

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“FUENTES DE MAGNESIO Y SILICIO EN EL RENDIMIENTO
DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays* L.), BAJO CONDICIONES
DE LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

VICTOR ANTONIO DE JESUS LUCERO RAFAEL

LIMA - PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	Lucero Rafael Victor - REV.pdf (D153963575)
Submitted	2022-12-19 17:04:00
Submitted by	Isabel
Submitter email	imontes@lamolina.edu.pe
Similarity	1%
Analysis address	imontes.unalm@analysis.urkunci.com

Sources included in the report

SA	Ocaña- Jessica 1.docx Document Ocaña- Jessica 1.docx (D15735102)	 1
-----------	--	--



Document Information

Analyzed document	Lucero Rafael Victor - MAT Y MET.pdf (D153963639)
Submitted	2022-12-19 17:04:00
Submitted by	Isabel
Submitter email	imontes@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	isabel.unalm@analysis.urkund.com

Sources included in the report



Document Information

Analyzed document	Lucero Rafael Victor - RESULT.pdf (D153963760)
Submitted	12/19/2022 5:05:00 PM
Submitted by	Isabel
Submitter email	imontes@lamolina.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	isabel.unalm@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS MAIZ PEDRO PEREZ PINTO.doc Document TESIS MAIZ PEDRO PEREZ PINTO.doc (D12370401)	 5
-----------	--	--

SA	Tesis Jheferson Estrada Miguez.docx Document Tesis Jheferson Estrada Miguez.docx (D110065225)	 1
-----------	---	--

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“FUENTES DE MAGNESIO Y SILICIO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ
AMARILLO DURO (*Zea mays* L.), BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA”**

Presentada por:

VICTOR ANTONIO DE JESUS LUCERO RAFAEL

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez

PRESIDENTE

Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz

ASESOR

Ing. Mg. Sc. Elías Hugo Huanuqueño Coca

MIEMBRO

Ing. Mg.Sc. Isabel Maximiliana Montes Yarasca

MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino.

A mis abuelos, Juan y Marcelina, que me cuidan desde el cielo.

A mis padres, Victor y Bertha, que me motivan para seguir avanzando.

A mis hermanas, Lizbeth y Thalia, que son mi ejemplo a seguir.

A L. Oré por alentarme durante esta travesía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Mg. Sc. Andrés Casas por todo su apoyo y facilidades durante el desarrollo de este trabajo de investigación, al Ing. Pablo Cordero por su seguimiento.

A los miembros de mi jurado Ing. Mg. Sc. Elías Huanuqueño, Ing. Mg. Sc. Isabel Montes e Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre, quienes siempre se mostraron disponibles para atender mis consultas.

A todos los profesores de la universidad que me brindaron experiencias y conocimientos.

A todas las personas que influenciaron y colaboraron en la culminación del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Generalidades del cultivo de maíz.....	3
2.1.1.	Taxonomía	3
2.1.2.	Origen	3
2.1.3.	Descripción morfológica del cultivo	3
2.2.	Magnesio	5
2.2.1.	Magnesio en la naturaleza	5
2.2.2.	Importancia del Magnesio en el suelo	5
2.2.3.	Importancia del Magnesio en las plantas.....	6
2.3.	Silicio.....	8
2.3.1.	Silicio en la naturaleza.....	8
2.3.2.	Importancia del Silicio en el suelo.....	8
2.3.3.	Importancia del Silicio en las plantas	9
III.	METODOLOGÍA.....	11
3.1.	Ubicación del campo experimental	11
3.2.	Características climatológicas	11
3.3.	Características del suelo	12
3.4.	Características del agua de riego	13
3.5.	Materiales y Equipos	14
3.5.1.	Material genético	14
3.5.2.	Fuentes de fertilizantes	14
3.5.3.	Otros materiales	15
3.6.	Manejo agronómico.....	15
3.7.	Diseño experimental y tratamientos	17
3.7.1.	Tratamientos en estudio.....	17
3.7.2.	Modelo estadístico	18
3.7.3.	Características y distribución del área experimental	18
3.8.	Variables evaluadas.....	19
3.8.1.	Características biométricas de la planta.....	19
3.8.2.	Características relacionadas al rendimiento.....	20
3.8.3.	Rendimiento de grano (kg/ha)	21

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Características biométricas de la planta	22
4.1.1. Altura de planta (cm)	22
4.1.2. Altura de inserción de mazorca (cm).....	24
4.1.3. Diámetro de tallo (mm)	25
4.1.4. Número de hojas activas/planta	27
4.2. Características relacionadas al rendimiento	29
4.2.1. Número de mazorcas/planta	29
4.2.2. Longitud de mazorca (cm).....	30
4.2.3. Diámetro de mazorca (cm)	32
4.2.4. Número de hileras/mazorca	34
4.2.5. Número de granos/hilera.....	36
4.2.6. Peso de mazorca (g).....	38
4.2.7. Peso de granos/mazorca (g)	40
4.2.8. Porcentaje de desgrane (%)	42
4.2.9. Peso de 100 granos (g).....	44
4.3. Rendimiento (kg/ha).....	45
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. BIBLIOGRAFÍA	50
VIII. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos meteorológicos de la estación “Alexander Von Humboldt”	11
Tabla 2: Análisis de caracterización físico-químico del suelo	12
Tabla 3: Análisis de caracterización del agua	13
Tabla 4: Fuentes de fertilizantes	15
Tabla 5: Otros materiales.....	15
Tabla 6: Dosis (kg/ha) requerida para la etapa de crecimiento	17
Tabla 7: Tratamientos en estudio.....	17
Tabla 8: Características del área experimental	18
Tabla 9: Altura de planta (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	22
Tabla 10: Altura de inserción de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	24
Tabla 11: Diámetro de tallo (mm) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	26
Tabla 12: Número de hojas activas/planta en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	27
Tabla 13: Número de mazorcas/planta en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	29
Tabla 14: Longitud de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	31
Tabla 15: Diámetro de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	33
Tabla 16: Número de hileras/mazorca en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	35
Tabla 17: Número de granos/hilera en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	37
Tabla 18: Peso de mazorca (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio.....	39
Tabla 19: Peso de granos/mazorca (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	40
Tabla 20: Porcentaje de desgrane (%) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.)	

bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	42
Tabla 21: Peso de 100 granos (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	44
Tabla 22: Rendimiento (kg/ha) en el cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de área experimental	19
Figura 2: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la altura de planta (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	23
Figura 3: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la altura de inserción de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.)	24
Figura 4: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el diámetro de tallo (mm) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	26
Figura 5: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de hojas/planta del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	28
Figura 6: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de mazorcas/planta del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	30
Figura 7: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la longitud de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	31
Figura 8: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el diámetro de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	33
Figura 9: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de hileras/mazorca del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	35
Figura 10: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de granos/hilera del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	37
Figura 11: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de mazorca (g) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	39
Figura 12: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de granos/mazorca (g) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	41
Figura 13: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el porcentaje de desgrane (%) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	42
Figura 14: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de 100 granos (g) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	44
Figura 15: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el rendimiento (kg/ha) del cultivo de maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.).....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cronograma de actividades.....	58
Anexo 2: Presupuesto	59
Anexo 3: Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta (cm).....	60
Anexo 4: Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de inserción de mazorca (cm).....	60
Anexo 5: Análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de tallo (mm)	61
Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de hojas/planta.....	61
Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de mazorcas/planta	62
Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) para la longitud de mazorca (cm).....	62
Anexo 9: Análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de mazorca (cm)	63
Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de hileras/mazorca.....	63
Anexo 11: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de granos/hilera	64
Anexo 12: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de mazorca (g).....	64
Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de granos/mazorca (g)	65
Anexo 14: Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de desgrane (%)	65
Anexo 15: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de 100 granos (g).....	66
Anexo 16: Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de grano (kg/ha)	66

RESUMEN

El maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial debido a que es el insumo clave en la fabricación balanceada de alimentos para animales. El presente trabajo consistió en evaluar el efecto de la fertilización complementaria con diferentes fuentes de magnesio y silicio en las características biométricas, las variables relacionadas al rendimiento y rendimiento de grano del híbrido DK-7088, bajo condiciones de La Molina. El ensayo se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de Junio a Diciembre del 2021. Esta investigación se desarrolló bajo un sistema de bloques completamente al azar (DBCA) con cinco niveles de fertilización: testigo absoluto (sin ninguna aplicación), fertilización de solo N – P – K, N – P – K complementada con Magnekling importado, N – P – K con Magnekling nacional y N – P – K con Magnesoil más sulfato de magnesio, además, presentó cuatro repeticiones por tratamiento. Los mejores resultados obtenidos en las características biométricas, en las variables altura de inserción de mazorca, diámetro de tallo y número de hojas por planta fueron los tratamientos con aplicación complementaria de Magnekling importado, Magnekling nacional y Magnesoil con sulfato de magnesio, para el caso de la altura de planta, no presentó diferencias significativas en los resultados. Por otro lado, respecto a las variables relacionadas al rendimiento de mazorca, los mejores resultados para el número de granos/hilera, peso de 100 granos, peso de granos/mazorca y porcentaje de desgrane fueron los tratamientos con aplicación complementaria de Magnekling importado, Magnekling nacional y Magnesoil con sulfato de magnesio, adicionalmente, los tratamientos con fertilización complementaria de Magnesoil más sulfato de magnesio y Magnekling nacional presentaron los mejores resultados en peso de mazorca y número de mazorcas/planta; para el caso de longitud de mazorca, los mejores resultados lo obtuvieron todos los tratamientos fertilizados, menos el testigo absoluto, además, en la variable diámetro de mazorca el mejor tratamiento fue la aplicación complementaria de Magnesoil con sulfato de magnesio, asimismo, los resultados obtenidos en número de hileras/mazorca no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados mostrados influyeron en el rendimiento de grano, los tratamientos que tuvieron mejores resultados en este parámetro fueron los fertilizados complementariamente con Magnekling importado, Magnekling nacional y Magnesoil con sulfato de magnesio.

Palabras clave: fertilización, magnesio, silicio, biometría, rendimiento, maíz.

ABSTRACT

Hard yellow corn (*Zea mays* L.) is a crop of great importance worldwide because it is the key input in the balanced manufacture of animal feed. The present work consisted of evaluating the effect of complementary fertilization with different sources of magnesium and silicon on biometric characteristics, variables related to yield and grain yield of the DK-7088 hybrid, under La Molina conditions. The trial was carried out in the Experimental Agricultural Field of the La Molina National Agrarian University, during the months of June to December 2021. This research was developed under a completely randomized block design (DBCA) with five levels of fertilization: absolute control (without any application), fertilization of only N - P - K, N - P - K supplemented with imported Magnekling, N - P - K with national Magnekling and N - P - K with Magnesoil plus magnesium sulphate, in addition, it presented four repetitions per treatment. The best results obtained in the biometric characteristics, in the variables cob insertion height, stem diameter and number of leaves per plant were the treatments with complementary application of imported Magnekling, national Magnekling and Magnesoil with magnesium sulphate, in the case of plant height, did not present significant differences in the results. On the other hand, regarding the variables related to cob yield, the best results for the number of grains/row, weight of 100 grains, weight of grains/cob and shelling percentage were the treatments with complementary application of imported Magnekling, national Magnekling and Magnesoil with magnesium sulphate, additionally, the treatments with complementary fertilization of Magnesoil with magnesium sulphate and national Magnekling presented the best results in cob weight and number of cob/plant; In the case of cob length, the best results were obtained by all the fertilized treatments, except for the absolute control, in addition, in the cob diameter variable, the best treatment was the complementary application of Magnesoil with magnesium sulphate, likewise, the results obtained in number of rows/cob did not show significant differences between treatments. The results shown are related to grain yield, the treatments that had the best results in this parameter were those fertilized with imported Magnekling, national Magnekling and Magnesoil with magnesium sulphate.

Keywords: fertilization, magnesium, silicon, biometrics, yield, corn.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz amarillo duro es uno de los cultivos más importantes del mundo. Su producción tiene como principal finalidad la fabricación de alimentos balanceados para la alimentación animal (García, 2017).

En Perú, este cultivo predomina en la Costa y Selva del país, en la región Selva el rendimiento varía de 2 a 3 toneladas por hectárea, por otro lado, en la zona costera el rendimiento promedio es de 9 a 10 toneladas por hectárea, puesto que esta región se caracteriza por el uso de tecnología media a alta, uso semillas de calidad y cuentan con disponibilidad de agua (García, 2020). Durante la campaña 2018-2019 se sembró 263.2 mil hectáreas y se obtuvo una producción total de 1,270.7 mil toneladas, los departamentos con mayor superficie sembrada fueron San Martín, Loreto, Ica, Cajamarca, Ancash y Lambayeque, mientras que las principales regiones productoras, Ancash, Ica y Lima, registraron el 43% de la producción total del país (MINAGRI, 2019).

La producción local de maíz amarillo duro no cubre la demanda nacional, según las cifras del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) en el periodo 2011-2020, la demanda del país tuvo un crecimiento promedio anual de 4.9%, al pasar de 3.2 millones de toneladas en 2011 a 4.9 millones de toneladas en 2020, asimismo, según SUNAT, las importaciones de este producto pasaron de 1.9 millones de toneladas en 2011 a 3.7 en 2020, lo que significó un crecimiento acumulado del 97.2% entre estos años, de esta manera, las importaciones de maíz amarillo duro cubren más del 60% de la demanda nacional en estos años (COMEX, 2021).

En la actualidad, la poca asistencia técnica a los agricultores genera que no se realice una fertilización adecuada al cultivo (García, 2017). Según Faiguenbaum (2017), la forma convencional de nutrir al maíz es a través de la aplicación de macronutrientes primarios como fuentes de Nitrógeno, Potasio y Fósforo, sin embargo, no se considera el balance

nutricional y no se toma en cuenta la aplicación de macroelementos secundarios u otros elementos.

Debido a la importancia del cultivo en la región se debe adoptar medidas que permitan incrementar el rendimiento, para lograrlo se debe complementar el plan de nutrición. El Magnesio es un macroelemento secundario fundamental para la planta porque está presente en varias funciones claves como la formación de clorofila, la síntesis de proteínas, la activación de enzimas, formación de ATP (fosforilación) y la fijación de CO₂ durante la fotosíntesis, por mencionar algunas (Cakmak y Yazici, 2010). Por otro lado, el Silicio es un elemento no esencial, pero con beneficios muy importantes para la agricultura, este elemento interviene en la estimulación de la fotosíntesis, aumenta en la fuerza de los tejidos y reducción de la tasa de transpiración, además, favorece en la resistencia de las plantas a estrés físico, químico y biológico. (Florensa, 2020)

El desafío es aumentar el rendimiento, mejorando el manejo del cultivo, una alternativa importante para superar este problema es complementar la fertilización, ya que con un buen manejo nutricional se puede alcanzar el potencial máximo de producción, así como fortalecer al cultivo contra factores de estrés biótico y abiótico.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización complementaria con diferentes fuentes de magnesio y silicio en las características biométricas de planta, las variables relacionadas al rendimiento y rendimiento de grano del maíz amarillo duro híbrido DK-7088.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de maíz

2.1.1. Taxonomía

Según Takhtajan (1980), reporta la siguiente clasificación taxonómica:

División: Magniophyta

Clase: Liliopsida o monocotyledones

Orden: Poales,

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Mays* L.

