.....	22
CAPITULO III. METODOLOGIA.....	23
3.1. Gestión del experimento	23
3.1.1. Ubicación.....	23

3.1.2. Características del área experimental	23
3.1.3. Tratamientos.....	24
3.1.4. Diseño experimental	24
3.1.5. Variables a evaluar.....	25
3.1.6. Conducción del experimento	26
3.2. Técnicas para el procedimiento de la información	26
CAPITULO IV. RESULTADOS	27
4.1 Partición de la materia seca	27
4.2 Concentración de micronutrientes.....	29
4.3. Extracción de nutrientes	37
CAPITULO V. DISCUSIÓN	48
1. Partición de materia seca	48
2. Variabilidad genética en la absorción y acumulación de micronutrientes ..	48
3. Extracción total de nutrientes y eficiencia de uso.....	49
4. Selección de genotipos y manejo de fertilización	49
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones.....	52
CAPITULO V. REFERENCIAS.....	53

Índice de tabla

Tabla 1	Clasificación taxonómica del maíz.....	11
Tabla 2	Requerimiento de macronutrientes en el maíz	14
Tabla 3	Requerimiento de macronutrientes en el maíz.	14
Tabla 4	Características del maíz genotipo ARG 8700T	17
Tabla 5	Características del maíz genotipo Marginal 28T.....	18
Tabla 6	Características del maíz genotipo SV 3243.....	19
Tabla 7	Operacionalización de las variables	22
Tabla 8	Genotipos de maíz	24
Tabla 9	Análisis de varianza.....	25
Tabla 10	Análisis de varianza para la partición de la materia seca (kg ha^{-1}) según tejido en tres genotipos de maíz amarillo	27
Tabla 11	Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la producción de la materia seca (kg ha^{-1}) según tejido en tres genotipos de maíz amarillo	28
Tabla 12.		29
Tabla 13.	Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en el follaje en tres genotipos de maíz amarillo.	31
Tabla 14.	Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo	32
Tabla 15.	Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo.	33
Tabla 16.	Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo	34
Tabla17.	Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo.	35
Tabla18.	Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en los granos en tres genotipos de maíz amarillo.	36

Tabla19. Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en los granos en tres genotipos de maíz amarillo.....	37
Tabla 20. Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el follaje en tres genotipos de maíz amarillo	39
Tabla21. Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el tallo (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo	39
Tabla22. Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo	40
Tabla23. Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en la raíz (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo	41
Tabla 24. Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo	42
Tabla25. Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el grano (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo	43
Tabla26. Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el grano en tres genotipos de maíz amarillo	43

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la partición de materia seca y la extracción de micronutrientes en tres genotipos de maíz amarillo (ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243) bajo las condiciones edafoclimáticas del valle de Huaura, Lima, Perú. **Metodología:** Se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres tratamientos correspondientes a los genotipos y tres repeticiones. Se evaluaron las variables de partición de la materia seca y concentración de micronutrientes en follaje, tallo, raíz y grano. A partir de estos datos, se determinó la extracción total por planta, por órgano y por tonelada de grano. Los análisis estadísticos incluyeron el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 %. Además, se calcularon los coeficientes de variación (CV) para verificar la precisión experimental. **Resultados:** Los resultados mostraron diferencias significativas entre genotipos en la partición de materia seca y en la extracción de micronutrientes. El genotipo ARG 8700 T presentó la mayor acumulación de biomasa total y la mayor extracción de Fe, Cu y Mn en comparación con los otros materiales, evidenciando una eficiencia fisiológica y nutricional superior. Marginal 28T mostró una eficiencia intermedia, mientras que SV 3243 registró los valores más bajos en absorción y acumulación de nutrientes. Asimismo, la extracción total de micronutrientes siguió el orden: Fe > Mn > Zn > Cu > B, y el cobre fue el único elemento con diferencias altamente significativas por tonelada de grano. **Conclusiones:** Se concluye que los genotipos de maíz amarillo difieren significativamente en su eficiencia de absorción y utilización de micronutrientes. El genotipo ARG 8700 T mostró el mejor desempeño fisiológico, con mayor producción de materia seca y mayor eficiencia en la absorción y translocación de micronutrientes.

Palabras clave: *Zea mays*, absorción de micronutrientes, partición de materia seca, eficiencia fisiológica, genotipos.

ABSTRACT

Objective: To evaluate dry matter partitioning and micronutrient extraction in three yellow maize genotypes (ARG 8700 T, Marginal 28T, and SV 3243) under the soil and climatic conditions of the Huaura Valley, Lima, Peru. **Methodology:** A randomized complete block design (RCBD) was used with three treatments corresponding to the genotypes and three replications. Dry matter partitioning and micronutrient concentration were evaluated in foliage, stem, root, and grain. From these data, total extraction per plant, per organ, and per ton of grain was determined. Statistical analyses included analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple comparison test at the 5% significance level. Coefficients of variation (CV) were also calculated to verify experimental precision. **Results:** The results showed significant differences among genotypes in dry matter partitioning and micronutrient extraction. The ARG 8700 T genotype exhibited the highest total biomass accumulation and the greatest extraction of Fe, Cu, and Mn compared to the other materials, demonstrating superior physiological and nutritional efficiency. Marginal 28T showed intermediate efficiency, while SV 3243 registered the lowest values for nutrient absorption and accumulation. Furthermore, total micronutrient extraction followed the order: Fe > Mn > Zn > Cu > B, with copper being the only element showing highly significant differences per ton of grain. **Conclusions:** It is concluded that yellow corn genotypes differ significantly in their micronutrient absorption and utilization efficiency. The ARG 8700 T genotype showed the best physiological performance, with higher dry matter production and greater efficiency in micronutrient absorption and translocation.

Keywords: *Zea mays*, micronutrient absorption, dry matter partitioning, physiological efficiency, genotypes.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, tanto por su valor alimenticio y económico como por su contribución a la seguridad alimentaria de millones de personas. Su amplia adaptabilidad y versatilidad lo posicionan como uno de los principales cereales en los sistemas agrícolas de América Latina, donde representa una fuente esencial de energía y proteínas para consumo humano y animal (FAO, 2021). En el Perú, el maíz amarillo duro es uno de los cultivos más relevantes dentro de la economía agrícola nacional, utilizado principalmente para la alimentación animal y como materia prima en la industria agropecuaria (MINAGRI, 2020). En la costa central, el cultivo ha alcanzado una notable expansión debido a las condiciones climáticas favorables y la disponibilidad de recursos hídricos; sin embargo, enfrenta limitaciones productivas asociadas al manejo de la fertilización y a la eficiencia en la absorción de nutrientes.

La nutrición mineral del maíz desempeña un papel fundamental en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo. Si bien los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) son los más demandados y comúnmente considerados en los programas de fertilización, los micronutrientes como zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B) son igualmente esenciales para asegurar el funcionamiento fisiológico adecuado de la planta. Estos elementos participan en procesos clave como la fotosíntesis, la respiración celular, la síntesis de proteínas y la formación de paredes celulares, por lo que su deficiencia puede limitar significativamente la productividad del cultivo (Marschner, 2012; Fageria, Baligar & Jones, 2011). Sin embargo, la disponibilidad de micronutrientes en los suelos de la costa peruana suele verse afectada por su pH alcalino, la baja materia orgánica y la presencia de antagonismos químicos, factores que reducen la eficiencia de absorción por parte de la planta (Malavolta & Moraes, 2007).

La eficiencia en la absorción, translocación y utilización de nutrientes varía según el genotipo, debido a diferencias en la arquitectura radicular, la fisiología de la absorción y la capacidad de almacenamiento en los tejidos vegetales (Ciampitti & Vyn, 2013). En este sentido, la evaluación comparativa de genotipos permite identificar materiales con mayor capacidad de aprovechamiento de nutrientes, lo que contribuye a mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo en condiciones de fertilidad limitada. Además, el estudio de la partición de materia seca entre los diferentes órganos de la planta proporciona información

sobre la distribución de los fotoasimilados y su relación con la absorción de nutrientes, constituyendo un indicador fundamental de la eficiencia fisiológica del cultivo (Bender et al., 2013; Oliveira, Leandro & Carvalho, 2023).

En las últimas décadas, diversos estudios han abordado la dinámica de absorción y exportación de nutrientes en maíz, evidenciando que la mayor demanda de micronutrientes ocurre durante las etapas vegetativas tempranas y que su remobilización hacia el grano depende de la eficiencia de transporte interno (Bender et al., 2013). No obstante, existe escasa información local sobre la extracción de micronutrientes y la partición de materia seca en genotipos modernos de maíz amarillo cultivados bajo las condiciones edafoclimáticas del valle de Huaura, lo que limita la formulación de estrategias de manejo nutricional ajustadas a la realidad del territorio.

En este contexto, la presente investigación se planteó con el propósito de evaluar la partición de materia seca y la extracción de micronutrientes en tres genotipos de maíz amarillo (ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243) bajo las condiciones del valle de Huaura, Lima, Perú.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, de gran importancia económica y representa un beneficioso aporte a la seguridad alimentaria, ya que puede ser consumido directamente por el hombre y los animales a través de la transformación de granos en alimentos balanceados o en otros productos alimenticios e industriales. A nivel mundial se producen dos grupos importantes de maíz: amarillo y blanco. En mayor cantidad, el maíz de color amarillo (García, 2017), cultivado en países del hemisferio norte y es utilizado principalmente para la alimentación de los animales, mientras que el maíz blanco se produce para la alimentación del hombre (OCDE y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2020).

La superficie mundial de maíz para grano seco ascendió a 207 millones de hectáreas entre 2021/22 con una producción de 1,217 millones de toneladas de maíz y un rendimiento por hectárea de 5.87 toneladas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2023a), siendo Estados Unidos el mayor productor de este cereal (Statista, 2023), que junto a Brasil representan el 39 % de la producción mundial, seguido de China con casi el 23% (FAO, 2022). Por otro lado, debido al crecimiento de la población y al consumo mundial per cápita, se proyecta que la producción de maíz crecerá y llegará a 1,315 millones de toneladas durante los próximos diez años (OCDE y FAO, 2020).

Así mismo, en el Perú, el maíz es el cultivo de mayor importancia ya que se siembra en Costa, Sierra y Selva, desde el nivel del mar hasta por encima de 3800 msnm (García, 2017) y alrededor de 82 mil familias dependen directamente de este cultivo (García, 2020). A nivel nacional, se cultivan principalmente dos tipos o variedades de maíces, el maíz amarillo duro (MAD) y el amiláceo. En la costa y selva se siembra principalmente el MAD y es destinada para la alimentación animal, al año 2019 se sembró 254 743 ha de MAD con un rendimiento de 4.99 t/ha y una producción total de 1 271 825 toneladas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2020). Por otro lado, el maíz amiláceo o de altura se siembra en los andes, y son utilizados para consumo humano en diferentes formas (mote, cancha, humita, tamales, chicha, etc.) convirtiéndose en un alimento básico para la población rural alto andina, al año 2019 la superficie cosechada de este tipo de maíz fue en promedio de 199 144 ha, 292 901 toneladas con un rendimiento de 1.81 t/ha (Narro & Piña, 2021). Asimismo,

según estadísticas de la FAO, en el Perú, durante el año 2021, el área de maíz cosechada ascendió a 442 013 ha, con una producción de 1 582 135 toneladas (FAOstat, 2023).

Por lo tanto, el maíz es un cultivo de importancia en nuestro país, que puede ser explotado para aprovechar su máximo rendimiento productivo, el cual depende de la acumulación de biomasa como materia fresca y seca en las distintas partes de la planta que son destinadas a la cosecha, un incremento proporcional en estas partes se relaciona con un mayor rendimiento. El contenido de materia seca (MS) en las partes de la planta dependerá de la disponibilidad de nutrientes, momento en el que se realice el corte, ya que, a mayor senescencia de la planta, habrá un mayor contenido de MS principalmente en la espiga y grano (Mendoza, 2010); genotipo de maíz utilizado porque seleccionando adecuadamente se puede obtener buenos rendimientos de materia seca y de mayor calidad.

Finalmente, con lo expuesto, es necesario la comprensión de las etapas de desarrollo del cultivo de maíz, la distribución de la materia seca en las partes de la planta y las diferencias en contenido nutricional en diferentes genotipos, para aplicar adecuadamente las prácticas agronómicas, contribuyendo a la mejora del cultivo a nivel nacional. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar la partición de materia seca y extracción de micronutrientes en tres genotipos de maíz.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Existen diferencias en la partición de materia seca en las partes de la planta y la cantidad de micronutrientes en los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Existen diferencias en la partición de la materia seca en la raíz, tallo, hoja y grano en los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura?

- ¿Existen diferencias en el contenido de micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe y B) de los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Comparar la partición de materia seca en las partes de la planta y la extracción de micronutrientes en los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar la partición de materia seca en el raíz, tallo, hoja y grano en los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.
- Comparar la extracción de micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe y B) de los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.

1.4. Justificación de la investigación

- a) A pesar de ser el cultivo con mayor superficie sembrada en nuestro país, la producción actual de maíz no abastece la demanda requerida debido a los bajos rendimientos causados por la baja fertilidad de suelos, mala aplicación de labores agronómicas, genotipo de maíz utilizado, etc. Estos aspectos son de gran importancia debido a la mayor presión por producir más alimentos para la población que va en incremento, mientras disminuye la tierra destinada para las actividades agrícolas. Por ello, esta investigación se realizará para evaluar la partición de materia seca y determinar la cantidad de micronutrientes de tres genotipos de maíz y se justifica desde los siguientes aspectos:
- b) **Aspecto teórico:** permitió la búsqueda de información sobre el rendimiento productivo del maíz a través de su biomasa expresada en peso seco en las diferentes partes de la planta (raíz, tallo, hoja y grano) así como la cantidad de micronutrientes presentes (Zn, Cu, Mn, Fe y B).

- c) **Aspecto práctico:** determinar la materia seca y micronutrientes en tres distintos genotipos de maíz cultivados en Huaura, permitió evaluar el comportamiento de cada genotipo en un mismo ambiente y realizar la selección del híbrido con fundamento.
- d) **Aspecto metodológico:** los resultados obtenidos se brindan para fortalecer los criterios de selección del híbrido de maíz bajo las condiciones de Huaura. Finalmente, esta investigación será una guía para investigaciones posteriores en temas relacionados, ya que se evidencia la escasez de investigaciones de este tipo a nivel nacional.

1.5. Delimitaciones del estudio

- **Delimitación temporal:** Esta investigación se realizó en un periodo de 10 meses.
- **Delimitación espacial:** Se desarrolló en el distrito de Ruquia, provincia de Huaura, región Lima.
- **Delimitación de la unidad de estudio:** Los datos fueron recolectados de las parcelas experimentales instaladas en Ruquia, Huaura.
- **Delimitación conceptual:** Se abordaron las bases teóricas sobre rendimiento productivo, producción de biomasa, distribución de materia seca y contenido nutricional de los genotipos de maíz.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Reta et al. (2007) con la investigación “Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos” se plantearon el objetivo de determinar el efecto de la distancia entre surcos sobre el rendimiento de materia seca y cantidad acumulada de N, P y K en maíz cv. 3025W. Esta investigación se realizó en México, se evaluaron 4 tratamientos según la distancia entre surcos (DS): 38, 50 y 76 cm con plantación a hilera sencilla y camas de 105 cm a doble hilera, con una densidad de 11.2 plantas m². Se determinó el rendimiento de grano, materia seca total, índice foliar y su distribución en los órganos de la planta, cantidad de N, P y K acumulado en materia seca. El rendimiento de materia seca, índice de área foliar fue mayor para las plantas con DS de 38 y en camas de 105 cm a doble hilera, además se registró un mayor peso del tallo y hoja, es decir la DS afectó significativamente la distribución de materia seca en los órganos de la planta. DS de 38 cm obtuvo plantas con mayor distribución de materia seca en el tallo, hoja y mazorca (447.4, 625.6 y 1399.7 g/m², respectivamente). Las concentraciones de P y K no fueron afectadas por los tratamientos. Concluyen que el mayor rendimiento de materia seca en DS de 38 cm se debe a que hay un mayor índice de área foliar en etapas tempranas, favoreciendo la acumulación en tallos y hojas.

Hu et al. (2010) realizaron la investigación “Response of element distribution of various organs of maize to fertilizer application” con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes en el peso seco de la biomasa y la distribución de elementos N, P, K, Cu, Zn, Fe y Mn del tallo, hoja y semilla de maíz (*Zea mays* L.). Para ello plantearon cinco tratamientos de fertilización: sin fertilizante (CK), fertilizante de nitrógeno fósforo (NP), fertilizante de nitrógeno potasio (NK), fósforo potasio (PK) y fertilizante de nitrógeno fósforo potasio (NPK). Sus resultados mostraron que el peso seco y el contenido en elementos de los distintos órganos del maíz eran diferentes. El contenido de N, K y Fe fue mayor en la hoja, mientras que el mayor contenido de P se encontró en la semilla. Respecto al peso seco, comparado al tratamiento CK, la fertilización aumentó significativamente el peso seco del tallo, hoja y semilla de maíz ($P < 0,05$). Al aplicar NP y NPK el peso seco total de hoja, tallo y semilla fueron superiores a lo obtenido al aplicar NK y PK. Al aplicar

fertilizantes la relación entre semilla y planta entera, así como la relación entre semilla, tallo y hoja fueron significativamente superiores a CK, y las diferencias entre los distintos tratamientos fertilizantes no fueron significativas. Concluyeron que el peso seco y la distribución de elementos en varios órganos del maíz en estado maduro fueron diferentes.

En Colombia Pérez et al. (2013) desarrollaron el estudio “Acumulación y distribución de fitomasa en el asocio de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)” con el objetivo de determinar la acumulación y distribución de fitomasa de maíz y frijol asociados, respecto a sus unicultivos. Las variedades de frijol fueron Bola roja comercial (FBR), Cargamanto rojo (FC) y Élite bola roja (FBE), la variedad de maíz fue de grano blanco (M). Los tratamientos fueron 3 asociaciones: MxFBR, MxFC, MxFBE) y 4 unicultivos de maíz y frijol. Se evaluó el peso seco de las partes de la planta. Los resultados demostraron que los pesos secos de hojas, tallo, mazorcas y panícula del maíz, se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0,001$). El peso seco de hojas en M superó a la asociación MxFBE cuando el maíz estaba en floración y llenado de granos, pero fue menor en la etapa de desarrollo de hojas y alargamiento del tallo. La materia seca de la mazorca de M fue mayor a las asociaciones MxFC y MxFBR. Respecto a la panícula, durante la emergencia, el peso seco fue inferior en MxFBE y superior en el llenado de granos. En conclusión: en maíz asociado con frijol, todas las variables de materia seca disminuyeron.

Por otro lado, en México, Orozco-Vidal et al. (2016) con su investigación “Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz” tuvieron como objetivo determinar la dinámica de crecimiento y la eficiencia de producción y distribución de biomasa en un híbrido de maíz forrajero (HT9019Y) fertilizado con dos fuentes de nitrógeno. Plantearon cuatro fechas de evaluación 20, 40, 60 y 80 días después de la siembra (dds) para las plantas fertilizado con N tradicional y de lenta liberación (Entec) bajo un diseño de bloques completamente al azar. El peso seco total de las hojas fue superior con la fuente tradicional (12.8 gm^{-2}) comparado a Entec (12.0 gm^{-2}) a los 20 dds, el mismo panorama se repite a los 40 dds con 88.2 gm^{-2} para la fuente tradicional y 87.8 gm^{-2} para Entec. A los 60 y 80 días se reportó un mayor peso en Entec. Por parte del tallo, el peso seco total a los 20 dds fue mayor para la fuente tradicional (5.86 gm^{-2}), mientras que a los 40, 60 y 80 días, la fuente Entec superó a la tradicional. En conclusión, la fuente de N influyó en los procesos metabólicos del maíz favoreciendo la fotosíntesis y la distribución de biomasa y el crecimiento.

Recientemente, Vásconez et al. (2021) realizaron la investigación “Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador”. El objetivo de este trabajo fue evaluar la distribución de biomasa y la absorción de nutrientes en tres híbridos de maíz: UTEQ-101 y DK-7508 (híbridos modernos) y INIAP-H551). El diseño utilizado fue de bloques completos aleatorizados para determinar la distribución de la biomasa en el tallo, hojas y mazorca, así como la absorción de nutrientes a la cosecha. A los 20 días luego de la emergencia, no hubo diferencias significativas para la acumulación de biomasa en el tallo con un promedio de 28 g MS m⁻². La máxima acumulación de biomasa en el tallo fue a los 40 días para UTEQ-101 (685 g MS m⁻²) e INIAP-H551 (612 g MS m⁻²), y 60 días para el DK-7508 (672 g MS m⁻²), después de 100 días el DK-7508 fue el mejor híbrido. Para el caso de las hojas, la máxima acumulación fue lograda a los 40 días por UTEQ-101 e INIAP-5551 (410 y 420 MS m⁻²) y a los 60 días para DK-7508 con 413 g MS m⁻²). Para el caso de la mazorca, el INIAP-H551 alcanzó la máxima acumulación con 722 413 g MS m⁻² que superaron significativamente a los otros híbridos. Finalmente concluyen que el rendimiento en granos es mayor en los híbridos modernos comparado al antiguo, además de tener mayor absorción de N, K, Ca y Mg.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Aguirre y Alegre (2015), en Cañete realizaron la investigación: “Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: rendimiento y extracción de N, P Y K”. El objetivo fue comparar el uso de harina de cuernos y pezuñas (HCP), y de residuos hidrolizados (RH) de la industria pesquera en la fertilización del maíz. Para ello, bajo un diseño experimental se sembró maíz de la variedad “Santa Elena 5070”, formularon 6 tratamientos: T1: fertilización completa NPK min (00-100-70) + urea (46 % N), T2: fertilización completa + HCP, T3: RHP (50 l/ha), T4: fertilización completa + RHP, T5: fertilización sin nitrógeno (0-100-70) y, T6: control (0-0-0). Los resultados sobre el rendimiento en materia seca de rastrojo y grano en los tratamientos con fertilización completa (T1, T2 y T4) superó a lo obtenido por los tratamientos T3, T5 y T6. El mayor rendimiento fue para el T2 con 9308 y 10271 kg/ha de materia seca de rastrojo y grano, respectivamente. Por otro lado, la contribución de cada parte de la planta de maíz, la espiga representó el 1.54 % de la materia seca total, las hojas 14.9 %; los tallos 16.9 %; las brácteas que rodean la mazorca 7.5 %; la tusa 8.2 %, y el grano 51%. La concentración de N y P fue mayor en el grano y panoja, mientras que el K se encontró en mayor concentración en el

tallo y hojas, siendo menor en el grano. Respecto a la extracción de nutrientes, se obtuvo mayor extracción de N, P y K en el siguiente orden grano > hojas > tallo > tusa > brácteas > panoja. Se extrajo un total de 134.49, 36.57 y 42.69 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente en el grano. Los autores concluyen que bajo las condiciones en las que se realizó el experimento, la HCP mostró la misma acción fertilizante que la urea, mientras que el RHP, tiene muy bajo impacto a los niveles utilizados.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Generalidades del maíz

Origen y evolución

El maíz es considerado como uno de los cultivos más antiguos, esta planta fue cultivada entre 7000 y 10 000 años (Paliwaal, 2001; Briceño, 2022) y aún en la actualidad existen varias teorías sobre su lugar de origen. Entre estas teorías se puede mencionar la del origen asiático que indica como centro de origen el Himalaya, sin embargo, esta teoría no es muy aceptada por la falta de evidencias. Otra teoría indica un origen andino, entre las zonas de Bolivia, Ecuador y Perú debido a la gran variedad de maíz que existe, sobre todo en Perú (Paliwal, 2001), además otros estudios han reportado al maíz más antiguo en el valle de Casma y Ayacucho. La teoría más aceptada es la del origen mexicano debido a la variedad de maíz que existe y de los hallazgos arqueológicos (polen fósil y restos de mazorcas) con más de 5000 años de antigüedad.

Respecto al antecesor del maíz, algunos indican que el maíz actual (*Zea mays L.*) proviene de un maíz silvestre ya extinto. Por otro lado, otra hipótesis sostiene que el maíz deriva del teosinte (*Zea mays ssp. parviglumis*) debido a las semejanzas entre ambos que ha permitido cruzamientos entre estos.

Clasificación

El maíz se clasifica dentro del sub reino *Tracheophyta* ya que es una planta vascular (posee vasos que conducen los fluidos). Por otro lado, en la super división *Spermatophyta* o fanerógamas, porque producen semillas y en la división *Magnoliophyta* porque producen flores. El maíz es una planta del orden *Cyperales* y pertenece a la familia *Poaceas* por

presentar granos, y Andropogoneae, por ser una C4 y fijar carbono mediante cuatro vías o de Hatch Slack. La siguiente tabla muestra la clasificación taxonómica del maíz.

Tabla 1
Clasificación taxonómica del maíz

Reino	<i>Plantae</i>
Sub reino	<i>Tracheophyta</i>
Super división	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Zea</i> L.
Especie	<i>Zea mays</i> L.

Fuente: USDA (2023b)



Figura 1: Partes del maíz. Adaptado de dreamstime.com ID 146539840

Características morfológicas del maíz

El maíz es una planta anual, monocotiledónea, monoica y posee estructuras morfológicas bien desarrolladas que cumplen funciones biológicas y fisiológicas distintas y especializadas. El maíz presenta órganos de floración masculina (panoja) y femenina (mazorca) en la misma planta (Awata et al., 2019). La panoja se ubica en la zona apical del tallo y la mazorca en la zona media de la planta (Figura 1).