2.1.2. Origen

El maíz (*Zea mays* L.) es un importante cereal, originario de México. Esta especie se expandió hasta Canadá por el norte y hasta Argentina por el sur. Posteriormente, tras el descubrimiento de América, el cultivo se extendió por Europa, África y Asia. (Gonzales, 1995)

2.1.3. Descripción morfológica del cultivo

Raíz:

Según IICA (1989), la raíz primaria que se desarrolla directamente del embrión da lugar a muchas raíces secundarias las que a su vez dan lugar a otras ramificaciones. Por lo tanto, Takhtajan (1980) sostiene que las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen algunos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

Tallo:

Paliwal (2001) menciona que el tallo puede contener hasta 30 hojas. Además, Takhtajan (1980) lo describe como simple, erecto, robusto, similar a una caña con una médula esponjosa en su interior, tiene una longitud elevada que puede alcanzar hasta 4 metros de altura.

Hojas:

Takhtajan (1980) indica que son paralelinervias, lanceoladas, alternas, largas, de gran tamaño, con extremos muy afilados y cortantes. Presentan vellosidades en el haz y se distribuyen abrazadas al tallo.

Inflorescencia:

Se considera al maíz como una planta monoica, ya que presenta inflorescencia femenina y masculina separada en la misma planta. Según Paliwal (2001), en la axila de las hojas de la mitad superior de la planta se desarrollan una o dos yemas laterales, estas terminan en una inflorescencia femenina la cual, una vez fecundada por los granos de polen, producirá una mazorca envuelta en hojas y ese órgano contendrá los granos de maíz. En cambio, en la parte superior de la planta se encuentra la inflorescencia masculina o panoja, está conformado por una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales, que contienen las flores masculinas, donde producen abundantes granos de polen.

Fruto:

Takhtajan (1980) afirma que el fruto del maíz es un cariopse. El fruto maduro tiene tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. El pericarpio o pared del ovario está adherida a la testa o cubierta de la semilla y conjuntamente están combinadas para conformar la pared del fruto. Por debajo, se encuentra la capa de aleurona, esta contiene proteínas, además, brinda el color al grano. En su interior se halla el endospermo y contribuye con 85 a 90% del peso del grano.

2.2. Magnesio

2.2.1. Magnesio en la naturaleza

El Magnesio (Mg) forma parte de muchos minerales, comprende el 2 % de la corteza terrestre. Este elemento se puede hallar en forma soluble, cambiante e insoluble, sin embargo, su contenido es inferior al del Calcio y Potasio. Las principales fuentes de Magnesio en las rocas ígneas básicas son los minerales ferromagnesianos, como el olivino, piroxeno, anfíbol y la mica. Por otro lado, también existen minerales derivados de estos, conocidos como minerales secundarios, en este grupo encontramos a la dolomita $[\text{MgCO}_3(\text{CaCO}_3)_2]$, magnesita (MgCO_3), talco $[(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2)]$ y el grupo de las serpentinas $[(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)]$. (Mikkelsen, 2010)

2.2.2. Importancia del Magnesio en el suelo

Como se mencionó anteriormente, el magnesio es un componente común en diversos minerales y representa el 2% de la corteza terrestre. Sin embargo, el 90 al 98% del Mg en el suelo se encuentra en la estructura cristalina de los minerales, por consiguiente, las plantas no pueden absorberlo directamente (Senbayram *et al.*, 2015).

Además, las principales fuentes de magnesio disponibles en los suelos son los minerales secundarios, por ejemplo, la mica y la clorita, minerales arcillosos (Salmon, 1963). Para que esté disponible, el Mg adsorbido requiere reemplazarse por otros cationes, como potasio (K^+) e hidrógeno (H^+), de la solución del suelo (Senbayram *et al.*, 2015).

El magnesio disponible para la planta en el suelo es el Mg^{2+} de la solución del suelo y el Mg^{2+} intercambiable, estas se encuentran en equilibrio con el Mg^{2+} no intercambiable adsorbido en la fase sólida del suelo. El Mg total se encuentra en formas no disponibles para la planta, corresponde al Mg^{2+} retenido en los coloides del suelo y en la estructura de los minerales. Sin embargo, a través del tiempo, pasarán a formas disponibles dependiendo de ciertos factores como la tasa de meteorización de minerales, la duración e intensidad de la meteorización, el pH del suelo, humedad del suelo, la actividad microbiana y de las raíces en el suelo (Mayland y Wilkinson, 1989).

El pH del suelo tiene incidencia directa sobre la liberación de Mg de los minerales arcillosos y su absorción por parte de las plantas. A pH ácido, la concentración de Mg intercambiable tiende a aumentar, sin embargo, la dominancia de H⁺ en la rizósfera puede obstaculizar la absorción de Mg, generando deficiencia en la planta, esto reducirá el rendimiento y afectará la calidad de los productos agrícolas (Mayland y Wilkinson, 1989).

2.2.3. Importancia del Magnesio en las plantas

El magnesio es un macronutriente que la planta lo absorbe en forma de ion magnesio (Mg²⁺), a través de sus raíces por flujo de masas en forma de catión desde la solución suelo. El requerimiento de Magnesio en plantas es de 1,5 a 3,5 g kg⁻¹ en partes vegetativas, para lograr un crecimiento óptimo, su absorción puede ser afectada por otros cationes o un pH ácido (Clavijo, 2001).

Por ejemplo, relaciones altas de Ca/Mg, ocasionará que la planta absorba menos magnesio. Además, debido a la competencia de protones, la deficiencia de este macronutriente secundario puede aumentar con dosis altas de potasio (Rodríguez y Flórez, 2004).

El Magnesio es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, las principales funciones de este nutriente son:

La función principal del Mg²⁺ en las hojas verdes es como átomo central de la molécula de clorofila. La proporción de Mg²⁺ total unido a la clorofila depende del suministro de Magnesio (Clavijo, 2001). Por ejemplo, según Scott y Robson (1990), la proporción varía entre el 6% en plantas con alto suministro y el 35% en plantas deficientes.

Para lograr la biosíntesis de clorofila, el primer paso es la inserción de Mg²⁺ en la estructura de porfirina y es catalizada por Mg quelatasa (Walker y Weinstein, 1991).

La activación de esta enzima requiere ATP y Magnesio (Kobayashi *et al.*, 2008). Además, para la liberación de Magnesio durante la descomposición de la clorofila es necesario la clorofilasa la va a hidrolizar a clorofilida y fitol; y el Mg-quelatasa produciendo feofitina y Mg²⁺ (Schelbert *et al.*, 2009).

Por otro lado, para Clavijo (2001) cuando el suministro de Magnesio es óptimo para el crecimiento, aproximadamente, un 10 a 20% del total en las hojas se localiza en cloroplastos y menos de la mitad de este valor se une a la clorofila. Además, el autor menciona que en los cloroplastos y el citoplasma se necesitan mayores concentraciones de Mg^{2+} y K^+ para mantener un pH entre 6.5 y 7.5. Este equilibrio es fundamental para la síntesis de proteínas y la actividad enzimática en la célula, puesto que, el magnesio también tiene una función esencial como elemento puente para la unificación de subunidades de ribosomas. (Cammarano *et al.*, 1972), un proceso indispensable para la formación de proteínas. Según Sperrazza y Spemulli (1983), en condiciones con deficiencia de Mg^{2+} o en altas concentraciones de K^+ , las subunidades se disocian y cesa la síntesis de proteínas.

Otra función importante del del magnesio es que promueve la activación de varias enzimas, principalmente, aquellos que actúan en la transferencia de fosfatos (fosfatasas y ATPasas) o de grupos carboxilos (carboxilasas). (Clavijo, 2001)

Además, según Rea y Sanders (1987), el complejo Mg-ATP es el sustrato para las ATPasas, así como las pirofosfatasas inorgánicas, en lugar del ATP libre, este complejo se estabiliza por encima de pH 6. También en el proceso de síntesis de ATP en cloroplastos aislados aumenta considerablemente por el suministro externo de Mg^{2+} , contrario es el caso cuando existe adición de Ca^{2+} , pues inhibe severamente la fotofosforilación.

Asimismo, otra enzima con alta demanda de Magnesio es la fructosa-1,6-bisfosfatasa, esta regula la partición de asimilación entre la síntesis de almidón y la exportación de triosa fosfatos en los cloroplastos (Gerhardt *et al.*, 1987). Otra reacción clave del Magnesio es la modulación de la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa (RuBisCO) en el estroma de los cloroplastos, pues la unión de Mg^{2+} a la enzima aumenta afinidad (K_m) con el sustrato CO_2 y la tasa de rotación V_{max} (Sugiyama *et al.*, 1968).

El síntoma más visible de deficiencia de Magnesio es la clorosis de las hojas completamente expandidas. La deficiencia de este macronutriente da como resultado una menor proporción de proteína, además, la tasa fotosintética por unidad de clorofila o unidad de área foliar es menor en hojas de plantas deficientes en Magnesio. Sin embargo, según Forster (1980) los

síntomas leves y transitorios de deficiencia de Magnesio durante la etapa de crecimiento vegetativo, no siempre dará como resultado un bajo rendimiento, a menos que ocurran cambios irreversibles, como una reducción en el número de granos por mazorca en los cereales. Además, la concentración de almidón en los tejidos de almacenamiento disminuirá cuando el Magnesio sea deficiente y la exportación de carbohidratos desde la fuente a los sitios de sumidero sea vea afectada, esto puede suceder en el maíz y se expresa con la reducción del peso del grano.

2.3. Silicio

2.3.1. Silicio en la naturaleza

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. La accesibilidad de este elemento a las plantas dependerá de la meteorización de minerales arcillosos y silicatos porque de esta manera se liberará silicio a la solución del suelo. Se representa como sílice (SiO_2), en los primeros 30 cm del suelo, su concentración y ocurrencia oscila entre el 60 y 90% (Navarro y Navarro, 2003).

Las principales fuentes de Silicio en los minerales primarios son el feldespato y cuarzo. Por otro lado, también existen minerales derivados de estos, conocidos como minerales secundarios, en este grupo encontramos a las micas y minerales arcillosos, como la caolinita y esmecita. (Álvarez y Osorio, 2014)

Además, en la naturaleza existen otras sustancias que contienen silicio activo, como el ácido silícico o monosilícico y ácidos polisilícicos, que influyen en la fertilidad del suelo y la nutrición vegetal (Matichenkov, 2008).

2.3.2. Importancia del Silicio en el suelo

El silicio (Si) es uno de los elementos de mayor abundancia de la corteza terrestre, por lo general, se encuentra asociado al oxígeno formando dióxido de silicio (SiO_2). Además, forma parte de minerales primarios como el cuarzo y partículas de suelo como la arena y arcillas insolubles, los cuales no son absorbibles por las raíces de los vegetales desde la solución del suelo (Matichenkov y Bocharnikova, 2001).

La única forma asimilable de silicio por las plantas es bajo la forma de ácido monosilícico u ortosilícico (H_4SiO_4) Mitani and Ma (2005). En minerales altamente resistentes a la meteorización, como el cuarzo, el Si está completamente indisponible. Por otro lado, a un pH por debajo de 9 en la solución del suelo, la forma que predomina es el ácido monosilícico u ortosilícico (H_4SiO_4), esta molécula sin carga en agua a 25 °C presenta una solubilidad de 2 mM, lo que equivale a 56 mg Si L⁻¹. La concentración de este elemento en la solución del suelo es de 14 a 20 mg Si L⁻¹, sin embargo, el rango puede ser entre 3,5 a 40 mg. Caso contrario sucede a pH por encima de 9, cuando hay grandes cantidades de sesquióxidos en los suelos y la adsorción de aniones es dominante, ya que la concentración tiende a bajar (Jones y Handreck, 1965).

Gonzales (2018) menciona que cuando el Silicio es considerado dentro del plan de fertilización de los cultivos, este aporta grandes beneficios en la productividad; sin embargo, la elevada extracción del silicio asimilable desde la solución suelo por las plantas, las pérdidas por lavado y escorrentía generan que las formas disponibles de este elemento se agoten fácilmente (Datnoff *et al.*, 1997).

2.3.3. Importancia del Silicio en las plantas

Las raíces de las plantas toman el silicio en forma de ácido monosilícico (H_4SiO_4). Rápidamente, se absorbe a través del pelo radicular, se transporta por el apoplasto hacia el xilema y la parte aérea de las plantas. Posteriormente, se concentra en cantidades importantes como uno de los principales constituyentes de la materia seca (Mitani y Ma, 2005). Este es un ácido muy débil en soluciones acuosas, se localiza, principalmente, en las paredes celulares e interactúan con pectinas y polifenoles. La absorción de Si desde el suelo, por las plantas, se encuentra en un rango de 20-40 kg/ha para ecosistemas terrestres caracterizados por bajos niveles de biomasa, sin embargo, se puede incrementar hasta 3000 kg/ha en zonas tropicales y subtropicales (Watteau y Villemin, 2001).

El Silicio es beneficioso para muchas especies. Algunas familias como la Gramineae, Cyperaceae y Balsaminaceae, acumulan altas cantidades de silicio (40mgkg⁻¹), las familias Cucurbitaceae, Urticaceae y Commelinaceae, moderadas cantidades (20 - 40mgkg⁻¹) y la mayoría de las otras especies, presentan una baja acumulación de este elemento. (Ma y Takahashi, 2002). Esta diferencia en la acumulación de Si entre especies, se puede atribuir

a las diferentes capacidades de las raíces para absorber Si (Ma y Takahashi, 2002). Es preciso mencionar que hay tres modos diferentes para la absorción de Si: captación activa, pasiva y selectiva; y dependerá de la especie vegetal (Ma *et al.*, 2001).

Las plantas con modo de absorción activa toman el silicio más rápido que el agua, esto conlleva al agotamiento del Si en la solución del suelo, por ejemplo, el arroz que presenta 7.3% de Si en la materia seca. Por otro lado, las plantas con modo pasivo de absorción del silicio lo toman de la solución a una velocidad similar de absorción del agua y no presentan cambios significativos en la concentración del Si en la solución de absorción, tal es el caso del pepino que alcanza una concentración 2.3% de Si en la base seca. Caso contrario, las plantas con modo de absorción selectivo del Si tienden a excluir este elemento, esto se demuestra con la alta concentración en la solución externa, por ejemplo, el tomate, que alcanza una concentración de 0.2% de Si en la materia seca. Sin embargo, los mecanismos involucrados en las plantas sobre los diferentes modos de absorción del Si, aún no están del todo claro. (Mitani y Ma, 2005).

El Si presenta varias funciones como la estimulación de la fotosíntesis, aumento en la fuerza de los tejidos, reducción de la tasa de transpiración y entre otros. Todas estas funciones favorecen el incremento de la producción de materia seca, la resistencia de las plantas a estrés físico, químico y biológico.

Los síntomas de la deficiencia de Silicio varían de acuerdo con el cultivo, sin embargo, uno de los más visibles son las pecas en las láminas de las hojas expuestas directamente a la luz solar (Elawad *et al.*, 1982). Además, el rendimiento se reduce debido a la disminución de la fertilidad (Tamai y Ma, 2008).

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo Libres 2 – Lote 3 de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en la región de Lima, provincia de Lima, distrito de La Molina, en Perú.