- **Raíz:** el maíz presenta un sistema radicular formado por dos tipos de raíz, las seminales y las adventicias. Las raíces seminales nacen de las semillas en la germinación, son las primeras en romper el pericarpio su crecimiento inicial es horizontal y luego hacia abajo, este tipo de raíz es muy importante en las primeras etapas de la planta hasta el establecimiento de las raíces adventicias. Por otro lado, las raíces adventicias nacen de los primeros entrenudos del tallo, tienen forma de cono invertido (Figura 2) y permiten un anclaje en el suelo y brindar resistencia al tumbado (INIA, 2020a). Estas raíces se encuentran a 1.5 m de forma lateral y hasta 2 m de profundidad (Espinoza y Ross, 2010; Awata et al., 2019)
- **Tallo:** es un órgano cilíndrico y hueco que cumple la función de soporte, transporte y almacenamiento de nutrientes para la planta. Formado por nudos y entrenudos que se forman en la etapa inicial de crecimiento y desarrollo de la plántula (INIA, 2020a).
- **Hojas:** nacen de las yemas que se encuentran ubicadas en los nudos, su arreglo es alterno y su número depende de la variedad. En el maíz amiláceo las hojas tienen forma alargada, lanceoladas y onduladas a diferencia de las hojas del maíz amarillo duro que son rígidas y semi erectas (INIA, 2020b).
- **Granos:** son frutos llamados cariósides, se insertan en la tusa. Está formado por una cáscara o pericarpio, endospermo y embrión (Figura 2). El pericarpio cumple una función protectora y representa entre el 5 y 6 % del peso de la semilla. El endospermo el 80 - 85 % y está formado por almidón (88%) y proteínas (8%). La aleurona es una capa de proteína que ayuda al embrión durante la germinación. El embrión está formado por un tallo embrional y la radícula, representa el 12 % del grano.

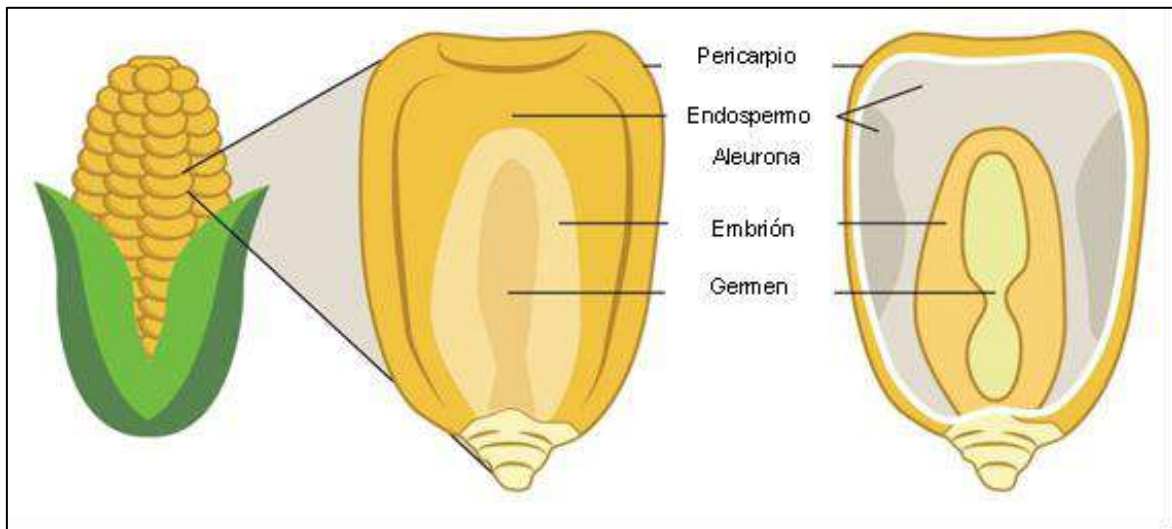


Figura 2: Partes del grano. Adaptado de Orchardson (2020). *Granos enteros*.

Requerimiento de nutrientes

El rendimiento del maíz depende de la disponibilidad de nutrientes en etapas donde el requerimiento es mayor para lograr un buen crecimiento, desarrollo y mayor número de granos. Estos nutrientes cumplen diversas funciones estructurales, de transporte y regulación en procesos fisiológicos como activadores enzimáticos (Castellanos, 2013).

Los nutrientes se pueden clasificar según las necesidades del cultivo como:

- Nutrientes principales: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K). El nitrógeno influye en maximizar el crecimiento y contenido de materia seca. El fósforo es importante en etapas tempranas para estimular el desarrollo de brotes, mientras que el potasio se utiliza en las hojas y el tallo (Yara, 2024).
- Nutrientes secundarios: Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), se requieren en menores cantidades y son necesarios para obtener buenos rendimientos a la cosecha.
- Micronutrientes: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu). Se requieren en cantidades pequeñas, pero son indispensables ya que la deficiencia o excesos influye negativamente en el óptimo desarrollo del cultivo.

Estos nutrientes son requeridos en diferentes cantidades según el cultivo, la Tabla 2 presentan los requerimientos de nutrientes principales y secundarios (macronutrientes). La Tabla 3 muestra los requerimientos de micronutrientes.

Tabla 2

Requerimiento de macronutrientes en el maíz

Macronutriente	Requerimiento (kg/t)
Nitrógeno (N)	22
Fósforo (P)	4
Potasio (K)	19
Calcio (Ca)	3
Magnesio (Mg)	3
Azufre (S)	4

Fuente: Adaptado de García (2005). *Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz*

Tabla 3

Requerimiento de macronutrientes en el maíz.

Micronutriente	Requerimiento (g/t)
Zinc (Zn)	53
Cobre (Cu)	13
Manganeso (Mn)	189
Hierro (Fe)	125
Boro (B)	20

Fuente: Adaptado de García (2005). *Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz*

- Zinc: Se absorbe por la raíz y hojas como ion, participa en la síntesis de hormonas de crecimiento vegetal (Castellanos, 2013). El maíz es susceptible a la deficiencia de este elemento, incrementa el rendimiento productivo del maíz en un 10% y es considerado un nutriente limitante (Kioshi Stone, 2021).
- Cobre (Cu): es absorbido como ion (Cu^{2+}), participa activando enzimas. Su exceso resultaría tóxico para la planta. (Castellanos, 2013).
- Manganeso (Mn): se absorbe como ion manganeso (Mn^{2+}), participa en la formación de clorofila y actúa como catalizador. (Castellanos, 2013).

- Hierro: es absorbido en las raíces como ion ferroso (Fe^{2+}) y cumple funciones catalizadoras (Castellanos, 2013).
- Boro (B): se utiliza en las plantas como ácido bórico (H_3BO_3) y participa estabilizando los complejos del calcio.

Extracción de nutrientes en el cultivo

La extracción de nutrientes hace referencia al total de nutrientes que se encuentran en los órganos que se cosechan (grano, forraje, etc). Los análisis de extracción de nutrientes permiten obtener información para calcular las dosis de fertilizantes que se debe aplicar al cultivo. La fertilización de los cultivos considerando la absorción de nutrientes implica “reponer” todos los nutrientes que fueron utilizados por la planta y que están en todas sus partes, así no sean cosechables. La Figura 3 muestra como ejemplo la absorción de micronutrientes en kg por tonelada de grano de maíz.

Por otro lado, el método de fertilización que se usa comúnmente es considerar la extracción de nutrientes, es decir, sólo “reponer” los nutrientes que están en las partes cosechables, los cuales ya no regresan al suelo y por lo tanto no se pueden volverá utilizar (Ciampitti y García, 2008). La Figura 4 muestra la extracción de micronutrientes en g por tonelada de grano de maíz.

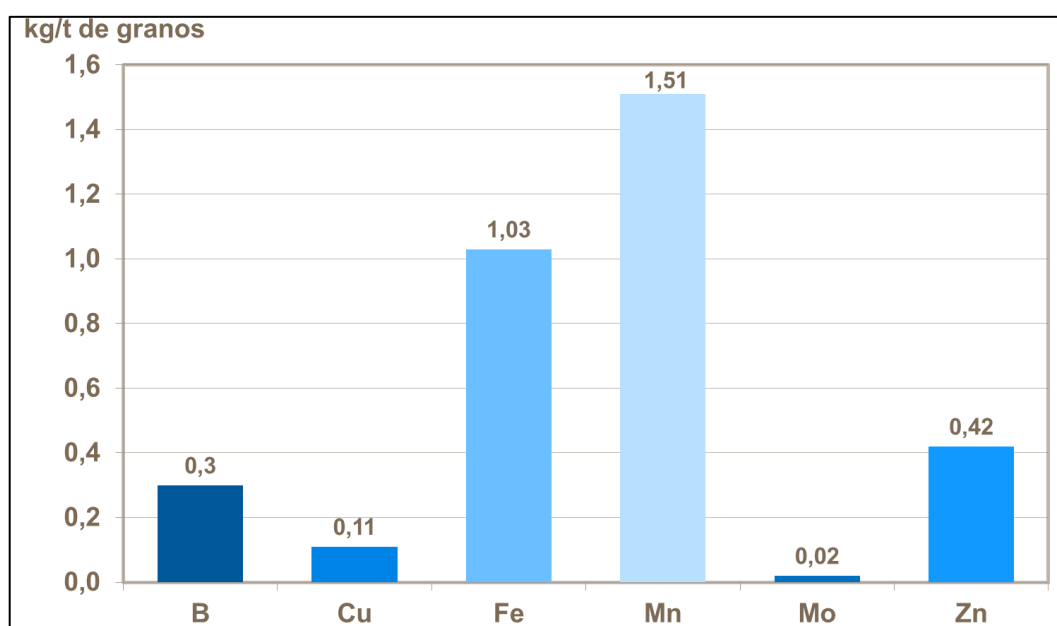


Figura 3: Absorción de micronutrientes. Tomado de Yara (2024). *Resumen nutricional del maíz*.

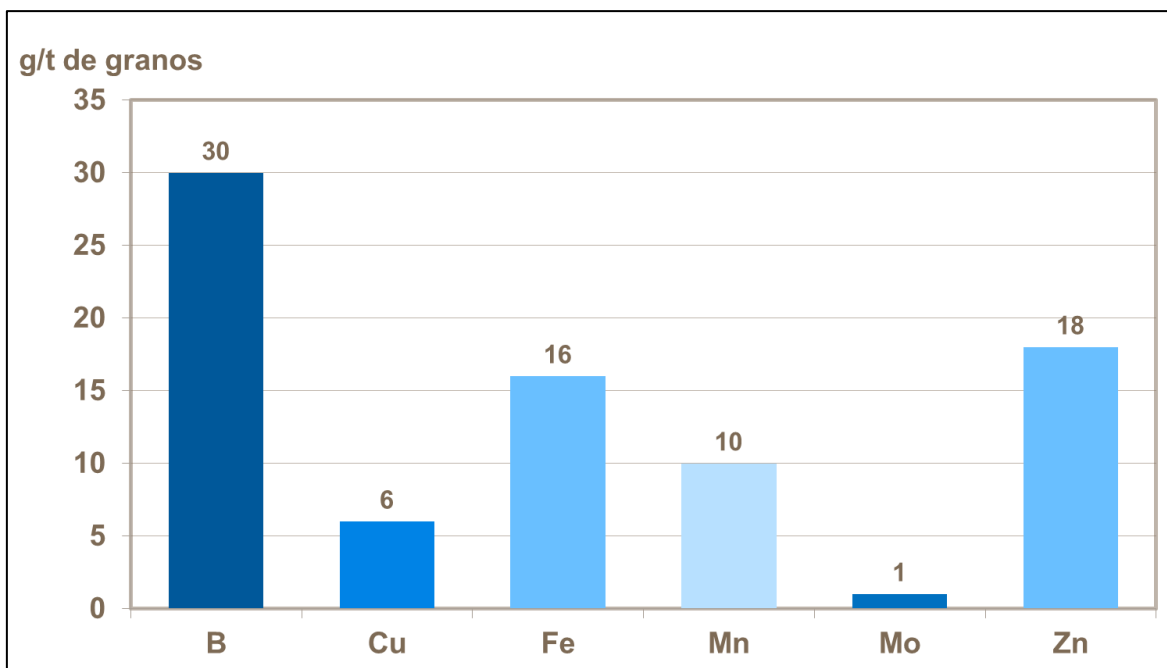


Figura 4: Extracción de micronutrientes. Tomado de Yara (2024). *Resumen nutricional del maíz.*

2.2.2 Híbridos de maíz

- ✓ **ARG 8700T:** Híbrido de maíz de tipo tropical, de porte alto (2.80 – 3.05 m), excelente como forraje y grano. La raíz y tallo son resistentes, la mazorca es de forma cónica y los granos color naranja (Argenetics, 2023).
- ✓ **Marginal 28T:** Variedad de maíz amarillo duro desarrollada por el Programa Nacional de Investigación en Maíz y Arroz del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA, 2005). Es de tipo tropical, tolera a la sequía. Puede llegar a una altura de 2.0 a 2.2 m. Su mazorca es de forma cilíndrica y/o cónica, los granos pueden ser de color amarillo rojizo, con ligera capa crema (MIDAGRI, 2016).
- ✓ **SV 3243:** Híbrido de maíz con una altura de 2.9 m. El grano es semi cristalino amarillo rojizo (Semillas Valle, 2023).