3.2. Características climatológicas

La Molina presenta un clima desértico - árido - subtropical en base a los promedios anuales de precipitación y temperatura, de acuerdo con la “Clasificación de tipos de climas en el Perú” (MIDAGRI) y el sistema de clasificación climática Köppen. La Tabla 1 presenta los datos promedios mensuales de clima del campo experimental durante el desarrollo del cultivo, esta información se obtuvo del Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 1: Datos meteorológicos de la estación “Alexander Von Humboldt”

2021	Temperatura media mensual (°C)			Humedad relativa media mensual (%)	Precipitación mensual (mm)	Presión promedio mensual (mb)	Velocidad de viento promedio mensual (m/s)
	Prom	Max	Min				
Junio	16.65	19.80	14.68	84.06	5.60	986.90	2.42
Julio	15.88	19.18	13.98	82.70	1.70	986.66	2.70
Agosto	15.61	19.57	13.69	82.73	1.30	987.13	3.00
Setiembre	15.49	19.86	12.79	82.00	0.20	986.75	3.12
Octubre	16.57	21.89	13.27	78.79	4.20	971.29	3.47
Noviembre	17.71	22.49	14.50	78.91	0.10	971.44	3.44
Diciembre	19.67	24.36	16.22	76.77	0.00	968.61	3.34

FUENTE: SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos

En este periodo, las variables climatológicas; temperatura media mensual (de 16.65 °C a 19.67°C) y velocidad de viento promedio mensual (2.42 m/s a 3.34 m/s) aumentaron significativamente. Por otro lado, la humedad relativa media mensual (de 84.06 % a 76.77 %), precipitación mensual (de 3.60 mm a 0.00 mm) y presión promedio mensual (de 986.90 mb a 968.61 mb) se redujeron considerablemente.

3.3. Características del suelo

Se muestreo aleatoriamente el suelo del campo experimental antes de la instalación del ensayo a una profundidad de 25 cm, cubriendo la totalidad del área. Todas las muestras se mezclaron hasta homogenizar y se fraccionó, este proceso se realizó hasta obtener una muestra de un kilogramo. Posteriormente, se llevó la muestra al Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina (LASPAF - UNALM) para realizar el análisis de caracterización físico – química. Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Análisis de caracterización físico-químico del suelo

Características	Resultado	Unidad
Análisis mecánico		
Arena	49	%
Limo	30	%
Arcilla	21	%
Clase textural	Franco	
pH (1:1)	7.28	
C.E (1:1)	0.62	dS/m
CaCO ₃	6.30	%
M.O.	1.68	%
Fósforo disponible	38.4	ppm
Potasio disponible	377	ppm
CIC	12.32	meq/100g
Cationes cambiables		
Ca ⁺²	8.84	meq/100g
Mg ⁺²	2.27	meq/100g
K ⁺	0.75	meq/100g
Na ⁺	0.46	meq/100g
Al ⁺³ + H ⁺	0.00	meq/100g
Suma de cationes	12.32	
Suma de bases	12.32	
Saturación de bases	100	%

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) – UNALM 2021

Los resultados muestran que el suelo del campo experimental es de clase textural franca, este corresponde a suelos donde no domina en exceso ninguna de las fracciones de arena, limo o arcilla y se considera un punto de equilibrio adecuado para la agricultura. El pH del suelo es ligeramente alcalino (7.28), aceptable para el cultivo. La salinidad es muy baja (0.62 dS/m), esto se debe a que el campo se maneja con un sistema de riego por gravedad. El contenido de carbonato de calcio es alto (6.3%), considerándose un suelo moderadamente calcáreo y se da la posibilidad que limite la disponibilidad de fósforo para el cultivo. Además, presenta un bajo contenido de materia orgánica (1.68 %) por lo que la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo también es limitada y por tanto existe alta probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada. Por otro lado, el contenido de fósforo disponible es alto (38.4 ppm), así como el contenido de potasio disponible (377 ppm). El CIC obtenido es bajo (12.32 meq/100 g) y la valoración que se le da es de suelo pobre, este resultado es característico de la clase textural franco. Los cationes cambiabiles que predominan saturando el complejo de cambio es el calcio y magnesio, esta característica establece relaciones catiónicas Ca^{+2}/Mg^{+2} de 3.89, Ca^{+2}/K^{+} de 11.78 y Mg^{+2}/K^{+} de 3.03.

3.4. Características del agua de riego

Se realizó un muestreo el agua utilizada para el riego del área experimental, esta proviene de la red de canales de agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3: Análisis de caracterización del agua

Características	Resultado	Unidad
C.E	0.68	dS/m
pH	7.10	
Calcio	4.59	meq/L
Magnesio	0.87	meq/L
Potasio	0.16	meq/L
Sodio	1.32	meq/L
Suma de Cationes	6.94	
Nitratos	0.05	meq/L
Carbonatos	0.00	meq/L
Bicarbonatos	2.58	meq/L
Sulfatos	2.03	meq/L
Cloruros	2.20	meq/L
Suma de Aniones	6.86	
Sodio	19.03	%
RAS	0.80	
Boro	0.29	Ppm
Clasificación	C2-S1	

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) – UNALM 2021

Los resultados muestran que, según el nomograma de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego, la clasificación es C2-S1 que se caracteriza por presentar salinidad media y bajo contenido de sodio, considerándose como agua apta para el riego. Además, el análisis indica que el pH se encuentra en los rangos normales de aguas de riego. Asimismo, hay predominio del catión de calcio y en condiciones normales se pueden formar precipitados de bicarbonato de calcio y de magnesio. Por otro lado, no existe problemas de toxicidad por sodio, cloruros, ni boro. Del mismo modo, es baja la relación de adsorción de sodio.

3.5. Materiales y Equipos

3.5.1. Material genético

En la instalación del ensayo se utilizó el híbrido DEKALB 7088 del cultivo de maíz para todas las repeticiones. Esta semilla es un híbrido simple, rústico y de alto potencial de rendimiento. En las principales características se destacan las hojas semi erectas, respuesta positiva frente a las principales enfermedades, buena estabilidad de producción y de buena adaptación a diferentes valles y zonas agroclimáticas. Además, la densidad de siembra óptima recomendada para grano es de 78,000 plantas por hectárea; para alcanzar 72,000 plantas por hectárea en la etapa de cosecha (HORTUS, 2020).

Los diversos ensayos realizados en la costa peruana del híbrido DK - 7088 y lo indicado en la ficha técnica del producto muestran las siguientes características; 228 cm en altura de planta, 115 cm en altura de inserción de mazorca, 70 a 86 días a floración, 120 a 150 días a cosecha, prolificidad mínima de 1.03, textura de grano semi cristalino, tipo de grano semi dentado, muy buena cobertura de mazorca y 16 a 20 hileras por mazorca en promedio (HORTUS, 2020).

3.5.2. Fuentes de fertilizantes

Las fuentes de fertilizantes que se utilizaron en el presente experimento se muestran en la Tabla 4. En la Tabla 5 se muestran materiales empleados en el presente ensayo.

Tabla 4: Fuentes de fertilizantes

Fuente	Concentración (%)					
	N	P2O5	K2O	MgO	SiO2	S
Urea	46					
Fosfato Diamónico	18	46				
Cloruro de Potasio			60			
Magnekilng Importado				31	35	
Magnekilng Nacional				31	35	
Magnesoil				8	36	
Sulfato de Magnesio				16		12

3.5.3. Otros materiales

Tabla 5: Otros materiales

Fertilizantes/insumos	Material de campo	Equipos de campo	Materiales y equipos de laboratorio
Urea	Wincha	Tractor	Vernier
Fosfato diamónico	Cintas de plástico	Arado de disco	Recipientes
Cloruro de potasio	Bolsas de papel	Rastra	Bolsas de papel
Magnekling Importado	Estacas	Grada	Lapicero
Magnekling Nacional	Etiquetas	Cajón surcador	Estufa
Magnesoil	Libreta de campo	Mochila de fumigación	Medidor de Humedad
Sulfato de Magnesio	Lapicero	Medidor de Humedad	Balanza electrónica
Cal	Marcador indeleble	Báscula de 50 Kg	Balanza gramera
	Costales		
	Pala		
	Azadón		

3.6. Manejo agronómico

La semilla de maíz fue sembrada en campo de forma directa, para ello, se realizó las siguientes labores:

- **Preparación de terreno:** Se realizó el riego machaco, un mes después, se procedió con el paso del arado de discos, rastras, gradas y cajón surcador.
- **Delimitación del ensayo:** Se marcó el ensayo con cal, se estacó los límites y se

identificó las parcelas con etiquetas numeradas.

- **Siembra:** Se realizó de forma manual a una profundidad aproximada de 7 cm, cada tratamiento fue instalado en una parcela de cuatro surcos con una longitud de 5.00 m cada uno, se colocó 2 semillas por golpe con un distanciamiento de 0.30 m entre golpes y la separación entre surcos será de 0.80 m.
- **Aporque:** se realizó después de la segunda fertilización con la finalidad de brindar soporte a la planta y reducir la incidencia de malezas.
- **Riego:** Se utilizó el agua que proviene del canal que abastece a La Molina, el tipo de riego fue por gravedad. Durante toda la campaña se aplicó 16 riegos con volumen de 1000 a 1500 m³/ha.
- **Control de malezas:** Se realizó la primera aplicación a los 22 días después de la siembra, con el herbicida Atrazina para hoja ancha (*Nicandra physalodes*, *Portulaca sp.* y entre otras), la dosificación fue de 0.80 L cilindro⁻¹. Posteriormente, 44 días después de la siembra se aplicó el herbicida Nicosulfuron para las gramíneas perennes anuales (*Sorghum halepense*), la dosificación fue de 0.50 L cilindro⁻¹. Además, se realizó un desmalezado manual haciendo uso de un azadón.
- **Control de plagas:** Se realizó el control de larvas (*Spodoptera frugiperda*, entre otras) con la aplicación de Metomyl y Skirla en dosificación de 100 g cilindro⁻¹ cada una, también se aplicó Ciclón en dosificación de 150 ml cilindro⁻¹ para el control de mosca minadora y pulgones. Adicionalmente, se colocó cebos tóxicos para el control de ratas y se encaló las mazorcas para reducir la incidencia de pájaros.
- **Fertilización:** El trabajo experimental constó de un testigo (sin fertilización) y 4 tratamientos donde se utilizó diferentes fuentes de fertilizantes, la concentración de los nutrientes empleados se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Dosis (kg/ha) requerida para la etapa de crecimiento

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SiO ₂
120	120	170	77.5	87.5

El fertilizante nitrogenado fue fraccionado en dos partes, la cual se aplicó a los 15 y 45 días después de siembra. Los demás se aplicaron en su totalidad en la primera fertilización.

- **Cosecha:** Se realizó una vez las mazorcas alcanzaron la madurez comercial, aproximadamente, 160 días después de la siembra. Se rotuló los sacos y separó todas las mazorcas extraídas por cada subparcela, posteriormente, se registró el peso de lo cosechado y se determinó el porcentaje de humedad. Finalmente, se trasladó lo cosechado a una casa malla para el secado.

3.7. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental que se empleó fue el de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamientos y un testigo, distribuidos en cuatro repeticiones por cada tratamiento, siendo un total de veinte unidades experimentales. Las comparaciones entre los tratamientos se realizaron con la prueba de Tukey con grado de significancia al 5%.

3.7.1. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Tratamientos en estudio

Tratamientos	Fuentes	Dosis (kg/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SiO ₂
T0	Testigo: Sin aplicación de fertilizantes.	-	-	-	-	-
T1	Fertilización convencional: Urea + Fosfato diamónico + Cloruro de Potasio	120	120	170	-	-
T2	Fertilización convencional + Magnekling Importado.	120	120	170	77.5	87.5
T3	Fertilización convencional + Magnekling Nacional.	120	120	170	77.5	87.5
T4	Fertilización convencional + Magnesoil + Sulfato de Magnesio.	120	120	170	77.5	87.5

3.7.2. Modelo estadístico

El modelo aditivo lineal para cada experimento fue:

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

Para:

i: 1,2,3 5 fuentes de fertilización (Tratamientos).

j: 1,2,3 4 repeticiones.

Donde:

Y_{ij} = Es la observación del i-ésimo tratamiento aplicado en el j-ésimo bloque.

U = Media general.

T_i = Efecto de la i-ésimo fuente de fertilización.

B_j = Efecto del j-ésimo repetición.

E_{ij} = Error experimental o residual.

3.7.3. Características y distribución del área experimental

En la Tabla 8 se resumen las características del área experimental.

Tabla 8: Características del área experimental

Características del Área Experimental	
Tratamientos	5
Número de repeticiones por tratamiento	4
Largo de la parcela	20 m
Ancho de la parcela	16 m
Área por subparcela	16 m ²
Área por tratamiento	64 m ²
Área total del ensayo	320 m ²

En la Figura 1 se muestra la distribución de los tratamientos en el área experimental.



Área por tratamiento: 64 m²
 Número de plantas marcadas por repetición: 5
 Número de surcos por tratamiento: 4
 Distanciamiento entre surcos: 0.8m

Figura 1: Distribución de área experimental

3.8. Variables evaluadas

3.8.1. Características biométricas de la planta

- Altura de planta (cm): Esta evaluación se realizó en las 5 plantas marcadas de las hileras centrales por subparcela y se midió desde la base del tallo hasta la base de la inserción de la panoja.
- Altura de inserción de mazorca en planta (cm): Esta evaluación se realizó en las 5 plantas marcadas de las hileras centrales por subparcela y se midió desde la base del tallo hasta la base de la mazorca principal.
- Diámetro del tallo (cm): Esta evaluación se realizó en las 5 plantas marcadas de las hileras centrales por subparcela y se midió el diámetro del tallo a la altura del tercer entrenudo tomando como referencia la zona radicular.
- Número total de hojas por planta: Esta evaluación se realizó en las 5 plantas

marcadas de las hileras centrales por subparcela y se contó las hojas activas en la planta.

3.8.2. Características relacionadas al rendimiento

- Número de mazorcas por planta: Esta evaluación se realizó en las 5 plantas marcadas de las hileras centrales por subparcela y se contó el número de mazorcas por planta.
- Longitud de mazorca (cm): Esta evaluación se realizó en 5 mazorcas al azar de cada subparcela y se utilizó un vernier para medir el largo de cada mazorca de extremo a extremo.
- Diámetro de mazorca (cm): Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela y se utilizó un vernier para medir el diámetro de la mazorca en el tercio medio de cada una.
- Número de hileras por mazorca: Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela y se contó el número de hileras por mazorca en la parte media de cada una.
- Número de granos por hilera: Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela y se eligió dos hileras por mazorca al azar, en ellas se contó el número de granos, posteriormente, se calculó el promedio.
- Peso por mazorca (g): Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela, se pesó las mazorcas seleccionadas y se promedió.
- Peso de granos por mazorca (g): Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela, se desgranó manualmente cada una y se pesó los granos.
- Porcentaje de desgrane (%): Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela, se determinó mediante la división del peso de semillas por mazorca entre el peso total de la mazorca y multiplicado por 100.
- Peso de 100 granos (g): Esta evaluación se realizó en las 5 mazorcas seleccionadas en la variable anterior por cada subparcela, se contabilizó 100 granos y se registró el peso obtenido.

3.8.3. Rendimiento de grano (kg/ha)

Para expresar los rendimientos de cada tratamiento se cuantificó el de cada subparcela por el porcentaje de desgrane y por 0.971 considerado como coeficiente de contorno. Según la siguiente fórmula:

$$RG = Pc * 0.971 * \%D * Fh * Ff * \frac{10000}{A}$$

Donde:

RG: Rendimiento de grano (kg/ha)

Pc: Peso total de mazorca cosechada en la parcela

0.971: Factor de contorno

%D: Porcentaje de desgrane (peso de grano Pg /Pc * 100)

A: Área de la parcela (m²)

Fh: Factor de corrección por humedad al 14%

$$Fh = \frac{100 - \% \text{ humedad (H)}}{100 - 14}$$

Ff: Factor de corrección por fallas.

$$Ff = \frac{H - 0.3 * F}{H - F}$$

Donde:

H: Número de golpes por parcela.

F: Número de fallas.

Para el número de fallas se considerará lo siguiente: 2 plantas/golpe (0 fallas), 1 planta/golpe (0.5 fallas) y 0 plantas/golpe (1 falla).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características biométricas de la planta

4.1.1. Altura de planta (cm)

En la Tabla 9 y Figura 2, se observa que los resultados de altura de planta (cm) varían de 215.75 cm a 228.20 cm. El tratamiento con mayor altura de planta (cm) se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, los promedios no presentan diferencias significativas, por lo tanto, los resultados de altura de planta (cm) obtenidos en todos los tratamientos fueron similares estadísticamente, según la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 9: Altura de planta (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (cm)	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	228.20	A
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	227.15	A
T2	N - P - K + Magnekling Importado	226.25	A
T1	N - P - K	223.70	A
T0	Testigo	215.75	A
PROMEDIO		224.21	
CV		2.74%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

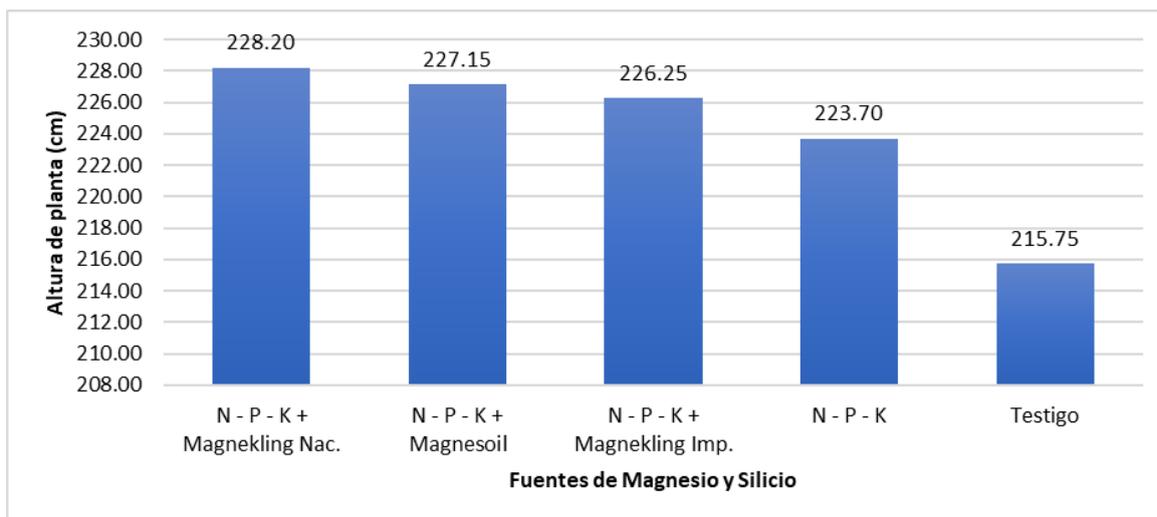


Figura 2: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la altura de planta (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.).

En los resultados detallados en la Tabla 9 y Figura 2 se observa que los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) que alcanzaron resultados de 228.20 cm, 227.15 cm, 226.25 cm, 223.70 cm y 215.75 cm, respectivamente, no presentando diferencias estadísticas significativas en la altura de planta.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Olazo (2014), en la investigación realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, demostró que la altura de planta no presentaba diferencia significativa entre los tratamientos bajo diferentes niveles de fertilización complementados con fuentes de magnesio en maíz híbrido amarillo duro. Esto se debe a que la semilla utilizada fue DEKALB 7088, este es un híbrido simple y según MacRobert *et al.* (2015), la apariencia de los híbridos de cruce simple es muy uniforme, ya que cada planta tiene la misma configuración genética. Asimismo, Paliwal *et al.* (2001), sostiene que la altura de planta del maíz es un carácter que posee alta heredabilidad, por ello, está definida por sus características genéticas y está influenciado en menor grado por los factores externos o del ambiente. Además, Ramírez y Egaña (2003) sostienen que el genotipo da cierto valor al individuo, sin embargo, este valor se ve afectado por el ambiente. En el caso de este parámetro evaluado, la altura de planta depende principalmente del genotipo y según las condiciones dadas a cada tratamiento se verá afectada de forma positiva o negativa.

4.1.2. Altura de inserción de mazorca (cm)

En la Tabla 10 y Figura 3, se observa que los resultados de altura de inserción de mazorca (cm) varían de 125.40 cm a 135.35 cm. El tratamiento con mayor altura de inserción de mazorca (cm) se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentan diferencias estadísticas entre sí en la altura de inserción de mazorca en planta (cm) y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 10: Altura de inserción de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (cm)	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	135.35	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	135.20	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	134.50	a
T1	N - P - K	131.10	ab
T0	Testigo	125.40	b
PROMEDIO		132.31	
CV		3.04%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

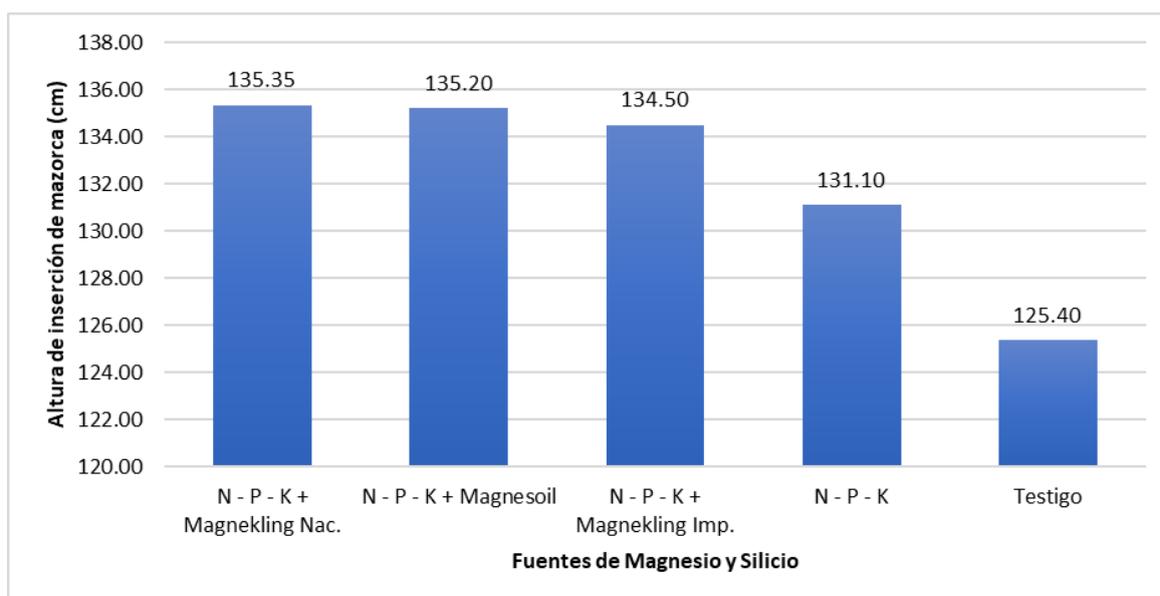


Figura 3: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la altura de inserción de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 10 y Figura 3 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en la altura de inserción de mazorca en planta. Este parámetro está directamente relacionado con la altura de planta, por lo tanto, en mayor parte, los resultados se deben al factor genético, sin embargo, los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) tuvieron alturas de 135.35 cm, 135.20 cm y 134.50 cm, respectivamente; estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T0 (Testigo) que llegó a 125.40 cm.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Alzugaray *et al.* (2004), quien demostró el efecto positivo del magnesio en el aumento de la masa radicular, esto genera mayor superficie de absorción e incentiva el mayor crecimiento en altura y diámetro de planta. Por otro lado, estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Olazo (2014), en la investigación realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, corroboró que el magnesio no influye en este parámetro, ya que en su investigación el tratamiento sin aplicación de fertilizantes tuvo diferencia significativa superior comparado con el tratamiento que se consideró al magnesio como uno de los nutrientes dentro del plan de fertilización. Los tratamientos con aplicaciones de magnesio y silicio tuvieron mejores resultados, esto se puede deber a la influencia que tiene el silicio en el aumento de la masa y el volumen de las raíces (Adatia y Besford, 1986). Del mismo modo, se sostiene que el plan de fertilización realizado afectó de forma positiva o negativa a cada tratamiento, tal como lo indica Ramírez y Egaña (2003).

4.1.3. Diámetro de tallo (mm)

En la Tabla 11 y Figura 4, se observa que los resultados de diámetro de tallo (mm) varían de 28.73 mm a 26.25 mm. El tratamiento con mayor diámetro de tallo (mm) se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentan diferencias significativas entre sí y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 11: Diámetro de tallo (mm) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (mm)	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	28.73	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	28.68	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	28.50	a
T1	N - P - K	27.5	ab
T0	Testigo	26.25	b
PROMEDIO		27.93	
CV		2.65%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

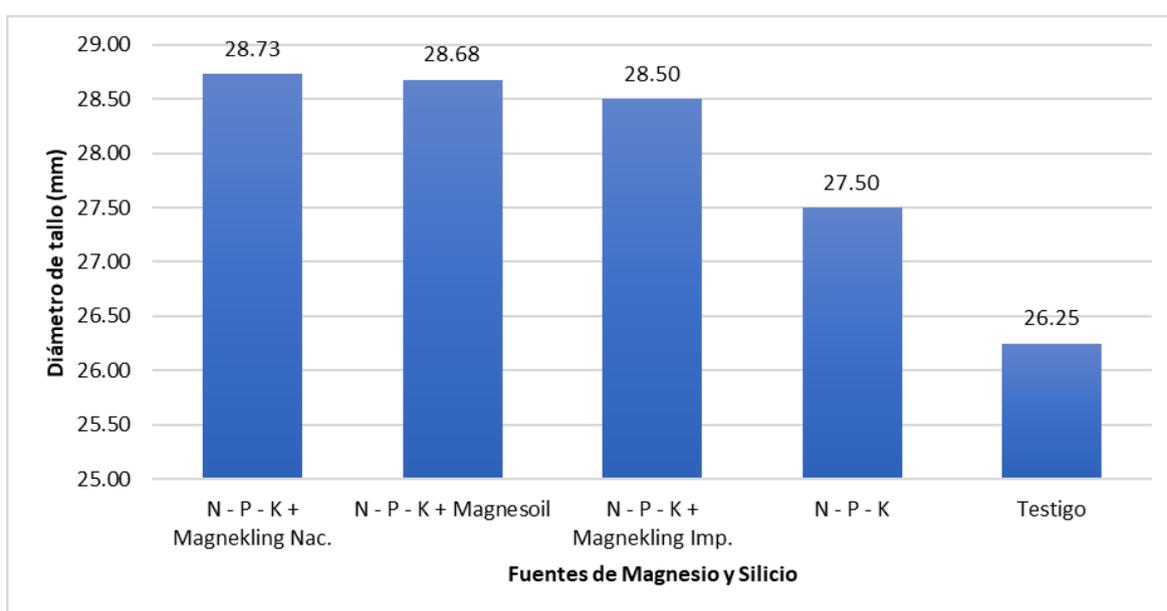


Figura 4: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el diámetro de tallo (mm) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 11 y Figura 4 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el diámetro de tallo. Los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) alcanzaron el diámetro de 28.73 mm, 28.68 mm y 28.5 mm, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T0 (Testigo) que llegó a 26.25 mm.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Alzugaray *et al.* (2004), quien demostró el

efecto positivo del magnesio en el aumento de la masa radicular, esto genera mayor superficie de absorción e incentiva el mayor crecimiento en altura y diámetro de planta. También concuerda con los resultados de Prado y Natale (2004), citado por Brito Neto *et al.* (2012), quienes obtuvieron como resultado el aumento en el diámetro de tallo en los cultivos de maracuyá y maíz bajo fertilizaciones con silicio. Asimismo, la investigación desarrollada por Mendoza (2020) demostró mejor resultado en el diámetro de tallo del tomate, bajo la fertilización complementaria con fuentes de magnesio y silicio. Los tratamientos con aplicaciones de estos elementos tuvieron mejores resultados, esto se puede deber a la influencia que tiene el Silicio en el aumento de la masa y el volumen de las raíces (Adatia y Besford, 1986).

4.1.4. Número de hojas activas/planta

En la Tabla 12 y Figura 5, se observa que los resultados de número de hojas activas/planta varían de 14.00 a 13.05 unidades. El tratamiento con mayor número de hojas activas/planta se observó en T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentaron diferencias significativas entre ellos en el número de hojas activas/planta y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 12: Número de hojas activas/planta en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias	
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	14.00	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	13.90	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	13.75	a
T1	N - P - K	13.40	ab
T0	Testigo	13.05	b
PROMEDIO		13.62	
CV		2.17%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

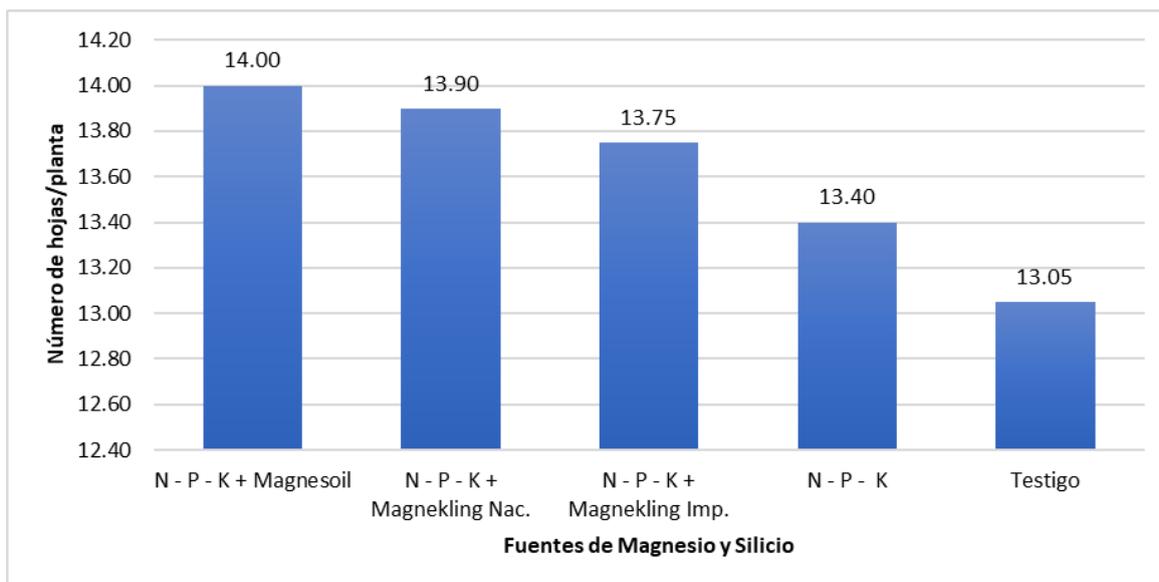


Figura 5: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de hojas/planta del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 12 y Figura 5 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el número de hojas activas/planta. Los tratamientos T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) alcanzaron las medias de 14, 13.9 y 13.75, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T0 (Testigo) que llegó a 13.05.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Hurtado (2014), en el estudio de alternativas de fertilización edáfica y foliar en el híbrido comercial de maíz amarillo duro Agri-104, no identificó un efecto estadístico significativo en el número de hojas funcionales entre los tratamientos de 200 kg/ha de silicato de magnesio y el tratamiento control. Del mismo modo, tampoco concuerdan con los resultados mostrados por Sancho (2016), en el trabajo del efecto de la incorporación de silicato de magnesio en la fertilización mineral del cultivo de maíz variedad Diamante 8843, observó que no se encuentran diferencias estadísticas entre los tratamientos con fertilización convencional, fertilización convencional + 22.3 kg/ha de azufre (S), fertilización convencional + 28.7 kg/ha de magnesio (MgO) + 23,2 kg/ha azufre (S) y fertilización convencional + 28.7 kg/ha de magnesio (MgO) + 23,2 kg/ha de azufre (S) + 29.7 kg/ha de silicio (SiO₂), estos tratamientos alcanzaron medias de 11.82, 11.80, 11.74 y 11.60, respectivamente.