Tabla 4
Características del maíz genotipo ARG 8700T

Genotipo	Características de la planta	Características de la mazorca	Recomendaciones de siembra	Imagen de referencia
ARG 8700T Finalidad para grano y forraje: excelente	Altura de Planta (cm): 280 – 305 cm. Altura de Mazorca (cm): 130- 140 cm. Arquitectura: Semi-Erecto Color: Verde Oscuro Días de emergencia a floración: 62 – 82 Estabilidad: Excelente Tolerancia a Enfermedades: Alta Tallo y raíz resistentes (Argenetics, 2023).	Forma: Cónica N° de Hileras: 16 – 18 Desgrane: Excelente Cobertura: Muy buena Tamaño: Grande Prolificidad: 1.1 Índice de desgrane: 85% Grano color: Anaranjado Textura: Semi-cristalino (Argenetics, 2023).	Densidad siembra: 64,000/66,000 Temporada siembra: verano / invierno Respuesta a baja temperatura: Muy Alta Estabilidad: Muy Buena (Argenetics, 2023).	

Tabla 5
Características del maíz genotipo Marginal 28T

Genotipo	Características de la planta	Características de la mazorca	Recomendaciones de siembra	Imagen de referencia
Marginal 28T	Altura de Planta (cm): 200 – 220 cm.	Forma: Cilíndrica y/o cónica	Densidad siembra: 25 kg de semilla/ha	
	Altura de Mazorca (cm): 100- 110 cm.	N° de Hileras: 14 – 18	Distancia entre surcos: 0.80 m	
	Arquitectura: Erecto	Color de olote: blanco	Distancia entre golpes: 0.50 entre	
	Color: Verde Claro	Color de grano: Amarillo rojizo, con ligera capa crema	Colocar 3 semillas por golpe, al deshije dejar 2 plantas/golpe.	
	Días de emergencia a floración: 58 – 60	Tamaño del grano: 11,8 mm	(MIDAGRI, 2016)	
	Resistente al acame, sequía, roya y el carbón.	Forma del grano: Plana, mediana y alargada.		
	(MIDAGRI, 2016)	(MIDAGRI, 2016)		

Tabla 6
Características del maíz genotipo SV 3243

Genotipo	Características de la planta	Características de la mazorca	Recomendaciones de siembra	Imagen de referencia
SV 3243 Alto potencial de rendimiento Tolerante al volcamiento Gran estabilidad en rendimiento (Semillas Valle, 2023).	Altura de Planta (cm): 245 – 255 cm. Altura de Mazorca (cm): 120- 130 cm. Arquitectura: Semi-Erecto Color: Verde Oscuro Días de emergencia a floración: 60 – 70 Muy tolerante a enfermedades. (Semillas Valle, 2023).	Forma: Cilíndrica N° de Hileras: 14 – 16 Cobertura: Muy buena Grano color: Amarillo rojizo Textura de grano: Semi-cristalino (Semillas Valle, 2023).	Densidad siembra: 65000 a 7000 plantas/ha 6 a 7 plantas/m Distancia entre surcos: 0.80 a 0.90 m Colocar 1 a 2 semillas por golpe (Semillas Valle, 2023).	

2.3. Definiciones de términos básicos

Absorción: proceso de intercambio de iones en el tejido de la raíz, sobre la superficie de los pelos radiculares y la solución del suelo, los nutrientes del suelo que están disueltos en agua son disponibles para la planta (Agroproductores, 2018). Asimismo, el término hace referencia a la cantidad total de nutrientes que la planta absorbió en su ciclo de desarrollo (Ciampitti y García, 2008).

Extracción: Según Ciampitti y García (2008) es la cantidad total de nutrientes presentes en los órganos cosechados de la planta (grano, forraje u otros).

Fertilización: proceso por el cual se aporta nutrientes al suelo en según el tipo y etapa de desarrollo del cultivo para que logre el máximo rendimiento productivo, en cantidad y en calidad.

Genotipo: Es el conjunto de genes que posee un individuo en particular, con sus variantes determinadas para cada gen, es decir, con sus propias diferencias en la secuencia de ADN.

Grano: Es el tipo de fruto y semilla de las gramíneas o cereales. En el maíz son las cariósides que crecen a lo largo de una mazorca, pueden variar en número, tamaño y color, dependiendo de la especie.

Híbrido: es la descendencia que resulta del cruzamiento de dos variedades o especies genéticamente diferentes. Los híbridos pueden mostrar heterosis, es decir, la superioridad genética de la descendencia respecto al promedio de los padres para la característica como rendimiento por hectárea.

Maíz: Es una gramínea que se caracteriza por tener tallos largos y macizos, al final de los cuales se desarrollan espigas o mazorcas (inflorescencia masculina o femenina), con sus semillas o granos de maíz. Sus hojas son lanceoladas, largas y finas. (Enciclopedia Humanidades, 2023)

Materia seca: Es la porción resultante después de extraer el agua a una muestra de forraje fresco (materia verde).

Mazorca: Es la inflorescencia femenina del maíz. Son espigas cilíndricas que poseen ovarios en los que el polen germina, produciéndose así las semillas o granos.

Micronutriente: elementos que se requieren en menores cantidades por los cultivos y son necesarios para el adecuado desarrollo de las plantas ya que cumplen funciones importantes. Los micronutrientes principales son el zinc, hierro, cobre, manganeso, molibdeno y boro (Rodríguez, 2014).

ppm: partes por millón, unidad de medida utilizada para expresar la concentración de aquellas soluciones que contienen pequeñas cantidades de soluto (menor a 1 gramo).

Remoción: sinónimo de remover, destituir.

Rendimiento: Es la relación de la producción total de un cultivo cosechado por unidad de superficie (hectárea de terreno utilizada) y se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

Existe diferencias en la partición de materia seca en las partes de la planta y la extracción de micronutrientes de los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Existen diferencias en la partición de materia seca en la raíz, tallo, hoja y granos en los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.
- Existen diferencias en la extracción de micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe y B) de los genotipos de maíz ARG 8700 T, Marginal 28T y SV 3243 cultivados en la provincia de Huaura.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 7

Operacionalización de las variables

Concepto	Dimensión	Variables	Indicadores
Materia seca y extracción de nutrientes	Materia seca	Follaje	t ha ⁻¹
		Tallo	t ha ⁻¹
		Raíz	t ha ⁻¹
		Grano	t ha ⁻¹
	Concentración en follaje, tallos, raíces y granos	Zn	ppm
		Cu	ppm
		Mn	ppm
		Fe	ppm
		B	ppm
	Extracción en follaje, tallos, raíces y granos	Zn	g ha ⁻¹
		Cu	g ha ⁻¹
		Mn	g ha ⁻¹
		Fe	g ha ⁻¹
		B	g ha ⁻¹
	Extracción de micronutrientes por tonelada de grano	Zn	g t ⁻¹
		Cu	g t ⁻¹
		Mn	g t ⁻¹
		Fe	g t ⁻¹
		B	g t ⁻¹

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1. Gestión del experimento

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Huaura, en el distrito de Végueta, centro poblado Ruquia, localizada a una Latitud de -11.0425 y Longitud -77.6367, durante los meses de setiembre a diciembre del 2022.

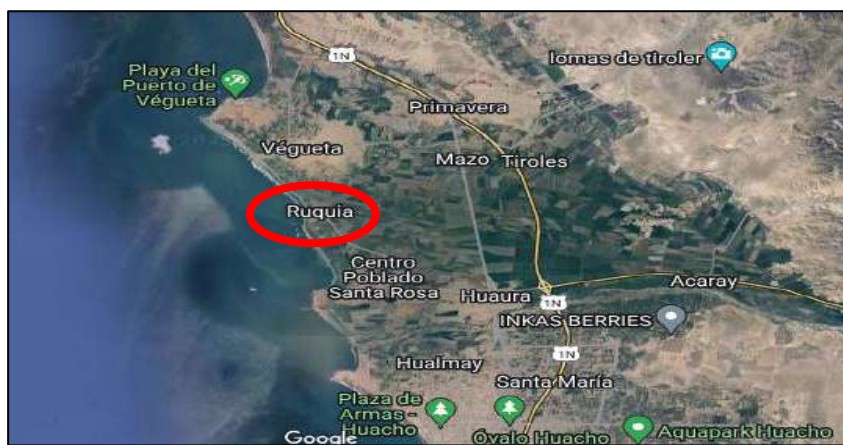


Figura 1. Mapa del distrito de Végueta, Huaura, Lima.

Fuente: Google maps (2023)

3.1.2. Características del área experimental

Características de la unidad experimental

Ancho	: 3,00 m
Largo	: 4,20 m
Numero de surcos	: 04
Distancia entre surcos	: 0,75 m
Distancia entre golpes	: 0,35 m
Semillas por golpe a la siembra	: 3
Área	: 12,60 m ²

- Características del Bloque

Largo	: 9,00 m
Ancho	: 4,20 m
Área del bloque	: 37,80 m ²
Numero de bloques	: 3

Área neta del experimento: 113,40 m²

Área bruta del experimento (11 x 16,60): 182,60 m²

3.1.3. Tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tabla 8

Genotipos de maíz

Nº	Tratamiento	Descripción
T1	ARG 8700 T	Híbrido Simple Modificado
T2	Marginal 28T	Variedad Tropical
T3	SV 3243	Híbrido Colocho o Pura Sangre

3.1.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar - DBCA (Mendoza y Bautista, 2002), cuyo modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental

u = Efecto de la media

T_i = Efecto del i – ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j – ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental de la unidad experimental

Tabla 9
Análisis de varianza

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calc.
Bloques	2	SCB	CMB	CMB/CME
Tratamiento	2	SCT	CMT	CMT/CME
Error Experimental	4	SCE	CME	
Total	8			

3.1.5. Variables a evaluar

Durante la cosecha, por cada unidad experimental se eligieron al azar 10 plantas de los dos surcos centrales. Luego se procedió a separar por órganos formados: follaje, tallos, granos y raíces, las que posteriormente fueron colocadas dentro de bolsas de papel Kraft y codificadas y llevados a la estufa para su secado a 70°C por 72 horas, hasta alcanzar peso contante. Luego de ello, las muestras se enviaron al Laboratorio de análisis foliar de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el análisis de los siguientes micronutrientes:

- a) Zinc (Zn)
- b) Cobre (Cu)
- c) Manganeseo (Mn)
- d) Hierro (Fe)
- e) Boro (B)

A partir de la información recibida se analizaron:

- a) Concentración de micronutrientes en el follaje, tallos, raíces y granos (Información de resultados de laboratorio).
- b) La extracción de los micronutrientes en el follaje, tallos, raíces y granos.

Procedimiento para calcular la extracción de un micronutriente (MN).

$$MN \text{ (g ha}^{-1}\text{)} = \text{peso de follaje (t ha}^{-1}\text{)} * \text{ppm (g t}^{-1}\text{)} + \text{peso de tallo (t ha}^{-1}\text{)} * \text{ppm (g t}^{-1}\text{)} + \text{peso de raíces (t ha}^{-1}\text{)} * \text{ppm (g t}^{-1}\text{)} + \text{peso de granos (t ha}^{-1}\text{)} * \text{ppm (g t}^{-1}\text{)}$$

$$MN \text{ (g ha}^{-1}\text{)} = (6 \text{ t ha}^{-1}) (20 \text{ g t}^{-1}) + (8 \text{ t ha}^{-1}) (10 \text{ g t}^{-1}) + (2 \text{ t ha}^{-1}) (10 \text{ g t}^{-1}) + (10 \text{ t ha}^{-1}) (15 \text{ g t}^{-1})$$

$$MN \text{ (g ha}^{-1}\text{)} = 120 \text{ g ha}^{-1} + 80 \text{ g ha}^{-1} + 20 \text{ g ha}^{-1} + 150 \text{ g ha}^{-1}$$

$$\text{MN (g ha}^{-1}\text{)} = 370$$

- c) La extracción de los micronutrientes por cada tonelada de grano comercial (14% de humedad) producido. Para la obtención de este valor, se dividió el total absorbido de cada micronutriente entre el rendimiento.

3.1.6. Conducción del experimento

Análisis de suelo: Se realizó un análisis de suelo previo a la siembra del cultivo, para establecer el tipo de suelo y la fertilización requerida. Se recolectaron 10 submuestras, recorriendo el área establecida en zigzag. Para el muestreo se hizo una excavación de 20 cm de profundidad en forma de “V” con la pala. Las submuestras se juntaron para homogenizarlas y extraer una muestra representativa de 1 kg aproximadamente que fue enviada a laboratorio.

Preparación del terreno: Se siguió el manejo comercial del cultivo.

Siembra: se realizó plantando tres semillas por golpe.

Fertilización: se aplicó a los 15 días después de la siembra con la fórmula 100-100-100 de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. Las fuentes fueron urea, FDA y cloruro de potasio. A los 45 días se hizo el segundo abonamiento con 100-0-0 de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente, se aplicó solo urea.

Riego: se realizó un riego por gravedad bajo un sistema de surcos.

3.2. Técnicas para el procedimiento de la información

- Los datos de campo se registraron en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico InfoStat.
- Para el análisis de varianza (Tabla 9) se utilizó la prueba F al 5% de probabilidad, y la comparación de medias se realizará mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Partición de la materia seca

En el análisis de varianza presentado para la partición de materia seca en los tres genotipos de maíz evaluados, Tabla 10, resulta evidente que existen diferencias genéticas significativas en la acumulación de biomasa dependiendo del órgano considerado. En particular, la materia seca del follaje mostró diferencias altamente significativas entre genotipos, lo que indica que cada genotipo asigna distinto volumen de biomasa al follaje. Asimismo, en el tallo se detectaron diferencias significativas, aunque de menor magnitud. En contraste, la materia seca en raíz y en grano no difirieron significativamente entre los genotipos evaluados —lo que apunta a una distribución similar de biomasa en esos órganos bajo las condiciones del experimento.

Cuando se considera la planta en su totalidad (peso total de materia seca por planta), nuevamente se observan diferencias altamente significativas entre genotipos, lo que indica que las combinaciones distintas de distribución foliar, tallar y posiblemente otros órganos resultan en rendimientos totales diferentes entre variedades. En términos agronómicos, esto sugiere que algunos genotipos tienen mayor vigor vegetativo global, lo que podría influir en su potencial productivo o en su capacidad para capturar recursos (agua, luz, nutrientes) de forma más eficiente.

Con respecto al coeficiente de variación, los valores se ubicaron entre 3,88 % y 10,21 % dependiendo de la variable, lo cual es considerado como aceptable para experimentos agrícolas, lo que respalda la confiabilidad de las diferencias observadas entre genotipos y su interpretación (Romaina, 2012).

Tabla 10

Análisis de varianza para la partición de la materia seca (kg ha^{-1}) según tejido en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Follaje	Tallo	Raíz	Grano	Peso total
Genotipo	2	1686419,25 **	1350190,64 *	50364,7 *	1282095,3 ns	10382433,21 **
Bloque	2	423705,19 **	518664,87 ns	34611,84 ns	135140,31*	3596821,59 *
Error	4	138973,24	211840,85	9411,63	160975,46	625501,1
Total	8					
CV (%)		6,42	10,21	9,17	4,45	3,88
Promedio		5809,34	4510,00	1057,79	9022,15	20399,28

ns: no significativo; *: significativo al 0,05; **: significativo al 0,01 de probabilidad

Con respecto a la comparación de medias, Tabla 11, los resultados de la comparación muestran que existen diferencias significativas en la acumulación de materia seca entre los tres genotipos de maíz amarillo evaluados, principalmente en el follaje y el peso total de la planta, mientras que en raíz y grano las diferencias no son estadísticamente significativas.

El genotipo ARG 8700 T presentó los valores más altos en casi todas las fracciones de la planta, destacando especialmente en follaje ($6553,44 \text{ kg ha}^{-1}$) y peso total ($22\ 259,51 \text{ kg ha}^{-1}$), donde difirió significativamente de los otros genotipos.

El genotipo SV 3243 mostró los valores más bajos de materia seca en la mayoría de los órganos, particularmente en follaje y tallo, con $5516,91 \text{ kg ha}^{-1}$ y $3903,47 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente. Esto indica una menor eficiencia en la acumulación de biomasa estructural, lo cual puede deberse a diferencias genéticas en su tasa de crecimiento o adaptación al entorno local.

Por su parte, Marginal 28T presentó valores intermedios, sin diferir significativamente de los otros genotipos en la mayoría de los tejidos, salvo en el follaje, donde se ubicó en el mismo grupo estadístico que SV 3243. Este comportamiento sugiere una respuesta estable o equilibrada en la distribución de materia seca, aunque con menor potencial productivo que ARG 8700 T.

En cuanto a la materia seca del grano, aunque ARG 8700 T alcanzó el valor más alto ($9521,5 \text{ kg ha}^{-1}$) y fue superior al Marginal 28T. Con respecto al peso total, destacó el genotipo ARG 8700T, superando significativamente a los otros genotipos.

Tabla 11

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la producción de la materia seca (kg ha^{-1}) según tejido en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Follaje	Tallo	Raíz	Grano	Peso total
..... kg ha^{-1}					
ARG 8700 T	6553,44 a	5061,54 a	1123,03 a	9521,5 a	22259,51 a
SV 3243	5516,91 b	3903,47 b	928,22 a	9137,88 ab	19486,47 b
Marginal 28T	5357,67 b	4565,01 ab	1122,12 a	8407,09 b	19451,88 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2 Concentración de micronutrientes

4.2.1 Follaje

En el análisis de varianza realizado para la concentración de micronutrientes en el follaje de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 12, se observaron diferencias estadísticas significativas en varios elementos, lo que evidencia la existencia de variabilidad genética en la capacidad de absorción y acumulación de nutrientes esenciales. Así, los resultados mostraron que los genotipos difirieron significativamente en la concentración de zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B), mientras que en el caso del cobre (Cu) no se encontraron diferencias significativas.

En cuanto a la precisión experimental, los valores del coeficiente de variación (CV) oscilaron entre 7,7 % y 21,0 %, lo cual se considera aceptable para ensayos agrícolas, de acuerdo con los criterios establecidos por Romaina (2012), que sostiene que valores inferiores al 10 % representan alta precisión y aquellos entre 10 % y 20 % son moderadamente precisos. En consecuencia, la variabilidad observada puede considerarse baja a media, lo que otorga confiabilidad a los resultados obtenidos.

Tabla 12.

Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en el follaje en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	0,53 *	0,07 **	4,42 *	4507,44 **	6,76 *
Bloque	2	0,04 ns	0,07 **	2,71 ns	742,2 ns	1,42 ns
Error	4	0,04	3,10 E-03	0,47	222,12	0,89
Total	8					
CV (%)		14,99	7,7	18,08	21,03	10,91
Promedio		1,37	0,72	3,78	70,87	8,65

ns: no significativo; *: significativo al 0,05; **: significativo al 0,01 de probabilidad

En la comparación de medias de Tukey al 5 % para la concentración de micronutrientes en el follaje de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 13, se observó una clara diferencia en la acumulación de nutrientes esenciales, lo que confirma las tendencias señaladas previamente en el análisis de varianza. Entre los genotipos evaluados, ARG 8700 T presentó las concentraciones más elevadas en todos los micronutrientes analizados —zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B)— destacando significativamente respecto a los demás en la mayoría de los casos. Este comportamiento sugiere que dicho genotipo posee una mayor eficiencia fisiológica en la absorción, transporte y acumulación de micronutrientes, lo cual podría explicarse por una mejor exploración radicular o una mayor capacidad metabólica para mantener la homeostasis de estos elementos en los tejidos foliares.

En particular, la concentración de zinc (1,85 ppm) y hierro (115,60 ppm) en el genotipo ARG 8700 T fue significativamente superior a la de los otros dos genotipos, indicando una notable ventaja en la absorción de estos nutrientes, que desempeñan un papel crucial en la fotosíntesis y la formación de clorofila. Asimismo, la mayor concentración de manganeso (5,18 ppm) y boro (10,25 ppm) en ARG 8700 T refuerza la idea de una mejor eficiencia metabólica, ya que ambos elementos participan en procesos enzimáticos y estructurales fundamentales para el desarrollo foliar y la división celular.

Por otro lado, los genotipos SV 3243 y Marginal 28T mostraron concentraciones significativamente menores de zinc, cobre y hierro, situándose en un grupo estadístico diferente respecto a ARG 8700 T. Aunque entre ellos no se observaron diferencias marcadas en algunos nutrientes, ambos presentaron valores más bajos de manganeso y boro, lo que sugiere una menor capacidad para acumular estos micronutrientes en el follaje.

En términos generales, los resultados de la prueba de Tukey confirman que el genotipo ARG 8700 T sobresale por su mayor concentración de micronutrientes en el follaje, lo que sugiere una mejor adaptación fisiológica a las condiciones del valle de Huaura y una mayor eficiencia nutricional, aspectos que probablemente contribuyeron a su mayor producción de materia seca total. En contraste, los genotipos SV 3243 y Marginal 28T mostraron un comportamiento nutricional más limitado, lo que podría repercutir en un menor crecimiento y productividad.

Tabla 13.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en el follaje en tres genotipos de maíz amarillo.

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 ppm				
ARG 8700 T	1,85 a	0,90 a	5,18 a	115,60 a	10,25 a
SV 3243	1,18 b	0,65 b	2,94 b	46,98 b	8,44 ab
Marginal 28T	1,08 b	0,62 b	3,24 ab	50,05 b	7,27 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2.2. Tallo

En el análisis de varianza correspondiente a la concentración de micronutrientes en el tallo de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 14, se observa que existen diferencias estadísticas significativas únicamente para el cobre (Cu) y el boro (B), mientras que para el zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe) no se detectaron diferencias significativas.

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación (CV) registrados variaron entre 9,30 % y 33,44 %, siendo los valores más altos los correspondientes al zinc. Según los criterios de Romaina (2012) los valores de CV inferiores al 20 % se consideran aceptables en estudios agrícolas, mientras que aquellos que superan este valor reflejan una mayor dispersión de los datos y, por tanto, una menor precisión experimental. En este caso, aunque algunos CV fueron moderadamente altos, los resultados pueden considerarse válidos, especialmente para el cobre y el boro, donde las diferencias entre genotipos fueron estadísticamente significativas y biológicamente coherentes con los patrones observados en otras partes de la planta.

Tabla 14.

Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	0,05 ns	0,003 *	0,01 ns	0,95 ns	0,05 *
Bloque	2	0,01 ns	0,0025 ns	0,01 *	0,66 ns	0,0013 ns
Error	4	0,03	3,70E-04	1,40E-03	0,69	0,01
Total	8					
CV (%)		33,44	18,53	13,00	21,55	9,30
Promedio		0,49	0,10	0,28	3,84	0,79

ns: no significativo; *: significativo al 0,05.

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la concentración de micronutrientes en el tallo de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 15, muestra que las diferencias encontradas en el análisis de varianza se reflejan principalmente en los elementos cobre (Cu) y boro (B), mientras que para zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe) no se registraron diferencias significativas entre genotipos. En general, los valores de concentración de micronutrientes en el tallo fueron bajos, lo cual es consistente con el papel estructural y de soporte de este órgano, que suele acumular menores cantidades de nutrientes en comparación con los tejidos metabólicamente más activos, como el follaje.

El genotipo ARG 8700 T mostró los valores más altos en la mayoría de los micronutrientes, particularmente en cobre (0,12 ppm) y boro (0,91 ppm), destacando significativamente respecto a SV 3243, que presentó los niveles más bajos de cobre (0,07 ppm) y boro (0,83 ppm).

En el caso del boro, aunque las diferencias entre genotipos fueron menos marcadas, los resultados sugieren una tendencia hacia una mayor acumulación en ARG 8700 T, lo que podría favorecer la integridad de las paredes celulares y la movilidad de azúcares dentro de la planta.

Por su parte, los genotipos SV 3243 y Marginal 28T presentaron concentraciones similares para la mayoría de los micronutrientes, sin diferencias significativas con ARG 8700 T en zinc, manganeso y hierro. Este comportamiento indica una distribución equilibrada de estos elementos entre genotipos, lo que concuerda con los resultados del análisis de varianza (Tabla 13), donde estos nutrientes no mostraron efectos significativos del factor genotipo.

Tabla 15.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo.

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 ppm				
ARG 8700 T	0,37 a	0,12 a	0,33 a	4,49 a	0,91 a
SV 3243	0,47 a	0,07 b	0,24 a	3,45 a	0,83 ab
Marginal 28T	0,63 a	0,12 ab	0,28 a	3,60 a	0,64 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2.3 Raíz

El análisis de varianza para la concentración de micronutrientes en la raíz de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 16, revela la existencia de diferencias significativas únicamente para el zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe), mientras que para el cobre (Cu) y el boro (B) no se observaron diferencias estadísticas entre los genotipos evaluados. Estos resultados sugieren que la capacidad de absorción y acumulación de algunos micronutrientes esenciales a nivel radicular está influenciada por el genotipo, lo que refleja la existencia de variabilidad genética en los mecanismos fisiológicos de absorción y transporte de nutrientes desde el suelo hacia la planta.

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación (CV) obtenidos oscilaron entre 22,70 % y 39,44 %, valores que, si bien se consideran relativamente altos, son aceptables para estudios de campo en variables relacionadas con la concentración de micronutrientes, donde la heterogeneidad del suelo y las condiciones microambientales pueden generar cierta variabilidad en los resultados. De acuerdo con los criterios de Romaina (2012) se consideran moderadamente precisos, mientras que aquellos superiores al 30 % reflejan mayor dispersión, aunque no invalidan los resultados si la tendencia biológica es consistente, como ocurre en este caso.

Tabla 16.

Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	0,01 *	0,01 ns	0,98 *	1656,28 *	0,02 ns
Bloque	2	0,01 ns	0,0029 ns	0,2 ns	123,16 ns	0,01 ns
Error	4	0,01	3,10	0,1	188	0,03
Total	8					
CV(%)		34,61	35,35	23,81	22,70	39,44
Promedio		0,34	0,15	1,31	60,40	0,40

ns: no significativo; *: significativo al 0,05.