A pesar de lo mencionado anteriormente, los resultados se pueden deber a la falta de magnesio en T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) dentro del plan de fertilización en comparación a T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado), ya que los síntomas críticos de deficiencia son la senescencia y necrosis de las hojas inferiores. La deficiencia de este elemento en otras investigaciones realizadas generó síntomas similares, por ejemplo, Ericsson y Kähr (1995) demostraron que la severidad de síntomas de clorosis y necrosis en las hojas más viejas estaba relacionada con la disponibilidad de magnesio, esto generó pérdida en la asimilación del área foliar, además, observaron la disminución en la concentración de carbohidratos en hojas que mostraban síntomas de deficiencia. Del mismo modo, Lavon *et al.* (1999) evidenció que la deficiencia de magnesio en cítrico generó la senescencia y caída de hojas, así como la reducción significativa de clorofila.

4.2. Características relacionadas al rendimiento

4.2.1. Número de mazorcas/planta

En la Tabla 13 y Figura 6, se observa que los resultados de número de mazorcas/planta varían de 2.35 a 1.50 unidades. El tratamiento con mayor número de mazorcas/planta se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que el promedio de T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) no presentan diferencias significativas entre sí en el número de mazorcas/planta y son estadísticamente similares a T2 (N - P - K + Magnekling Importado), a su vez, son estadísticamente superiores a T1 (N - P - K) y T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 13: Número de mazorcas/planta en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	2.35	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	2.25	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	2.20	ab
T1	N - P - K	1.80	bc
T0	Testigo	1.50	c
PROMEDIO		2.02	
CV		8.81%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

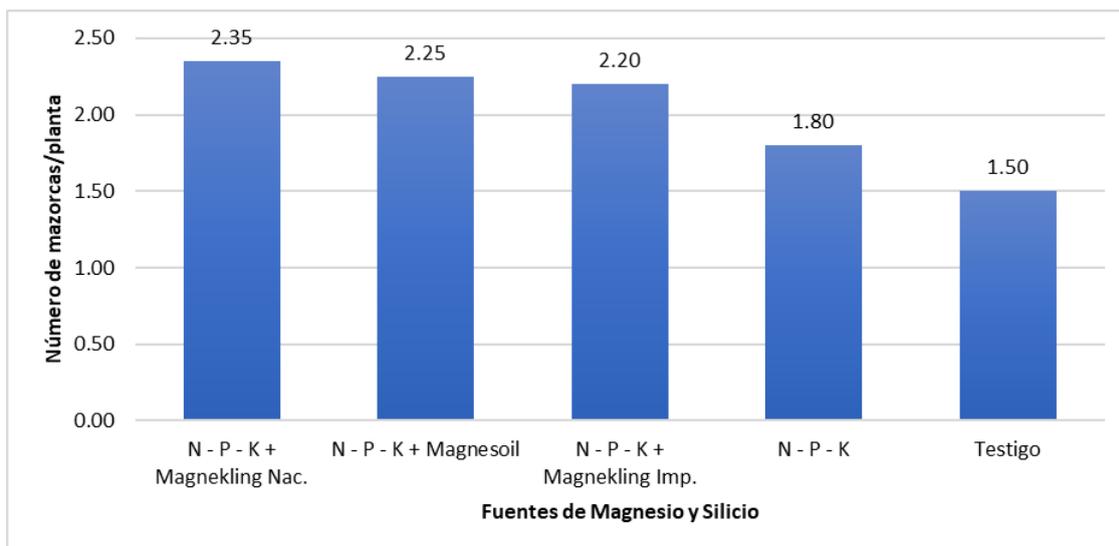


Figura 6: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de mazorcas/planta del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 13 y Figura 6 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el número de mazorcas/planta. Los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) alcanzaron las medias de 2.35 y 2.25, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T1 (N - P - K) que alcanzó a 1.80 y T0 (Testigo) que llegó a 1.50.

Según Chura y Tejada (2014), en su trabajo de comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, sostuvieron que el número de mazorcas por planta y características biométricas de la mazorca son variables directamente ligadas al rendimiento.

4.2.2. Longitud de mazorca (cm)

En la Tabla 14 y Figura 7, se observa que los resultados de longitud de mazorca (cm) varían de 16.99 cm a 13.55 cm. El tratamiento con mayor longitud de mazorca (cm) se observó en T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), y T1 (N - P - K) no presentan diferencias significativas entre sí en la longitud de mazorca (cm), sin embargo, los resultados de estos

tratamientos son estadísticamente superiores al de T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 14: Longitud de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (cm)	
T2	N - P - K + Magnekling Importado	16.99	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	16.98	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	16.77	a
T1	N - P - K	15.73	a
T0	Testigo	13.55	b
PROMEDIO		16.00	
CV		3.77%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

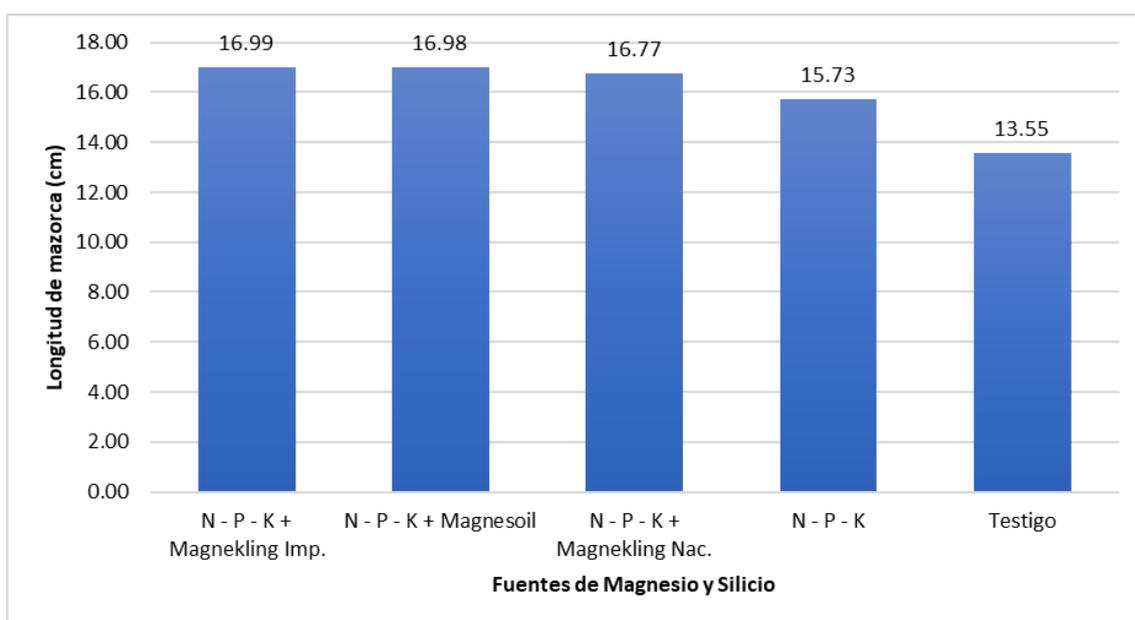


Figura 7: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en la longitud de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)

En los resultados detallados en la Tabla 14 y Figura 7 se observa que ciertos tratamientos tuvieron diferencias significativas en la longitud de mazorca. Los tratamientos T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T1 (N - P - K) alcanzaron las medias de 16.99 cm, 16.98 cm, 16.77 cm y 15.73 cm, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores

en comparación con T0 (Testigo) que llegó a 13.55 cm.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en el trabajo que desarrolló de efectos de la aplicación de diversos nutrientes en el cultivo de maíz, al aplicar complementariamente 58 kg/ha de magnesio alcanzó una media en longitud de mazorca de 18.95 cm, el cual no encontró diferencias significativas respecto al tratamiento con fertilización convencional en el híbrido DK - 1040. Por otro lado, Sancho (2016), en el trabajo del efecto de la incorporación de silicato de magnesio en la fertilización mineral del cultivo de maíz variedad Diamante 8843, demostró que existe diferencia significativa en la longitud de mazorca en el cultivo de maíz, bajo el efecto de la incorporación de silicato de magnesio en la fertilización mineral, respecto a la aplicación convencional, en aquella investigación logró una media de 17.83 cm en longitud de mazorca. Además, a través de una prueba de comparación de contrastes, corroboró que el efecto positivo se debía a la adición del magnesio. Del mismo modo, Olazo (2014), en la investigación realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, la aplicación de dosis más altas de NPK complementada con 30 kg/ha de magnesio (MgO) tuvo como resultado 14.67 cm de longitud de mazorca, estadísticamente superior a los demás tratamientos con diferentes niveles de fertilización.

4.2.3. Diámetro de mazorca (cm)

En la Tabla 15 y Figura 8, se observa que los resultados de diámetro de mazorca (cm) varían de 4.85 cm a 4.63 cm. El tratamiento con mayor diámetro de mazorca (cm) se observó en T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que el promedio de T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) es estadísticamente similar a T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y T1 (N - P - K) en diámetro de mazorca, a su vez, es estadísticamente superior a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 15: Diámetro de mazorca (cm) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (cm)	
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	4.85	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	4.79	ab
T2	N - P - K + Magnekling Importado	4.78	ab
T1	N - P - K	4.66	ab
T0	Testigo	4.63	b
PROMEDIO		4.74	
CV		1.89%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

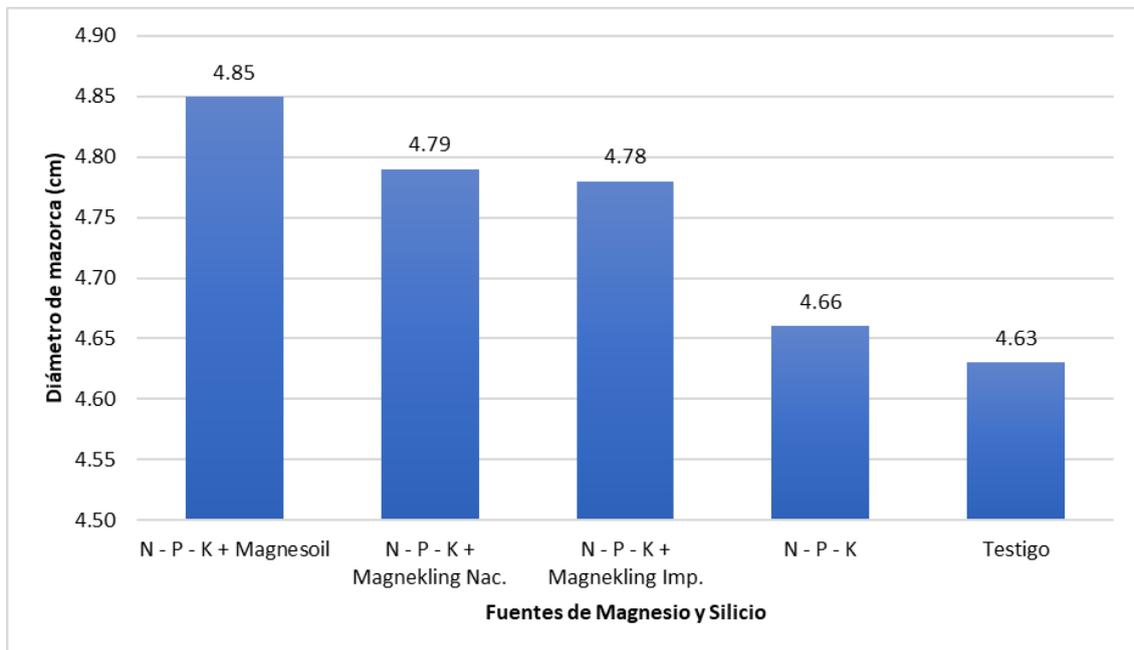


Figura 8: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el diámetro de mazorca (cm) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 15 y Figura 8 se observa que ciertos tratamientos tuvieron diferencias significativas en el diámetro de mazorca. El tratamiento T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) alcanzó la media de 4.85 cm, estadísticamente superior a T0 (Testigo) que llegó a 4.63 cm.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en la investigación desarrollada de la aplicación de varios nutrientes en el cultivo de maíz híbrido DK 1040,

evaluó el efecto sobre el diámetro de mazorca y observó que el tratamiento con la fertilización complementaria de 58 kg/ha de magnesio (MgO) y 29 kg/ha de azufre (S) obtuvo una media de 5.20 cm, estadísticamente superior al tratamiento con aplicación complementaria de solo 58 kg/ha de magnesio (MgO), que alcanzó 5.15 cm.

Esto se puede deber al efecto de aplicar complementariamente sulfato de magnesio en el T4 (N - P - K + Magnesioil + Sulfato de Magnesio). Generalmente, los cultivos toman el sulfato presente en la solución suelo y lo utilizan como fuente de azufre para su desarrollo, además, este elemento es esencial para el adecuado funcionamiento fisiológico de las plantas (Barker y Pilbeam, 2007). El mayor porcentaje de azufre en planta está reducido en aminoácidos como la cisteína y metionina, estos aminoácidos son precursores de otros compuestos como coenzimas que participan en reacciones metabólicas y productos orgánicos secundarios (Marschner, 2012). La absorción y asimilación de azufre y nitrógeno por parte de las plantas están fuertemente interrelacionadas y dependen unas de otras (Barker y Pilbeam, 2007). La deficiencia de este elemento inhibe la síntesis de proteínas, disminuye la concentración de clorofila (Gilbert *et al.*, 1997). Asimismo, reduce la eficiencia fotosintética en la planta, ya que es fundamental en la proteína hierro-azufre y afecta la cadena de transporte de electrones. (Resurrección *et al.*, 2001). En el cultivo de maíz, Baudet *et al.* (1986) sostuvo que, bajo la deficiencia de azufre, la zeína, aumenta en alrededor del 30%, ya que tiene una baja concentración de este elemento, pero la concentración de glutelina, rica en azufre disminuye entre un 36 y 71%. La investigación realizada por Lunde *et al.* (2004) demostró que el cultivo con deficiencia de azufre produce menor rendimiento, menor calidad y reduce su valor nutricional.