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la concentración de micronutrientes en la raíz de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 17, confirma las diferencias observadas previamente en el análisis de varianza, destacando que la absorción de ciertos micronutrientes, particularmente zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe), varía según el genotipo evaluado. En general, los valores obtenidos muestran que el genotipo ARG 8700 T presentó las concentraciones más altas de la mayoría de los micronutrientes, seguido por Marginal 28T, mientras que SV 3243 registró los niveles más bajos en casi todos los elementos analizados.

En el caso del zinc, se observó que ARG 8700 T y Marginal 28T alcanzaron las mayores concentraciones (0,36 ppm y 0,40 ppm, respectivamente), diferenciándose significativamente de SV 3243 (0,27 ppm). Este resultado indica que ambos genotipos presentan una mayor eficiencia en la absorción radicular de zinc, elemento esencial en la síntesis de enzimas, la elongación de raíces y la regulación del crecimiento vegetal.

En cuanto al manganeso, el genotipo ARG 8700 T también sobresalió con la concentración más alta (1,90 ppm), lo que lo diferencia significativamente de SV 3243 (0,76 ppm) y, en menor medida, de Marginal 28T (1,29 ppm).

Respecto al hierro, se evidencian diferencias marcadas entre genotipos, con ARG 8700 T mostrando el valor más alto (78,37 ppm), seguido por Marginal 28T (69,03 ppm) y, muy por debajo, SV 3243 (33,81 ppm). Este comportamiento sugiere que ARG 8700 T posee una capacidad notablemente superior para absorber y almacenar hierro a nivel radicular, un nutriente clave en la síntesis de clorofila y en los procesos de transporte de electrones.

Por otro lado, las concentraciones de cobre (Cu) y boro (B) no mostraron diferencias significativas entre genotipos, lo que sugiere que su absorción radicular fue similar en las tres variedades evaluadas.

Tabla 17.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo.

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 ppm				
ARG 8700 T	0,36 a	0,18 a	1,90 a	78,37 a	0,40 a
SV 3243	0,27 a	0,10 a	0,76 b	33,81 b	0,32 a
Marginal 28T	0,40 a	0,19 a	1,29 ab	69,03 ab	0,48 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2.4 Grano

El análisis de varianza para la concentración de micronutrientes en los granos de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 18, revela que únicamente el cobre (Cu) presentó diferencias altamente significativas entre genotipos ($p \leq 0,01$), mientras que los demás elementos —zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B)— no mostraron variaciones estadísticas relevantes. Estos resultados indican que la capacidad de acumulación de micronutrientes en el grano es, en general, similar entre los genotipos, con excepción del cobre, cuya concentración parece depender en mayor medida de las características genéticas de cada material evaluado.

Con respecto a los valores de los coeficientes de variación (CV), estos oscilaron entre 11,48 % y 35,69 %, lo que se considera aceptable para este tipo de análisis, especialmente tratándose de estudios de campo y de micronutrientes, cuya concentración suele estar sujeta a la heterogeneidad del suelo y a la variabilidad ambiental. De acuerdo con los criterios de Romaina (2012), un CV inferior al 20 % indica buena precisión, mientras que valores hasta 35 % son considerados moderadamente precisos. Por tanto, la variabilidad observada puede considerarse razonable y los resultados estadísticamente confiables.

Tabla18.

Análisis de varianza para concentración de micronutrientes (ppm) en los granos en tres genotipos de maíz amarillo.

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	0,57 ns	0,06 **	0,00068 ns	0,8 ns	0,21 ns
Bloque	2	0,68 ns	0,0027 ns	0,01 ns	2,25 ns	0,01 ns
Error	4	0,82	2,20	2,00	1,09	0,07
Total	8					
CV(%)		35,69	19,63	11,48	33,14	29,02
Promedio		2,54	0,24	0,38	3,14	0,88

ns: no significativo; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la concentración de micronutrientes en los granos de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 19, muestra que, en general, las diferencias entre genotipos fueron poco marcadas, con excepción del cobre (Cu), cuya concentración difirió significativamente entre los materiales evaluados. Este resultado confirma lo señalado en el análisis de varianza (Tabla 17), donde el cobre fue el único elemento que presentó significancia estadística, indicando que su acumulación en el grano está influenciada por el genotipo.

El genotipo ARG 8700 T presentó la concentración más alta de cobre (0,41 ppm), diferenciándose significativamente de SV 3243 y Marginal 28T, los cuales registraron valores de 0,14 y 0,17 ppm, respectivamente. Esta mayor acumulación de cobre en ARG 8700 T evidencia una mayor eficiencia fisiológica en la translocación de este elemento hacia el grano durante la etapa de llenado, posiblemente asociada a un transporte interno más activo o a una mayor disponibilidad de cobre en la planta.

En cuanto al zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B), los valores de concentración fueron bastante uniformes entre genotipos, lo que indica que la acumulación de estos nutrientes en el grano es estable y poco influenciada por las diferencias genéticas. genotipos.

Tabla19.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para la concentración de micronutrientes en los granos en tres genotipos de maíz amarillo.

	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 ppm				
ARG 8700 T	2,59 a	0,41 a	0,40 a	3,42 a	0,65 a
SV 3243	2,95 a	0,14 b	0,39 a	3,49 a	0,83 a
Marginal 28T	2,08 a	0,17 b	0,37 a	2,53 a	1,17 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3. Extracción de nutrientes

4.3.1. Follaje

El análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el follaje de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 20, muestra la existencia de diferencias significativas entre genotipos para varios elementos, destacándose el zinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el boro (B), mientras que el manganeso (Mn) no presentó diferencias estadísticas. La diferencia significativa en el zinc indica que los genotipos presentan distinta capacidad para absorber y movilizar este nutriente hacia el follaje. De igual manera, el cobre mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$), lo que refleja que los genotipos difieren en su eficiencia de absorción y translocación de este elemento.

El hierro fue otro micronutriente que presentó diferencias altamente significativas entre genotipos, con valores muy elevados en el cuadrado medio, lo que demuestra una clara variabilidad genética en su extracción foliar.

En cuanto al boro, las diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre genotipos indican variabilidad en la capacidad de absorción y movilización de este micronutriente, el cual cumple un papel clave en la división celular y en la integridad de las paredes celulares.

Por el contrario, la ausencia de diferencias significativas en el manganeso sugiere que este micronutriente fue absorbido y acumulado de manera similar por los tres genotipos, lo que podría deberse a una disponibilidad homogénea en el suelo o a una regulación fisiológica estable de su absorción en este tejido.

En lo que respecta a la precisión experimental, los coeficientes de variación (CV) obtenidos oscilaron entre 7,73 % y 21,03 %, valores que se consideran aceptables y que indican una variabilidad moderada, de acuerdo con los criterios de Romaina (2012), que sostiene que valores inferiores al 20 % reflejan buena precisión experimental en ensayos agrícolas. Estos resultados respaldan la confiabilidad del experimento y de las diferencias observadas entre genotipos.

Tabla 20.

Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el follaje (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	2960,97 *	390,19 **	24852,96 ns	25355266,08 **	38039,60 *
Bloque	2	222,60 ns	83,89 ns	15282,69 ns	4175397,55 ns	7976,21 ns
Error	4	244,79	17,51	2642,28	1249526,74	5038,11
Total	8					
CV (%)		15,23	7,73	18,11	21,03	10,93
Promedio		102,71	54,13	283,89	5315,72	649,19

ns: no significativo; *: significativo al 0,05; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción de micronutrientes en el follaje de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 21, revela diferencias claras en la capacidad de absorción y acumulación de nutrientes, confirmando los resultados obtenidos en el análisis de varianza. En general, el genotipo ARG 8700 T destacó significativamente por su mayor extracción de zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y boro (B), mientras que SV 3243 y Marginal 28T mostraron valores inferiores y, en la mayoría de los casos, estadísticamente diferentes.

El ARG 8700 T presentó las mayores concentraciones de micronutrientes extraídos en el follaje, alcanzando valores de $138,67 \text{ g ha}^{-1}$ para Zn, $67,25 \text{ g ha}^{-1}$ para Cu, $8670,03 \text{ g ha}^{-1}$ para Fe y $768,87 \text{ g ha}^{-1}$ para B, superando significativamente a los otros dos genotipos. En contraste, los genotipos SV 3243 y Marginal 28T mostraron menores niveles de extracción para la mayoría de los micronutrientes. En particular, SV 3243 presentó los valores más bajos para el cobre, hierro y zinc, lo que indica una eficiencia de absorción más limitada y posiblemente una menor capacidad de translocación hacia el follaje. El genotipo Marginal 28T, aunque con valores intermedios, mostró una ligera ventaja en la extracción de manganeso ($243,27 \text{ g ha}^{-1}$), situándose en un grupo estadístico similar al de ARG 8700 T, lo que sugiere una respuesta moderadamente eficiente para este micronutriente específico.

Tabla 20.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el follaje en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 (g ha ⁻¹)				
ARG 8700 T	138,67 a	67,25 a	388,15 a	8670,03 a	768,87 a
SV 3243	88,86 b	48,57 b	220,26 b	3523,62 b	633,39 ab
Marginal 28T	80,60 b	46,58 b	243,27 ab	3753,52 b	545,33 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.2 Tallo

El análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el tallo de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 22, muestra que existen diferencias significativas únicamente para el boro (B), mientras que para el zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe) no se detectaron diferencias estadísticas. Este resultado indica que la mayoría de los micronutrientes fueron extraídos en proporciones similares por los tres genotipos, sugiriendo una distribución homogénea de estos elementos en el tallo, con excepción del boro, cuya acumulación parece estar influenciada por factores genéticos.

El coeficiente de variación (CV) registrado para las variables analizadas osciló entre 9,18 % y 33,16 %, valores considerados aceptables dentro de experimentos de campo, especialmente cuando se trabaja con elementos minerales cuya distribución puede ser influenciada por la heterogeneidad del suelo y factores ambientales. De acuerdo con Romaina (2012), valores de CV inferiores al 20 % reflejan una alta precisión experimental, mientras que valores entre 20 % y 30 % son moderadamente precisos, lo que indica que los resultados del presente análisis son confiables y representan adecuadamente las diferencias reales entre genotipos.

Tabla21.

Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el tallo (g ha⁻¹) en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	278,51 ns	16,15 ns	39,87 ns	5335,11 ns	305,54 *
Bloque	2	46,40 ns	13,85 ns	61,70 *	3793,03 ns	9,03 ns
Error	4	149,48	2,46	8,62	3870	29,72
Total	8					
CV (%)		33,16	20,36	13,71	21,56	9,18
Promedio		36,87	7,71	21,41	288,53	59,42

ns: no significativo; *: significativo al 0,05.

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción de micronutrientes en el tallo de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 23, evidencia que las diferencias entre materiales genéticos fueron mínimas para la mayoría de los elementos analizados, excepto para el boro (B), donde se registraron diferencias significativas. Este resultado reafirma lo observado en el análisis de varianza, donde el genotipo mostró efecto significativo únicamente para este micronutriente.

El genotipo ARG 8700 T presentó la mayor extracción de boro (67,81 g ha⁻¹), diferenciándose significativamente de Marginal 28T (48,22 g ha⁻¹) y ligeramente de SV 3243 (62,23 g ha⁻¹). Esta mayor acumulación de boro en el tallo del ARG 8700 T podría asociarse a una mejor capacidad de transporte y retención de nutrientes dentro de los tejidos de sostén, lo que le confiere ventajas estructurales y fisiológicas.

En cuanto a los demás micronutrientes, zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe), las diferencias entre genotipos no fueron significativas, lo que indica que la extracción de estos nutrientes en el tallo fue similar.

El genotipo SV 3243, por su parte, presentó los valores más bajos de extracción en la mayoría de los elementos, lo que sugiere una menor eficiencia en la absorción y translocación de nutrientes hacia el tallo.

Tabla 22.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el tallo en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	(g ha ⁻¹)				
ARG 8700 T	28,06 a	9,06 a	25,1 a	336,83 a	67,81 a
SV 3243	35,39 a	5,03 a	17,81 a	259,02 a	62,23 ab
Marginal 28T	47,16 a	9,04 a	21,33 a	269,75 a	48,22 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.3 Raíz

El análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en la raíz de tres genotipos de maíz amarillo muestra diferencias significativas entre genotipos únicamente para el manganeso (Mn) y el hierro (Fe), mientras que los demás elementos —zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B)— no presentaron variaciones estadísticas relevantes. Este resultado indica que la capacidad de absorción y acumulación de manganeso e hierro en la raíz depende en parte del

genotipo, lo que sugiere la existencia de diferencias genéticas en la eficiencia de absorción radicular de estos elementos esenciales.

Los valores del coeficiente de variación (CV), que oscilaron entre 22,7 % y 39,65 %, indican una variabilidad moderada a alta en los datos, lo cual es esperable en estudios de campo donde la heterogeneidad del suelo y las condiciones microambientales pueden influir en la absorción de micronutrientes. De acuerdo con los criterios de Romaina (2012) valores de CV entre 20 % y 30 % se consideran moderadamente precisos, mientras que aquellos superiores al 30 % reflejan una mayor dispersión, aunque sin comprometer la validez de las tendencias observadas.