4.2.4. Número de hileras/mazorca

En la Tabla 16 y Figura 9, se observa que los resultados de número de hileras/mazorca varían de 16.35 a 15.40 unidades. El tratamiento con mayor número de hileras/mazorca se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, los resultados promedios no presentaron diferencias significativas en número de hileras/mazorca, según la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 16: Número de hileras/mazorca en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	16.35	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	16.25	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	15.65	a
T1	N - P - K	15.55	a
T0	Testigo	15.40	a
PROMEDIO		15.84	
CV		5.50%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

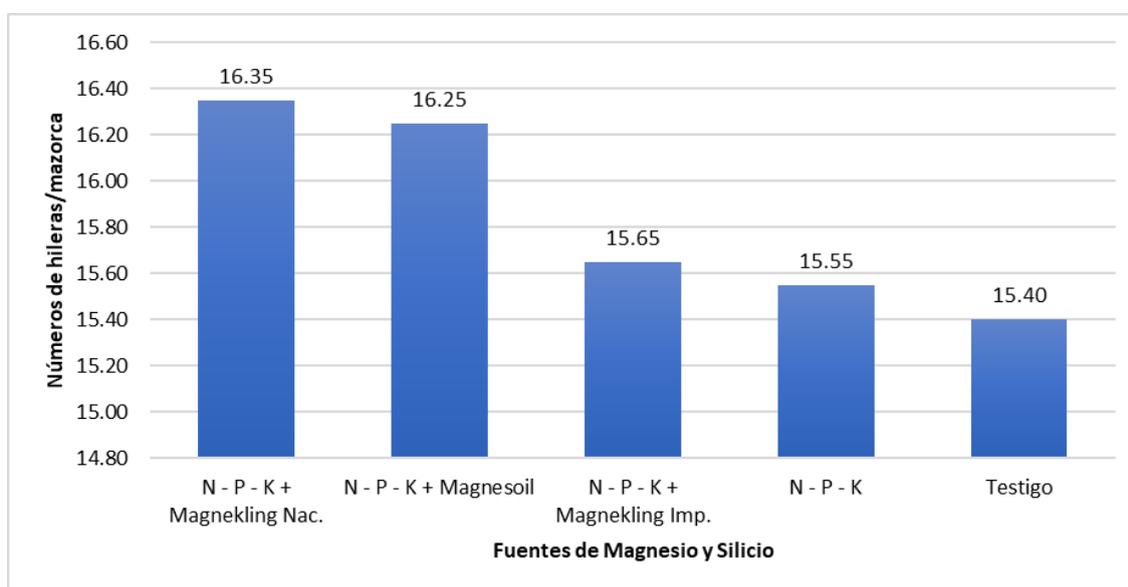


Figura 9: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de hileras/mazorca del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 16 y Figura 9 se observa que los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) que alcanzaron resultados de 16.35, 16.25, 15.65, 15.55 y 15.4, respectivamente, no presentan diferencias estadísticas significativas en número de hileras/mazorca.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en la investigación realizada de los efectos de la aplicación de diversos nutrientes en el cultivo de maíz DK - 1040, observó que el tratamiento con la fertilización complementaria de 58 kg/ha de

magnesio (MgO) y 29 kg/ha de azufre (S), al igual que el tratamiento con la aplicación complementaria de 58 kg/ha de magnesio (MgO), alcanzaron una media de 14.35 hileras/mazorca cada tratamiento, además, el tratamiento control obtuvo la media de 14.32 hileras/mazorca, estos resultados no presentaron diferencias significativas entre sí. Del mismo modo, en la investigación realizada por Hurtado (2014) en el estudio de alternativas de fertilización edáfica y foliar en el híbrido comercial de maíz amarillo duro Agri-104, tampoco se observó diferencias significativas en el promedio de número de hileras/mazorca entre el tratamiento de 200 kg/ha de silicato de magnesio y el resto.

Esto puede deberse a las características genéticas propias del híbrido Dekalb 7088, según la empresa Hortus (2020) los diversos ensayos realizados en la costa peruana tuvieron como rango de resultados de 16 a 20 hileras por mazorca. Asimismo, según Zamudio *et al.* (2015), la implementación de semillas híbridas con gran potencial genético mejora las características biométricas de mazorca y eleva el rendimiento potencial del maíz. Además, Espinosa *et al.* (2009) sostiene que la semilla híbrida mejorada tiene como objetivo incrementar las características relacionadas al rendimiento, potencial productivo o calidad que se quiere alcanzar, sin embargo, para su óptima expresión es necesario el adecuado manejo del maíz y condiciones favorables.

4.2.5. Número de granos/hilera

En la Tabla 17 y Figura 10, se observa que los resultados de número de granos/hilera varían de 34.90 a 29.80 unidades. El tratamiento con mayor número de granos/hilera se observó en T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) no presentan diferencias significativas entre sí en el número de granos/hilera y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 17: Número de granos/hilera en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias	
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	34.90	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	34.90	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	34.05	a
T1	N - P - K	32.85	ab
T0	Testigo	29.80	b
PROMEDIO		33.30	
CV		4.71%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

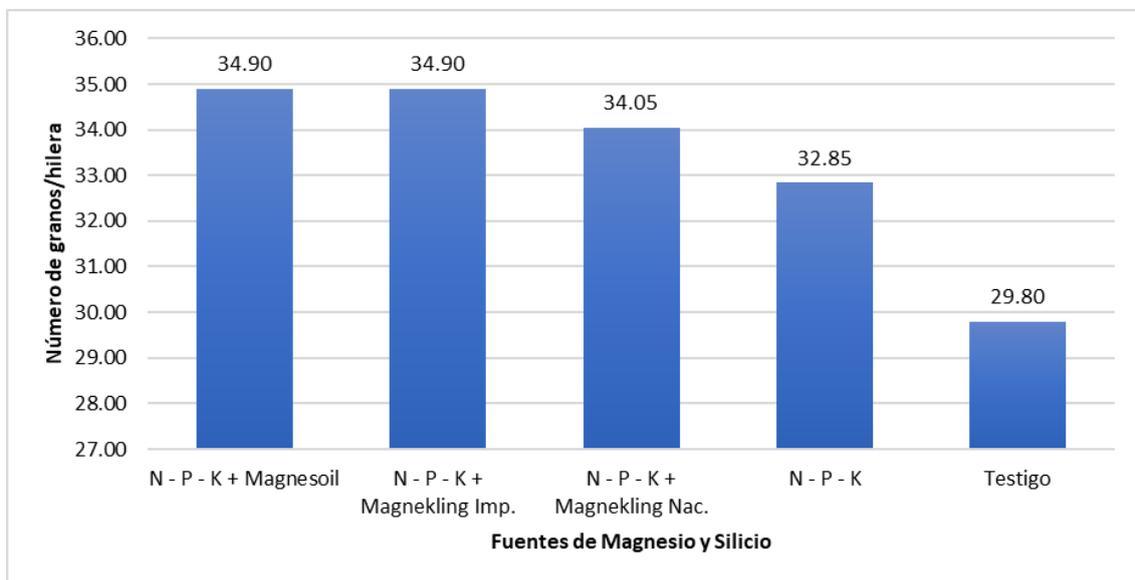


Figura 10: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el número de granos/hilera del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 17 y Figura 10 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el número de granos/hilera. Los tratamientos T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) alcanzaron las medias de 34.90, 34.90 y 34.05, respectivamente, estadísticamente superiores en comparación con T0 (Testigo) que llegó a 29.80.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Olazo (2014), en la investigación

realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, observó que el tratamiento con fertilización complementaria de 20 kg/ha de magnesio (MgO) alcanzó una media de 30.13 granos/hilera, con lo cual presentó diferencia estadística superior al tratamiento control sin fertilización que obtuvo una media de 26.18

Esto se puede deber a falta de magnesio y silicio en T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) dentro del plan de fertilización en comparación a T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional). Según Barker y Pilbeam (2007) el magnesio es un componente fundamental de la clorofila, además, interviene en los principales procesos enzimáticos de la planta asociados a la fotosíntesis y la respiración, cantidades inadecuadas de magnesio afectará la asimilación y transformación del carbono y energía. Esto está relacionado con los resultados y lo indicado por Forster (1980), la deficiencia de magnesio en plantas reduce la tasa fotosintética por unidad de área foliar y en casos severos afecta negativamente en el número de granos por mazorca, ocasionando un bajo rendimiento. Por otro lado, según Barker y Pilbeam (2007), numerosos estudios realizados sobre el efecto de la fertilización con silicio en el maíz determinan que este elemento tiene efectos positivos sobre el sistema suelo – planta, principalmente, refuerza las propiedades protectoras de las plantas contra enfermedades, ataques de insectos y condiciones climáticas desfavorables, además, optimiza la fertilidad del suelo.

4.2.6. Peso de mazorca (g)

En la Tabla 18 y Figura 11, se observa que los resultados de peso de mazorca (g) varían de 201.90 g a 150.00 g. El tratamiento con mayor peso de mazorca (g) se observó en T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) no presentan diferencias estadísticas entre sí en el peso de mazorca y son estadísticamente similares a T2 (N - P - K + Magnekling Importado), a su vez, son estadísticamente superiores a T1 (N - P - K) y T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 18: Peso de mazorca (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (g)	
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	201.90	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	196.00	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	193.00	ab
T1	N - P - K	176.50	b
T0	Testigo	155.00	c
PROMEDIO		184.48	
CV		3.97%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

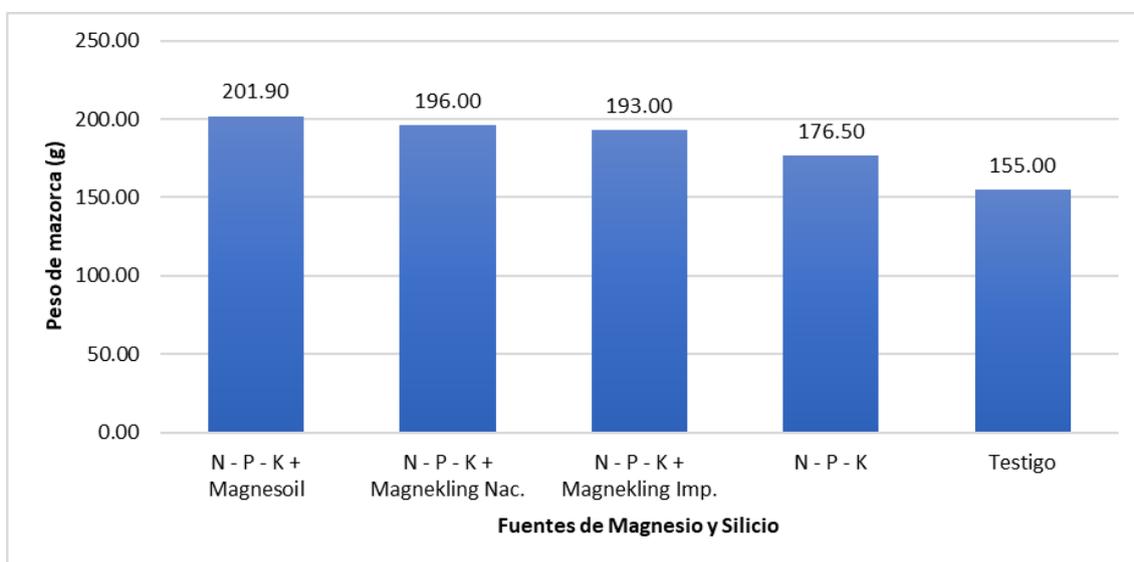


Figura 11: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de mazorca (g) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 18 y Figura 11 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el peso de mazorca (g). Los tratamientos T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) alcanzaron las medias de 201.90 g y 196.00 g, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) que obtuvieron medias de 176.50g y 155.00 g, respectivamente.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Sancho (2016), en el estudio realizado del efecto de la incorporación de silicato de magnesio en la fertilización mineral del cultivo

de maíz variedad Diamante 8843, no encontró diferencia estadística significativa en el peso de mazorca al aplicar complementariamente silicato de magnesio, aportando 28.7 kg/ha de MgO y 29.7 kg/ha de SiO₂, en comparación con la fertilización convencional, los resultados obtenidos fueron de 155.62 g y 152.72 g, respectivamente.

4.2.7. Peso de granos/mazorca (g)

En la Tabla 19 y Figura 12, se observa que los resultados de peso de granos/mazorca (g) varían de 173.21 g a 130.70 g. El tratamiento con mayor peso de granos/mazorca (g) se observó en T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T4 (N - P - K + Magnesoil), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentaron diferencias significativas entre sí en el peso de granos/mazorca y son estadísticamente superiores a T1 (N - P - K) y T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 19: Peso de granos/mazorca (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (g)	
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	173.21	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	168.00	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	165.70	a
T1	N - P - K	149.97	b
T0	Testigo	130.70	c
PROMEDIO		157.52	
CV		4.20%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

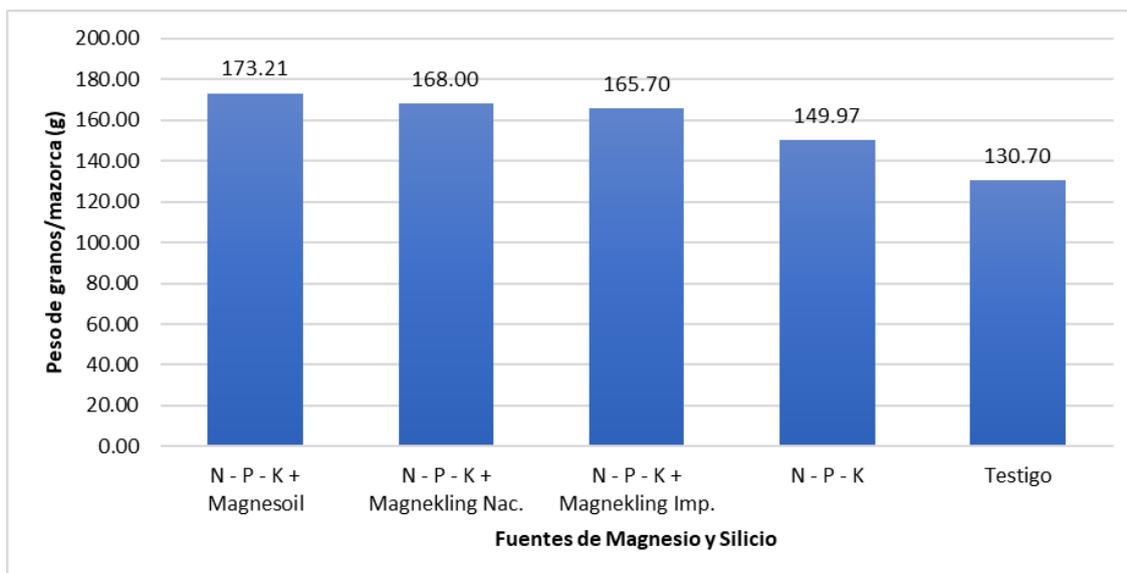


Figura 12: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de granos/mazorca (g) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 19 y Figura 12 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el peso de granos/mazorca (g). Los tratamientos T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) alcanzaron las medias de 173.21 g, 168.00 g y 165.70 g, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores en comparación con T1 (N - P - K) y T0 (Testigo) que tuvieron medias de 149.97 g y 130.70 g, respectivamente.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en el trabajo desarrollado de la aplicación de varios nutrientes en el cultivo de maíz híbrido DK 1040, encontró diferencia estadística significativa en el peso de granos/mazorca al aplicar 58 kg/ha de magnesio (MgO) y 29 kg/ha de azufre (S) sobre el tratamiento con la fertilización convencional, sin embargo, no concuerdan con los obtenidos por Sancho (2016) en el trabajo del efecto de la incorporación de silicato de magnesio en la fertilización mineral del cultivo de maíz variedad Diamante 8843, no encontró diferencia estadística significativa en el peso de granos al aplicar complementariamente silicato de magnesio, aportando 28.7 kg/ha de magnesio (MgO) y 29.7 kg/ha de silicio (SiO₂), en comparación con la fertilización convencional.

4.2.8. Porcentaje de desgrane (%)

En la Tabla 20 y Figura 13, se observa que los resultados de porcentaje de desgrane (%) varían de 85.86% a 84.31%. El tratamiento con mayor porcentaje de desgrane (%) se observó en T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) no presentan diferencias significativas entre sí en el porcentaje de desgrane y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 20: Porcentaje de desgrane (%) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (%)	
T2	N - P - K + Magnekling Importado	85.86	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	85.79	a
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	85.71	a
T1	N - P - K	84.95	ab
T0	Testigo	84.31	b
PROMEDIO		85.32	
CV		0.51%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

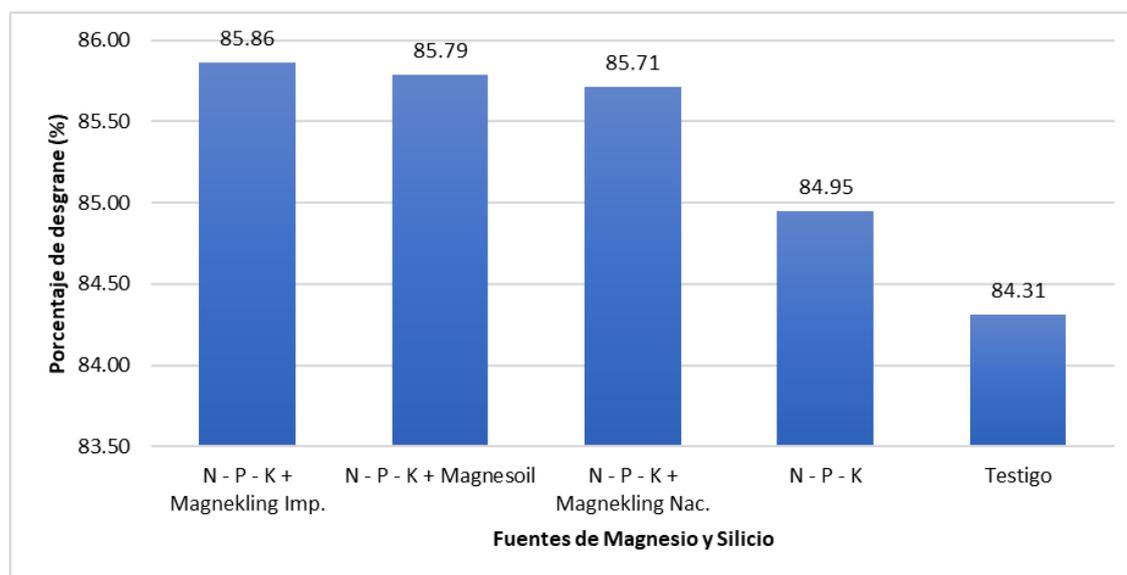


Figura 13: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el porcentaje de desgrane (%) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 20 y Figura 13 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el porcentaje de desgrane (%). Los tratamientos T2 (N - P - K + Magnekling Importado), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) alcanzaron las medias de 85.86 %, 85.79 % y 85.71 %, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores con respecto a T0 (Testigo) que logró la media de 84.31%.

Los resultados detallados en las últimas 3 variables evaluadas que son peso de mazorca (g), peso de granos/mazorca (g) y porcentaje de desgrane (%) se encuentran relacionadas entre sí, pues es a partir de la información recolectada de las 2 primeras, se puede hallar el porcentaje de desgrane (%). Según lo mencionado por Bocanegra (1953) al utilizar las semillas híbridas como el DK 7088, utilizada en el presente trabajo, las mazorcas cosechadas deben obtener o superar el 80% de desgrane, esto se cumple en los resultados obtenidos en todos los tratamientos, sin embargo, esto no asegura un alto rendimiento. Así lo sostuvieron Chura y Tejada (2014), en el trabajo realizado del comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, pues el híbrido comercial “Star” presentó un valor de 85.9% de desgrane, el valor más alto entre los demás híbridos, sin embargo, el rendimiento obtenido en este híbrido fue uno de los más bajos con 8,400 kg/ha.

Estos resultados se pueden deber al efecto positivo del magnesio y silicio en los tratamientos T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio), T2 (N - P - K + Magnekling Importado) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) sobre las últimas 3 variables evaluadas que son peso de mazorca (g), peso de granos/mazorca (g) y porcentaje de desgrane (%). Según Forster (1980), las plantas que presenten baja concentración de magnesio se verán afectadas con la reducción de la concentración de almidón en los tejidos de almacenamiento y la exportación de carbohidratos desde la fuente a los sitios de sumidero también disminuirán, esto puede suceder en el maíz y se expresa con la reducción del peso del grano. Asimismo, el silicio también pudo influir en los resultados positivos, ya que según Ma y Yamaji (2006), el silicio se deposita debajo de la cutícula para formar una doble capa de cutícula - silicio, de esta manera, previene la penetración física de plagas y enfermedades. Además, Castellanos *et al.* (2015), indica que este efecto positivo se ha evidenciado en maíz sobre especies de los órdenes Lepidóptera, Hemíptera y Thysanóptera.

4.2.9. Peso de 100 granos (g)

En la Tabla 21 y Figura 14, se observa que los resultados de peso de 100 granos (g) varían de 37.90 g a 33.25 g. El tratamiento con mayor peso de 100 granos (g) se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentan diferencias estadísticas entre si en el peso de 100 granos y son estadísticamente similares a T1 (N - P - K), a su vez, son estadísticamente superiores a T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 21: Peso de 100 granos (g) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (g)	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	37.90	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	36.72	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	36.42	a
T1	N - P - K	35.54	ab
T0	Testigo	33.25	b
PROMEDIO		35.97	
CV		3.45%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

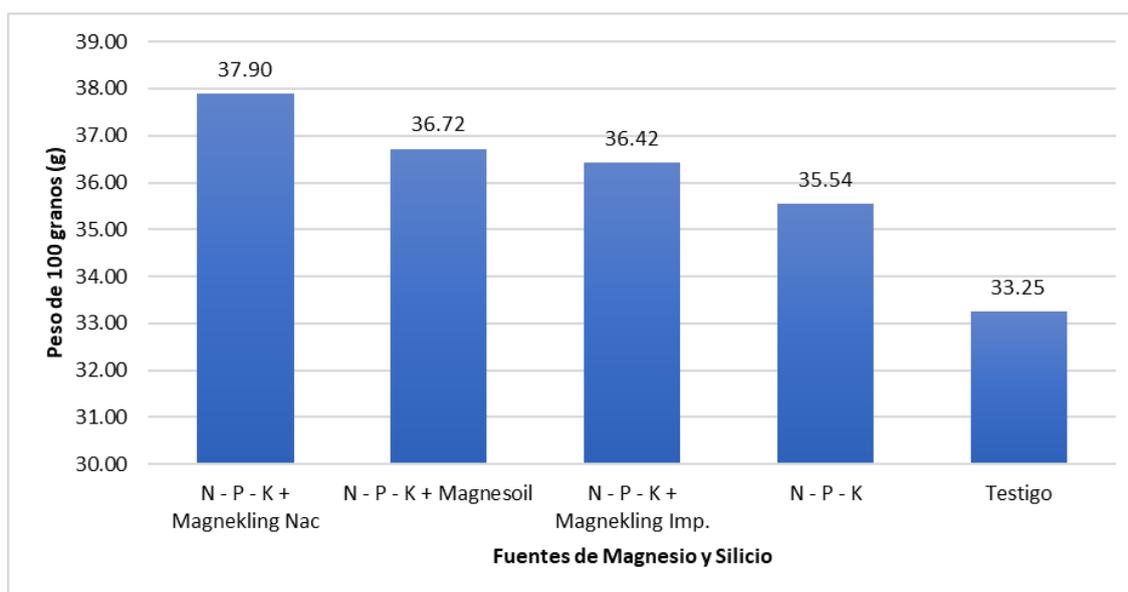


Figura 14: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el peso de 100 granos (g) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 21 y Figura 14 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el peso de 100 granos (g). Los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) alcanzaron las medias de 37.90 g, 36.72 g y 36.42 g, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores con respecto a T0 (Testigo) que llegó a 33.25 g.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Olazo (2014), en la investigación realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, observó que el tratamiento con fertilización NPK de concentración media (160 - 90 – 75) y complementada con fuentes de magnesio a concentración de 15 kg/ha de magnesio (MgO), fue estadísticamente superior en el peso de 100 granos, con respecto al tratamiento control, alcanzando valores de 38.57 g y 30.61 g, respectivamente. Asimismo, estos resultados también concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en el trabajo desarrollado de la aplicación de varios nutrientes en el cultivo de maíz híbrido DK - 1040, encontró que los tratamientos con la fertilización convencional, complementada con 58 kg/ha de magnesio (MgO) y el otro, complementada con 58 kg/ha de magnesio (MgO) y 29 kg/ha de silicio (SiO₂), fueron estadísticamente superiores en el peso de 100 granos, con respecto al tratamiento de fertilización convencional, alcanzando medias de 35.82 g, 36.17 g y 33.02, respectivamente. Además, según Jimenez (2016), citado en Sancho (2016), encontró efectos positivos en el cultivo de maíz al incorporar silicio (SiO₂), ya que al adicionar una dosis media de este elemento obtuvo un promedio superior con respecto a los demás tratamientos.

4.3. Rendimiento (kg/ha)

En la Tabla 22 y Figura 15, se observa que los resultados del rendimiento de grano (kg/ha) varían de 8,366.44 kg/ha a 12,310.82 kg/ha. El tratamiento con mayor rendimiento se observó en T3 (N - P - K + Magnekling Nacional) y el menor en T0 (Testigo). Además, existe diferencia estadística significativa entre algunos tratamientos. Se aprecia que los promedios de T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) no presentan diferencias estadísticas entre sí en el rendimiento de grano y son estadísticamente superiores a T1 (N - P - K) y T0 (Testigo), según la prueba Tukey al 5%.

Tabla 22: Rendimiento (kg/ha) en el cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo diferentes fuentes de Magnesio y Silicio

Tratamientos		Medias (kg/ha)	
T3	N - P - K + Magnekling Nacional	12,310.82	a
T4	N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio	12,238.38	a
T2	N - P - K + Magnekling Importado	11,625.18	a
T1	N - P - K	10,119.91	b
T0	Testigo	8,366.44	c
PROMEDIO		10,923.15	
CV		5.88%	

Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas, según la prueba Tukey 0.05.

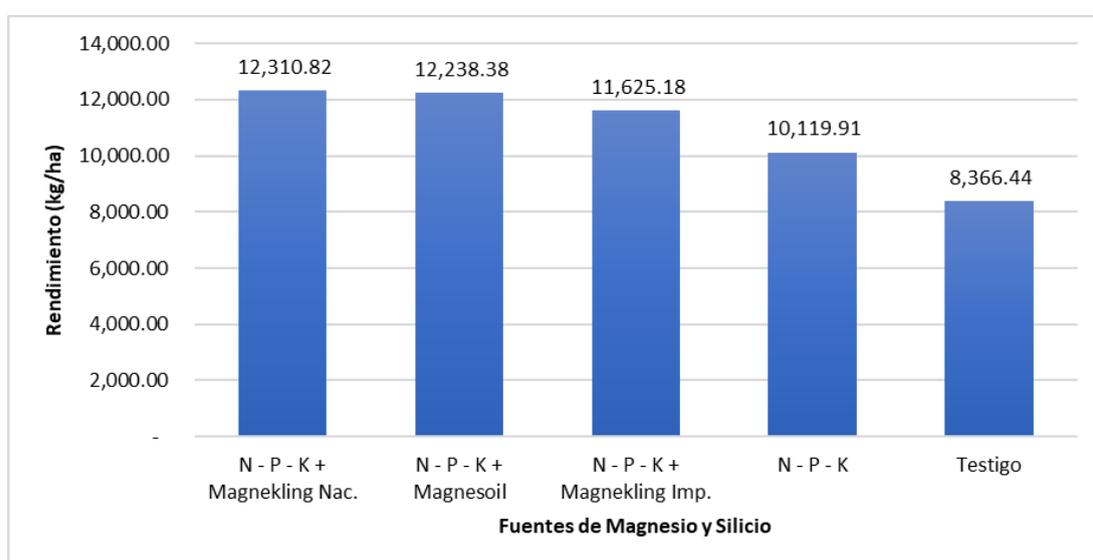


Figura 15: Efecto de fuentes de Magnesio y Silicio en el rendimiento (kg/ha) del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)

En los resultados detallados en la Tabla 22 y Figura 15 se observa que ciertos tratamientos aplicados tuvieron diferencias significativas en el rendimiento de grano (kg/ha). Los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) alcanzaron las medias de 12,310.82 kg/ha, 12,238.38 kg/ha y 11,625.18 kg/ha, respectivamente, estos presentaron diferencias estadísticas superiores con respecto a T1 (N - P - K) que alcanzó a 10,119.91 kg/ha y T0 (Testigo) que llegó a 8,366.44 kg/ha. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Olazo (2014), en la investigación realizada de el efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro AGRI – 144, observó que el tratamiento con fertilización NPK de concentración media (160 - 90 – 75), complementada con 15 kg/ha de

magnesio y NPK de concentración alta (200 - 120 - 100), complementada con 20 kg/ha de magnesio fueron estadísticamente superior al tratamiento control, alcanzando valores de 7,756.10 kg/ha y 7,523.90 kg/ha, respectivamente. Asimismo, estos resultados también concuerdan con los obtenidos por Marcillo (2011), en el trabajo desarrollado de la aplicación de varios nutrientes en el cultivo de maíz híbrido DK 1040, encontró que los tratamientos con la fertilización convencional, complementada con 58 kg/ha de magnesio y el otro, complementada con 58 kg/ha de magnesio y 29 kg/ha de azufre, fueron estadísticamente superiores al tratamiento con fertilización convencional, alcanzando medias de 8,227.00 kg/ha y 8,330.00 kg/ha, respectivamente.