Tabla23.

Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en la raíz (g ha⁻¹) en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	79,5 ns	34,01 ns	5477,61 *	9316364,23 *	113,78 ns
Bloque	2	37,06 ns	17,56 ns	1121,55 ns	692917,42 ns	44,53 ns
Error	4	78,4	16,96	555,38	1057853,64	142,69
Total	8					
CV (%)		34,51	34,58	23,88	22,7	39,65
Promedio		25,65	11,91	98,68	4530,49	30,12

ns: no significativo; *: significativo al 0,05.

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción de micronutrientes en la raíz de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 25, revela que las diferencias más notables se presentaron en la absorción de manganeso (Mn) y hierro (Fe), coincidiendo con los resultados del análisis de varianza, donde estos elementos fueron los únicos con diferencias significativas entre genotipos. En términos generales, el genotipo ARG 8700 T destacó por mostrar las mayores cantidades extraídas de ambos micronutrientes, seguido de Marginal 28T, mientras que SV 3243 evidenció los valores más bajos en casi todos los elementos analizados.

El ARG 8700 T sobresalió especialmente en la extracción de manganeso (142,23 g ha⁻¹) y hierro (5877,63 g ha⁻¹), superando de manera significativa a SV 3243, que registró los valores más reducidos para estos elementos (56,82 y 2536,18 g ha⁻¹, respectivamente).

Por su parte, el Marginal 28T mostró valores intermedios en la extracción de Mn (96,99 g ha⁻¹) y Fe (5177,67 g ha⁻¹), sin diferir significativamente de ARG 8700 T, lo que indica que,

aunque no alcanza el mismo nivel de eficiencia, mantiene una capacidad de absorción relativamente adecuada. En contraste, SV 3243 presentó los valores más bajos en la mayoría de los nutrientes, lo que confirma su menor eficiencia radicular y su limitada capacidad para absorber micronutrientes esenciales, lo cual podría explicar su menor rendimiento y menor acumulación de materia seca, evidenciados en las tablas anteriores.

En el caso del zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B), no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos, aunque se observan ligeras variaciones numéricas. Marginal 28T presentó la mayor extracción de zinc (30,01 g ha⁻¹), mientras que ARG 8700 T alcanzó los valores más altos de cobre (13,86 g ha⁻¹) y hierro (5877,63 g ha⁻¹).

Tabla 24.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en la raíz en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 (g ha ⁻¹)				
ARG 8700 T	26,99 a	13,86 a	142,23 a	5877,63 a	30,12 a
SV 3243	19,97 a	8,02 a	56,82 b	2536,18 b	23,97 a
Marginal 28T	30,01 a	13,85 a	96,99 ab	5177,67 ab	36,29 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.4 Grano

El análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el grano de los tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 26, muestra que solo el cobre (Cu) presentó diferencias altamente significativas entre genotipos ($p \leq 0,01$), mientras que los demás micronutrientes —zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B)— no mostraron diferencias estadísticas relevantes. Esto indica que la capacidad de los genotipos para extraer y acumular cobre en el grano depende en gran medida de su constitución genética, mientras que la absorción y acumulación de los otros micronutrientes en este órgano tienden a ser uniformes entre los materiales evaluados.

El coeficiente de variación (CV) varió entre 12,01 % y 35,68 %, valores considerados aceptables para experimentos de campo, aunque reflejan una variabilidad moderada a alta en algunos casos, especialmente para el zinc y el hierro. De acuerdo con los criterios de Romaina (2012), los CV inferiores al 20 % indican buena precisión, mientras que los valores

entre 20 % y 30 % se consideran moderadamente precisos, y aquellos ligeramente superiores pueden atribuirse a la heterogeneidad del suelo o a variaciones en la absorción de nutrientes debido a factores ambientales.

Tabla25.

Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes en el grano (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	3175,94 ns	358,38 **	2,84 ns	4839,83 ns	1194,49 ns
Bloque	2	3819,34 ns	16,16 ns	42,7 ns	12582,25 ns	35,91 ns
Error	4	4625,32	13,19	12,35	6104,91	370,11
Total	8					
CV (%)		35,68	20,47	12,01	33,09	29,05
Promedio		190,60	17,74	29,27	236,1	66,22

ns: no significativo; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción de micronutrientes en el grano de tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 27, muestra que, solamente se evidenció que el genotipo ARG 8700 T presentó el mayor valor para el cobre ($30,31 \text{ g ha}^{-1}$), superando significativamente a los otros genotipos.

Para los otros micronutrientes no se encontraron diferencias significativas entre los distintos genotipos.

Tabla26.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes en el grano en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 (g ha^{-1})				
ARG 8700 T	194,44 a	30,31 a	30,26 a	256,67 a	48,66 a
SV 3243	221,05 a	10,48 b	29,24 a	261,83 a	62,09 a
Marginal 28T	156,31 a	12,44 b	28,32 a	189,82 a	87,92 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.5 Total

El análisis de varianza para la extracción total de micronutrientes en tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 28, revela diferencias significativas entre genotipos para los elementos cobre

(Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe), mientras que el zinc (Zn) y el boro (B) no mostraron variaciones estadísticas relevantes. Estos resultados indican que la capacidad de los genotipos para absorber y acumular cobre, manganeso y hierro en toda la planta está influenciada por su constitución genética, lo que evidencia diferencias en la eficiencia fisiológica y nutricional de los materiales evaluados.

El coeficiente de variación (CV) obtenido para las variables analizadas osciló entre 4,92 % y 16,34 %, valores considerados bajos y dentro de un rango de alta precisión experimental, según los criterios de Romaina (2012). Esto demuestra la confiabilidad de los datos y la consistencia de las diferencias encontradas entre genotipos.

Tabla 28.

Análisis de varianza para la extracción total de micronutrientes (g ha^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	4315,92 ns	1962,64 **	55556,35 *	57123226,52 **	30536,05 ns
Bloque	2	5773,89 ns	219,87 *	23175,98 ns	5910597,61 ns	7513,94 ns
Error	4	2709,23	20,3	5014,03	2663701,32	4835,79
Total	8					
CV (%)		14,63	4,92	16,34	15,74	8,64
Promedio		355,83	91,50	433,25	10370,85	804,96

ns: no significativo; *: significativo al 0,05; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción total de micronutrientes en tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 29, muestra que el genotipo ARG 8700 T sobresale de manera clara en la extracción de todos los elementos analizados, confirmando su superioridad fisiológica y nutricional respecto a los demás materiales. Aunque las diferencias no fueron significativas para todos los micronutrientes, las tendencias observadas reflejan una mayor eficiencia de este genotipo en la absorción, translocación y acumulación de nutrientes esenciales en toda la planta.

En contraste, el genotipo SV 3243 mostró las menores extracciones para casi todos los micronutrientes, con valores de $72,10 \text{ g ha}^{-1}$ de Cu, $324,13 \text{ g ha}^{-1}$ de Mn y $6\,580,64 \text{ g ha}^{-1}$ de Fe, lo que lo posiciona como el material de menor eficiencia nutricional entre los tres. Su bajo rendimiento en extracción total sugiere una limitada capacidad radicular para captar y movilizar nutrientes, posiblemente asociada a diferencias morfológicas del sistema radical o a una menor actividad fisiológica de absorción. Esto coincide con sus menores valores de

materia seca y contenido de micronutrientes en tejidos foliares, observados en las tablas precedentes.

Por su parte, el genotipo Marginal 28T presentó valores intermedios en la mayoría de los nutrientes, con una extracción moderada de Mn ($389,9 \text{ g ha}^{-1}$) y Fe ($9\,390,76 \text{ g ha}^{-1}$), lo que indica una eficiencia de absorción aceptable, aunque inferior a la del ARG 8700 T. Sin embargo, al igual que SV 3243, mostró menores valores de cobre ($81,91 \text{ g ha}^{-1}$) y boro ($717,76 \text{ g ha}^{-1}$), lo que podría reflejar una menor capacidad de translocación de estos elementos, esenciales para el desarrollo estructural y la funcionalidad de tejidos conductores.

Tabla29.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción total de micronutrientes en tres genotipos de maíz amarillo

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 (g ha ⁻¹)				
ARG 8700 T	388,16 a	120,49 a	585,73 a	15141,16 a	915,46 a
SV 3243	365,27 a	72,10 b	324,13 b	6580,64 b	781,68 a
Marginal 28T	314,08 a	81,91 b	389,9 ab	9390,76 b	717,76 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.4. Extracción de micronutrientes por cada tonelada de grano.

El análisis de varianza para la extracción de micronutrientes por tonelada de grano en tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 30, revela diferencias altamente significativas únicamente para el cobre (Cu) ($p \leq 0,01$), mientras que el resto de los elementos —zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y boro (B)— no mostraron diferencias estadísticas relevantes. Este comportamiento indica que la eficiencia en la extracción de cobre por unidad de producción de grano depende del genotipo, lo que sugiere diferencias fisiológicas y genéticas en la capacidad de absorción, movilización y utilización de este micronutriente.

Los coeficientes de variación (CV), que oscilaron entre 5,58 % y 19,77 %, reflejan una buena precisión experimental, de acuerdo con los criterios Romaina (2012). Los valores más bajos observados para el boro y el cobre (CV de 5,58 % y 8,53 %, respectivamente) confirman la consistencia de los resultados obtenidos y la fiabilidad del experimento en la medición de la extracción de estos micronutrientes.

Tabla30.

Análisis de varianza para la extracción de micronutrientes por tonelada de grano (g t^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo.

F.V.	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Genotipo	2	3.79 ns	12.84 **	381.32 ns	423407.59 ns	75.01 ns
Bloque	2	53.93 ns	1.64 ns	176.97 ns	35254.75 *	127.52 ns
Error	4	20.48	0.55	61.9	38104.43	18.35
Total	8					
CV (%)		13.33	8.53	19.08	19.77	5.58
Promedio		33.94	8.71	41.24	987.39	76.81

ns: no significativo; *: significativo al 0,05; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La comparación de medias de Tukey al 5 % para la extracción de micronutrientes por tonelada de grano en tres genotipos de maíz amarillo, Tabla 31, muestra que para Zn, Mn y B no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Destaca, nuevamente, el genotipo ARG 8700 T como el de mayor capacidad extractiva, especialmente en cobre (Cu) y hierro (Fe), lo cual coincide con los resultados del análisis de varianza previo.

El ARG 8700 T presentó los valores más altos de extracción por tonelada de grano para todos los micronutrientes, con $34,97 \text{ g t}^{-1}$ de Zn, $10,86 \text{ g t}^{-1}$ de Cu, $52,77 \text{ g t}^{-1}$ de Mn, $1366,8 \text{ g t}^{-1}$ de Fe y $82,52 \text{ g t}^{-1}$ de B. Este comportamiento refleja su mayor eficiencia fisiológica y nutricional, evidenciada en su capacidad para mantener un equilibrio entre la absorción de nutrientes y la producción de grano.

En contraste, el genotipo SV 3243 presentó las menores extracciones, con valores significativamente inferiores en cobre ($6,73 \text{ g t}^{-1}$) y hierro ($615,55 \text{ g t}^{-1}$), lo que evidencia una menor eficiencia en la absorción y translocación de estos nutrientes hacia el grano.

Por su parte, Marginal 28T mostró valores intermedios en la mayoría de los micronutrientes, con una tendencia similar a la de ARG 8700 T, aunque con valores más bajos, particularmente en hierro ($979,82 \text{ g t}^{-1}$) y boro ($74,67 \text{ g t}^{-1}$).

Tabla31.

Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% para extracción de micronutrientes por tonelada de grano (g t^{-1}) en tres genotipos de maíz amarillo.

Genotipo	Zn	Cu	Mn	Fe	B
	 (g t^{-1})				
ARG 8700 T	34.97 a	10.86 a	52.77 a	1366.8 a	82.52 a
SV 3243	34.12 a	6.73 b	30.24 a	615.55 b	73.24 a
Marginal 28T	32.74 a	8.55 b	40.71 a	979.82 ab	74.67 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CAPITULO V. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los genotipos evaluados difieren de forma clara en su acumulación de materia seca, así como en la concentración y extracción de micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B) en distintos órganos (follaje, tallo, raíz, grano) y en la planta total. Particularmente, el genotipo **ARG 8700 T** se destacó por su mayor acumulación de biomasa total y por su mayor extracción de varios micronutrientes, lo que sugiere una eficiencia fisiológica superior frente a **Marginal 28T** y **SV 3243**. Esta variabilidad entre genotipos tiene implicaciones importantes para la nutrición vegetal, el rendimiento y la eficiencia del uso de nutrientes en cultivos de maíz.

1. Partición de materia seca

La mayor producción de materia seca total en ARG 8700 T, especialmente en follaje y tallo, indica un mayor vigor vegetativo y potencial de captura de luz —factores clave para la producción de biomasa y rendimiento final. Esto concuerda con estudios sobre acumulación y partición de materia seca en maíz, los cuales muestran que la acumulación de biomasa durante el ciclo vegetativo es fundamental para sostener un buen rendimiento, y que la mayor parte de la biomasa aérea —hojas + tallo— se acumula antes del llenado de grano (Melo et al., 2023).

Además, la partición de peso hacia estructura vegetal (hojas + tallo) puede favorecer una mayor superficie fotosintética, lo que a su vez incrementa la capacidad de asimilación de CO₂ y producción de carbohidratos, esenciales para mantener un crecimiento sostenido y permitir el llenado del grano.

2. Variabilidad genética en la absorción y acumulación de micronutrientes

Los resultados muestran diferencias genotípicas significativas en la concentración y extracción de micronutrientes —especialmente Zn, Cu, Mn, Fe y B—, lo que indica que la eficiencia de absorción, translocación y almacenamiento mineral no es uniforme entre genotipos. Esto coincide con lo reportado por autores como Ciampitti et al. (2013), quienes observaron que los genotipos comerciales de maíz difieren en la acumulación de nutrientes cuando se considera la planta completa.

Dicho estudio plantea que la acumulación de nutrientes debe analizarse no sólo en concentración, sino también en relación con la partición de materia seca; de esta forma se puede entender mejor la eficiencia de uso de nutrientes (EUN) del genotipo. Este enfoque es consistente con la evaluación de extracción total por planta, extracción por órgano y extracción por unidad de rendimiento (t/ha o t grano).

3. Extracción total de nutrientes y eficiencia de uso

La extracción total de micronutrientes (g/ha) reflejó diferencias significativas entre genotipos para Cu, Mn y Fe. Esto indica que ARG 8700 T no solo acumula más biomasa, sino que también captura mayores cantidades de nutrientes esenciales. Este patrón sugiere una mayor eficiencia de uso de nutrientes (NUE), es decir, una mejor relación entre input de nutrientes y producción de biomasa/grano. Estudios previos han señalado la necesidad de evaluar la partición de nutrientes más allá de N, P y K, abarcando micronutrientes, pues estos también limitan el rendimiento si no están disponibles en cantidad suficiente (Ciampitti & Vyn, 2014).

En particular, los trabajos de Bender et al. (2013) y Ferreira et al. (2023) muestran que una fracción significativa del requerimiento total de micronutrientes se cubre antes de la floración, lo que implica que una adecuada nutrición foliar y radicular en etapas vegetativas es crucial para satisfacer las demandas durante el llenado del grano.

4. Selección de genotipos y manejo de fertilización

Los resultados del estudio sugieren que la selección de genotipos en programas de mejoramiento debe considerar no solo el rendimiento, sino también la eficiencia de absorción y uso de micronutrientes. Un genotipo como ARG 8700 T, que combina una alta producción de biomasa con una eficiente captura y translocación de micronutrientes, representa una opción prometedora para sistemas de producción con limitaciones nutricionales o en suelos con baja fertilidad.

Además, para optimizar la producción de maíz en ambientes como el valle de Huaura, es recomendable ajustar la fertilización —no solo con macronutrientes (N, P, K), sino también considerando micronutrientes—, especialmente en etapas tempranas de desarrollo, ya que la absorción y partición de estos elementos ocurre en gran parte antes de la floración. Esto

coincide con la recomendación de estudios recientes sobre cronología de absorción de nutrientes en maíz (Ferreira et al., 2023).

Finalmente, los resultados subrayan la importancia de un enfoque integral para evaluar la nutrición del cultivo: considerando partición de materia seca, concentración de nutrientes y extracción total por órgano y por rendimiento, lo que permite estimar con mayor precisión las necesidades reales del cultivo y planificar estrategias de fertilización más eficientes y sostenibles.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- a) El genotipo ARG 8700 T demostró el mejor desempeño fisiológico y nutricional entre los tres materiales evaluados, destacando por su mayor producción de materia seca total, superior acumulación en follaje, tallo y grano, y mayor extracción de micronutrientes esenciales (Fe, Cu, Mn, Zn y B).
- b) Existieron diferencias significativas entre genotipos en la partición de materia seca y en la concentración de micronutrientes por tejido vegetal. En particular, se observaron diferencias en la acumulación de Zn, Cu, Mn, Fe y B en el follaje y raíces, lo que refleja la influencia genética sobre los procesos de absorción y almacenamiento mineral. Los órganos con mayor contribución a la extracción total fueron el follaje y el tallo, seguidos por el grano.
- c) El genotipo SV 3243 presentó la menor capacidad extractiva y de acumulación de biomasa, mostrando valores inferiores en casi todos los tejidos y micronutrientes analizados.
- d) El genotipo Marginal 28T mostró una eficiencia intermedia, destacándose en la extracción de algunos micronutrientes específicos como Mn y B, aunque sin superar al ARG 8700 T en rendimiento fisiológico general.
- e) Los análisis de varianza y pruebas de Tukey confirmaron que las diferencias en la absorción y extracción de micronutrientes son de naturaleza genotípica. En la mayoría de los casos, el efecto de bloque no fue significativo, lo que indica que las variaciones observadas se deben principalmente a la constitución genética de los materiales y no a las condiciones del terreno o al manejo experimental.
- f) La extracción total de micronutrientes siguió el orden $Fe > Mn > Zn > Cu > B$, siendo el hierro y el manganeso los elementos con mayor acumulación en la biomasa total.
- g) El análisis por tonelada de grano evidenció que el cobre (Cu) fue el único micronutriente con diferencias altamente significativas entre genotipos, indicando que su eficiencia de extracción por unidad de rendimiento está estrechamente relacionada con la variabilidad genética. El ARG 8700 T presentó la mayor eficiencia de extracción de cobre, lo que sugiere una mayor capacidad metabólica en la formación de grano.

6.2 Recomendaciones

- e) Seleccionar genotipos con alta eficiencia nutricional, como el ARG 8700 T, para su cultivo en las condiciones edafoclimáticas del valle de Huaura, ya que este material demostró mayor capacidad de absorción, translocación y utilización de micronutrientes, además de una superior producción de materia seca y, por tanto, un mayor potencial productivo.
- f) Incorporar el componente de eficiencia en el uso de micronutrientes dentro de los programas de mejoramiento genético de maíz. Los resultados indican que la respuesta fisiológica y nutricional varía entre genotipos, por lo que este criterio debería considerarse como un indicador complementario de selección, especialmente en zonas con suelos de fertilidad limitada o desequilibrada.
- g) Ajustar los planes de fertilización considerando no solo macronutrientes (N, P, K), sino también la demanda específica de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu y B). Dado que la mayor extracción ocurre en las fases vegetativas iniciales, se recomienda aplicar estos elementos en etapas tempranas del desarrollo del cultivo para garantizar una nutrición equilibrada y maximizar la eficiencia de uso.
- h) Realizar diagnósticos de fertilidad de suelos con énfasis en la disponibilidad de micronutrientes, antes de la siembra, para ajustar las dosis y evitar deficiencias que afecten el rendimiento y la calidad del grano.
- i) Promover estudios de dinámica temporal de absorción de micronutrientes, con el fin de precisar los momentos críticos de demanda y mejorar las estrategias de fertilización. Esta información permitirá optimizar el manejo nutricional del cultivo y reducir pérdidas por lixiviación o antagonismos entre elementos.
- j) Evaluar la respuesta de los genotipos a diferentes fuentes y métodos de aplicación de micronutrientes (edáfica, foliar o combinada), para determinar la vía más efectiva de suministro y su impacto en la eficiencia fisiológica y rendimiento del cultivo bajo las condiciones del valle de Huaura.
- k) Ampliar la investigación a diferentes localidades y campañas agrícolas, con el propósito de validar la estabilidad de la eficiencia nutricional de los genotipos y su adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas diversas. Esto permitirá generar recomendaciones regionales más robustas para la producción sostenible de maíz amarillo en la costa central del Perú.

CAPITULO V. REFERENCIAS

- Agroproductores. (2018). *Absorción de nutrientes y transporte de agua en las plantas*. Recuperado de <https://agroproductores.com/absorcion-de-nutrientes-y-transporte-de-agua-en-las-plantas/#:~:text=La%20absorci%C3%B3n%20de%20nutrientes%20es,el%20interior%20de%20la%20planta>
- Aguirre, G., y Alegre, J. (2015). Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: Rendimiento y extracción de N, P y K. *Ecología Aplicada*, 14(2), 157-162. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/341/34143179008.pdf>
- Argenetics. (2023). *Maíz tropical ARG 8700 T*. Recuperado de <https://argeneticssemillas.com.ar/product/arg-8700-t/>
- Bender, R., Haegele, J., Ruffo, M., & Below, F. (2013). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105(1), 161–170. Recuperado de <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>
- Ciampitti, I., & Vyn, T. (2013). Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: II. Calcium, magnesium, and micronutrients. *Agronomy Journal*, 105(6), 1645-1657. Recuperado de <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2013.0126>
- Ciampitti, I., Camberato, J., Murrell, S., & Vyn, T. (2013). Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agronomy journal*, 105(3), 783-795. Recuperado de <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2012.0467>
- Ciampitti, I., y García, F. (2008). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras. Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083>

- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2023a). *World Agricultural Production*. Recuperado de <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2023b). *Zea mays L.* Recuperado de <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=ZEMA>
- Fageria, N., Baligar, V., & Jones, C. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops*. Recuperado de <https://www.routledge.com/Growth-and-Mineral-Nutrition-of-Field-Crops-Third-Edition/Fageria-Baligar-Jones/p/book/9781439816950>
- FAOStat. (2023). FAO Statistical Databases: Cultivos y productos de ganadería. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Ferreira, A., Souza, H., Barbosa, G., Natale, W., Sobral, A., Borge, S. (2024). Absorption, partitioning, and export of nutrients by phenological stage in maize cultivated in Eastern Maranhão, Brazil. *Journal of Plant Nutrition*, 47(2), 240–256. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2275072>
- García, F. (2005). *Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz*. Recuperado de <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/nutricion-en-el-cultivo-de-maiz-ipni-f-garcia-2005.pdf>
- García, P. J. (2017). El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Rev. Investig. Univ. Le Cordon Bleu*, 4(2), 73-79. Recuperado de <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n2.005>
- Hu Hao, Bai You-lu, Yang Li-ping, Kong Qing-bo, Lu Yan-li, Wang Lei and Wang Zhi-yong. (2010). Response of element distribution of various organs of maize to fertilizer application. *Agricultural Sciences in China*, 9(3), 401-407. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1671292709601103>
- Instituto Nacional de Innovación y Extensión Agraria. (2005). MAIZ Variedad Marginal 28 Tropical. Hoja divulgativa N°4. Recuperado de <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/980>

- Malavolta, E., & Moraes, M. (2007). *Nutrição mineral e adubação do milho*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/slideshow/nutrio-mineral-e-adubao-do-milho/258191254>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants>
- Mendoza, A. (2010). *Distribución de materia seca en maíz forrajero con diferentes dosis de fertilización nitrogenada* (tesis de posgrado). Recuperado de <https://www.sidalc.net/search/Record/oai:https://repositorio.uaaan.mx:123456789-42702/Description>
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI). (2020). *Anuario estadístico de la producción agrícola 2020*. Recuperado de <https://www.gob.pe/minagri>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2016). *Maíz Amarillo Duro Marginal 28 Tropical*. Recuperado de <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/556>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). *Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro*. Recuperado de <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/1209>
- Montúfar, G., Caicedo, L., Zamora, D., & Mora, F. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 27(3), 417-431. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081781>
- Narro, T. & Piña, P. (2021). *Manual de producción de maíz amiláceo*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. ISBN: 978-9972-44-047-2. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1310>
- OCDE y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2020). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029*. Recuperado de <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>

- Orchardson, E. (2020). *Granos enteros*. Recuperado de <https://www.cimmyt.org/es/noticias/granos-enteros/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2022). *Agricultural production statistics 2000–2021*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/cc3751en/cc3751en.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *El maíz en la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de <https://www.fao.org/statistics/es/>
- Orozco, J., Ramírez, R., Segura, M., Yescas, P., Trejo, R., y Vidal, J. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 185-194. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000100185&script=sci_arttext
- Pérez, A.E., Martínez, E., Vélez, L.D., y Cotes, J.M. (2013). Acumulación y Distribución de Fitomasa en el Asocio de Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 66(1), 6865-6880. Recuperado de <https://agris.fao.org/search/es/records/6474715a425ec3c088f21e93#!>
- Reta, D.G., Cueto, J.A., Gaytán, A., y Santamaría, J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México*, 33(2), 145-151. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172007000200004&script=sci_abstract&tlng=pt
- Romaina, J. (2012). Estadística experimental: Herramientas para investigación. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/upload/Transparencia/Actualizaciones%202011-2013/TRANSP632/20130129/CursoEstadistica/TEXTOS/estadisticaexperimental.pdf>
- Semillas Valle. (2023). *Semillas SV 3243*. Recuperado de <http://semillasvalle.com/site/semillas/maiz/belice/>

Statista. (2023). *Global corn production from 2014/2015 to 2022/2023 (in million metric tons)*. Recuperado de <https://www.statista.com/statistics/1156213/global-corn-production/>