Estos resultados se pueden deber al efecto positivo del magnesio y silicio en los tratamientos T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado), mejorando la fertilización convencional y el manejo sin fertilización. Además, el rendimiento de grano está influenciado por los componentes o características relacionadas al rendimiento, así lo sostiene Laverde *et al.* (1986), el autor indica que existe una correlación positiva entre el rendimiento y los componentes de producción como la longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras y granos por hilera, del mismo modo, Wong *et al.* (2007) sostuvieron que la longitud y diámetro de mazorca contribuyeron a incrementar el número de granos por mazorca por unidad de superficie y, por consecuencia, el rendimiento. Por otro lado, respecto al porcentaje de desgrane, se puede apreciar que en el presente trabajo esta característica está relacionado estadísticamente con el rendimiento obtenido, sin embargo, según Chura y Tejada (2014), en el trabajo que evaluaron el comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, determinaron que un mayor valor del porcentaje de desgrane no implica un mayor rendimiento, los autores sostuvieron que la característica que más aportó al rendimiento de grano fue el índice de mazorca, esta última afirmación se puede corroborar en el presente trabajo, ya que los tratamientos con mayor número de mazorcas por planta presentaron rendimientos más altos. Finalmente, Wong *et al.* (2007) demostraron que el peso de mil granos es la característica que mejor se relaciona con el rendimiento, confirmando en este trabajo la relación positiva del peso de cien granos y el rendimiento. Sin duda, los resultados positivos en las diferentes características biométricas evaluadas en la mazorca influyen en mayor o menor medida sobre el rendimiento total de grano.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente ensayo en maíz amarillo duro híbrido DK-7088, se concluye lo siguiente:

- Respecto a las características biométricas de la planta, los mejores resultados para altura de inserción de mazorca, diámetro de tallo y número de hojas por planta fueron los tres tratamientos con aplicación complementaria de diferentes fuentes de magnesio y silicio, sin embargo, en el parámetro de altura de planta no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos.
- Respecto a las variables relacionadas al rendimiento de mazorca, los mejores resultados para longitud de mazorca, número de granos/hilera, peso de 100 granos, peso de granos/mazorca y porcentaje de desgrane fueron los tres tratamientos con aplicación complementaria de diferentes fuentes de magnesio y silicio, en el caso de peso de mazorca y número de mazorcas/planta los mejores tratamientos fueron T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), mientras que, para el diámetro de mazorca el mejor tratamiento fue T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio); en el caso de número de hileras/mazorca no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.
- Respecto al rendimiento de grano, los tratamientos que tuvieron mejores resultados fueron T3 (N - P - K + Magnekling Nacional), T4 (N - P - K + Magnesoil + Sulfato de Magnesio) y T2 (N - P - K + Magnekling Importado) que alcanzaron las medias de 12,310.82 kg/ha, 12,238.38 kg/ha y 11,625.18 kg/ha, respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos y conclusiones del presente trabajo de investigación, se propone las siguientes recomendaciones:

- Replicar el presente trabajo en zonas con diferentes condiciones para evaluar si se mantiene el efecto positivo de la aplicación complementaria de diferentes fuentes de magnesio y silicio en comparación con la fertilización convencional a base de nitrógeno, fósforo y potasio.
- Desarrollar trabajos similares con aplicación complementaria de diferentes fuentes de magnesio y silicio en otros cultivos de importancia económica.
- Incrementar el número de tratamientos con diferentes dosis de aplicación complementaria de las fuentes de magnesio y silicio utilizadas en el presente trabajo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adatia, M. y Besford, R. (1986). The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, 58(3). doi:<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087212>
- Álvarez, C. y Osorio, W. (2014). *Silicio. Agronómicamente Esencial*. Editorial L. Vieco S.A.S.
- Alzugaray, P., Haase, D. y Rose, R. (2004). Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1+1. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002004000200003>
- Barker, A. V. y Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Baudet, J., Huet, J.-C., Jolivet, E., Lesaint, C., Mosse, J. y Pernollet, J.-C. (1986). Changes in accumulation of seed nitrogen compounds in maize under conditions of sulphur deficiency. *Physiologia Plantarum*, 68(4), 608-614. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb03404.x>
- Bocanegra, S. (1953). *El maíz híbrido en la costa peruana*. Programa Cooperativo Experimental Agropecuario. Ministerio de Agricultura.
- Brito Neto, J. F., Macedo Beltrao, N. d., Gonsiorkiewicz Rigon, J. P. y Capuani, S. (2012). Effect of calcium and magnesium silicate on the growth of the castor oil plant subjected to salinity levels. *Ciencias Agrarias*, 2948-2958. doi:<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Sup11p2949>
- Cakmak, I. y Yazici, A. M. (2010). Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. *Better Crops With Plant Food*, 94(2), 23-25. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/3C8E17A623CF806785257980006E4E1A/\\$FILE/Better%20Crops%202010-2%20p23-25.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/3C8E17A623CF806785257980006E4E1A/$FILE/Better%20Crops%202010-2%20p23-25.pdf)

- Cammarano, P., Felsani, A., Gentile, M., Gualerzi, C., Romero, A. y Wolf, G. (1972). Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. *Biochimica et Biophysica Acta*, 281(4), 625-642. doi:[https://doi.org/10.1016/0005-2787\(72\)90160-8](https://doi.org/10.1016/0005-2787(72)90160-8)
- Castellanos Gonzáles, L., de Mello Prado, R. y Silva Campos, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 16-24. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002&lng=es&tlng=es.
- Chura Chuquiya, J. y Tejada Sorraluz, J. (2014). Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia (Arica)*, 32(1), 113-118. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000100014>
- Clavijo, J. (2001). Metabolismo de los nutrientes en las plantas. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, *Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control* (págs. 13-28). Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4922/1/216.1.pdf>
- COMEX. (2021). *La producción nacional de maíz amarillo solo cubre el 23% de la demanda nacional*. Obtenido de <https://www.comexperu.org.pe/en/articulo/la-produccion-nacional-de-maiz-amarillo-solo-cubre-el-23-de-la-demanda-nacional>
- Datnoff, L., Deren, C. y Snyder, G. (1997). Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection*, 16(6), 525-531. doi:[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00033-1)
- Elawad, S. H., Street, J. J. y Gascho, G. J. (1982). Response of Sugarcane to Silicate Source and Rate. II. Leaf Freckling and Nutrient Content. *Agronomy Journal*, 74(3), 484-487. doi:<https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400030020x>
- Ericsson, T. y Kähr, M. (1995). Growth and nutrition of birch seedlings at varied relative addition rates of magnesium. *Tree Physiology*(15), 85-93. Obtenido de <http://directory.umm.ac.id/Data%20Elmu/jurnal/T/Tree%20Physiology/Vol15.1995/15-2-2.pdf>
- Espinosa, A., Rodríguez, F., Tadeo, M., Turrent, A., Gómez, N., Sierra, M., . . . Valdivia Bernal, R. (2009). *El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz*. Obtenido de <https://www.revistacienciasunam.com/es/41-revistas/revista-ciencias-92-93/209-el-potencial-de-las-variedades-nativas-y-mejoradas-de-maiz.html>
- Faiguenbaum, H. (2017). El maíz se sobrefertiliza y subfertiliza. *Redagícola*. Obtenido de <https://www.redagricola.com/cl/maiz-se-sobrefertiliza-subfertiliza-al-tiempo/>

- Florensa, P. (2020). El silicio como fertilizante y bioestimulante agrícola. *Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes*. Obtenido de <https://aefa-agronutrientes.org/el-silicio-como-fertilizante-y-bioestimulante-agricola>
- Forster, H. (1980). Einfluss von unterschiedlich starkem Magnesiummangel bei Gerste auf den Kornertrag und seine Komponenten. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 143(6), 627-637. doi:<https://doi.org/10.1002/jpln.19801430603>
- García, C. (2020). El maíz es el cultivo más importante en extensión para el Perú. (J. C. León , Entrevistador) Obtenido de <https://agraria.pe/noticias/el-maiz-es-el-cultivo-mas-importante-en-extension-para-el-pe-22033>
- García, P. J. (2017). El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 73-79.
- Gerhardt, R., Stitt, M. y Hans, H. W. (1987). Subcellular Metabolite Levels in Spinach Leaves 1: Regulation of Sucrose Synthesis during Diurnal Alterations in Photosynthetic Partitioning. *Plant Physiology*, 83(2), 399-407. doi:<https://doi.org/10.1104/pp.83.2.399>
- Gilbert, S., Clarkson, D., Cambridge, M., Lambers, H. y Hawkesford, M. (1997). Sulfate-deprivation has an early effect on the content of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and photosynthesis in young leaves of wheat. *Plant Physiology*, 115(3), 1231-1239. doi:10.1104/pp.115.3.1231
- Gonzales, U. (1995). *El maíz y su conservación*. Trillas.
- González, D. (2018). *Silicio (Si), mucho más que un nutriente*. Obtenido de <https://www.agrosilicium.com/si-mas-nutriente/>
- Hortus. (2020). *Características Agronómicas DEKALB-7088*. Obtenido de <https://www.hortus.com.pe/detalle-producto/maiz/dekalb-7088>
- Hurtado Luna, C. (2014). Estudio de Alternativas de Fertilización Edáfica y Foliar, en un Híbrido Comercial de Maíz (*Zea Mayz L*), en La Zona de Balzar, Provincia del Guayas. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30648/D-79891.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- IICA. (1989). *Compendio de agronomía tropical*.
- Jones, L. y Handreck , K. A. (1965). Studies of silica in the oat plant. *Plant Soil*, 23, 79-96. doi:<https://doi.org/10.1007/BF01349120>
- Kobayashi, K., Mochizuki, N., Yoshimura, N., Motohashi, K., Hisabori, T. y Masuda, T. (2008). Functional analysis of *Arabidopsis thaliana* isoforms of the Mg-

- chelataseCHLI subunit. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 7, 1188–1195.
doi:<https://doi.org/10.1039/B802604C>
- Laverde Peña, H., De la Cruz, R. y Rojas, E. (1986). Formación de mazorcas en diferentes nudos del eje de maíz ICA -V-51O. *Colombiano Agropecuario*, 63-81.
- Lavon , R., Salomon, R. y Goldschmidt, E. (1999). Effect of Potassium, Magnesium, and Calcium Deficiencies on Nitrogen Constituents and Chloroplast Components in Citrus Leaves. *American Society for Horticultural Science*, 124(2), 158-162.
doi:<https://doi.org/10.21273/JASHS.124.2.158>
- Lunde, C., Zygadlo, A., Lassen Nielsen, P., Toft Simonsen, H., Blennow, A. y Haldrup, A. (2004). Sulfur starvation in rice: The effect on photosynthesis, carbohydrate metabolism, and oxidative stress protective pathways. *Physiologia Plantarum*, 134(3). doi:10.1111/j.1399-3054.2008.01159.x
- Ma, J. F., Miyake, Y. y Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. En L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer, *Silicon in Agriculture* (Vol. 8, págs. 17-39). doi:[https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9)
- Ma, J. y Takahashi, E. (2002). *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*.
- Ma, J. y Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci*, 11(8). doi:10.1016/j.tplants.2006.06.007
- MacRobert, J., Setimela, P., Gethi, J. y Worku Regasa, M. (2015). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) . Obtenido de <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/16849/57179.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marcillo Marmolejo, C. A. (2011). Estudiar los efectos de la aplicación de n, k, mg, s, ca y mn en el cultivo del maíz híbrido ‘dekalb dk – 1040’ en la zona de Quevedo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/936/T-UTB-FACIAG-AGR-000005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition*. Elsevier Ltd.
- Matichenkov, V. (2008). Deficiencia y funcionalidad del sílice en suelos, cosechas y alimentos. . En *II Conferencia internacional sobre eco-biología del suelo y el compost* (pág. 431).
- Matichenkov, V. V. y Bocharnikova, E. A. (2001). The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. En L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer, *Silicon in Agriculture* (Vol. 8, págs. 209-219).

doi:[https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80017-3)

- Mayland, H. y Wilkinson, S. (1989). Soil factors affecting magnesium availability in plant–animal systems: a review. *Journal of Animal Science*, 67(12). doi:<https://doi.org/10.2527/jas1989.67123437x>
- Mendoza Llantoy, C. S. (2020). Fuentes de magnesio en el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Río Grande bajo estrés salino en la UNALM. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4439>
- Mikkelsen, R. (2010). Soil and Fertilizer Magnesium. *Better Crops With Plant Food*, 94(2), 26-28. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/1D89F178F533C21085257980006E50AE/\\$FILE/Better%20Crops%202010-2%20p26-28.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/1D89F178F533C21085257980006E50AE/$FILE/Better%20Crops%202010-2%20p26-28.pdf)
- MINAGRI. (2019). *Plan nacional de cultivos: Campaña agrícola 2019-2020*.
- Mitani, N. y Ma, J. (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56(414), 1255–1261. doi:<https://doi.org/10.1093/jxb/eri121>
- Navarro, S. y Navarro, G. (2003). *Química Agrícola* (Segunda ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/QUIMICA-AGRICOLA.pdf>
- Olazo Solis, E. (2014). *Efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro (Zea mays L.) bajo un sistema de riego por goteo en suelo ácido de Pucallpa*. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3796/000001947T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paliwal, R. L. (2001). Morfología del maíz tropical. En *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Obtenido de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>
- Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., & Violic, A. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm>
- Ramírez, L. y Egaña, B. (2003). *GUÍA DE CONCEPTOS DE GENÉTICA CUANTITATIVA*. Obtenido de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/88982/mod_resource/content/1/Ramirez%20-%20Ega%C3%B1a.pdf
- Rea, P. A. y Sanders, D. (1987). Energización Tonoplast: Dos bombas H⁺, una membrana. *Physiologia Plantarum*, 71(1), 131–141. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1399->

3054.1987.tb04630.x

- Resurreccion, A., Makino, A., Bennett, J. y Mae, T. (2001). Effects of sulfur nutrition on the growth and photosynthesis of rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, 47(3), 611-620. doi:<https://doi.org/10.1080/00380768.2001.10408424>
- Rodríguez, M. y Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. En Ciencia y tecnología para el desarrollo (CYTED), *Ferti-riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura* (págs. 26-36). Obtenido de <http://repositorio.ual.es:8080/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sancho Mora, A. (2016). EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SILICATO DE MAGNESIO EN LA FERTILIZACIÓN MINERAL DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN FINCA LA VEGA, SAN CARLOS. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9845/efecto_de_incorporaci%C3%B3n_silicato_de_magnesio_en_fertilizaci%C3%B3n_mineral_del_cultivo_maiz_%28zea%20mays%20l.%29_en_finca_la_vega_san_carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Schelbert, S., Aubry, S., Burla, B., Agne, B., Kessle, F., Krupinska, K. y Hörtensteiner, S. (2009). Pheophytin Pheophorbide Hydrolase (Pheophytinase) Is Involved in Chlorophyll Breakdown during Leaf Senescence in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 21(3), 767–785. doi:<https://doi.org/10.1105/tpc.108.064089>
- Scott, B. J. y Robson, A. D. (1990). Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliolate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(3), 511-519. doi:<https://doi.org/10.1071/AR9900511>
- Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V. y Thiel, H. (2015). Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*, 66(12). doi:<https://doi.org/10.1071/CP15104>
- Sperrazza, J. M. y Spremulli, L. L. (1983). Quantitation of cation binding to wheat germ ribosomes: Influences on submit association equilibria and ribosome activity. *Nucleic Acids Research*, 11(9), 2665–2679. doi:<https://doi.org/10.1093/nar/11.9.2665>
- Sugiyama, T., Nakayama, N. y Akazawa, T. (1968). Structure and function of chloroplast proteins: V. Homotropic effect of bicarbonate in RuDP carboxylase reaction and the mechanism of activation by magnesium ions. *Archives of Biochemistry and*

- Biophysics*, 126(3), 737-745. doi:[https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90465-7](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90465-7)
- Takhtajan, A. L. (1980). Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *Botanical Review*, 46(3), 225-359. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/4353970>
- Tamai, K. y Ma, J. (2008). Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. *Plant and Soil*, 307, 21–27. doi:<https://doi.org/10.1007/s11104-008-9571-y>
- Walker, C. J. y Weinstein, J. D. (1991). Further Characterization of the Magnesium Chelatase in Isolated Developing Cucumber Chloroplasts 1: Substrate Specificity, Regulation, Intactness, and ATP Requirements. *Plant Physiol*, 95(4), 1189–1196. doi:<https://doi.org/10.1104/pp.95.4.1189>
- Watteau, F. y Villemin, G. (2001). Ultrastructural study of the biogeochemical cycle of silicon in the soil and litter of a temperate forest. *European Journal of Soil Science*, 52(3), 385-396. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00391.x>
- Wong Romero, R., Gutiérrez del Río, E., Palomo Gil, A., Rodríguez Herrera, S., Córdova Orellana, H., Espinoza Banda, A. y Lozano García, J. (2007). APTITUD COMBINATORIA DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN LÍNEAS DE MAÍZ PARA GRANO EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 181-189. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/610/61030210.pdf>
- Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Encastín-Dionicio, J., Martínez Rodríguez, J., Felix-Reyes, A., . . . Turrent Fernández, A. (2015). Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1491-1505. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263142146006.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Cronograma de actividades

Cronograma del trabajo experimental	
Semana	Labores de campo
	Preparación de terreno
Semana 1	Riego machaco.
Semana 3	Paso de arado, rastras y cajón surcador. Delimitación de terreno.
	Etapa del cultivo
Semana 4	Siembra Riego
Semana 6	Aplicación de herbicida: Atrazina 0.80 L/cilindro. Riego
Semana 7	Primera fertilización
Semana 8	Riego Desmalezado manual
Semana 9	Evaluación en campo Aplicación de herbicida: Nicosulfuron 0.50 L/cilindro.
Semana 10	Aplicación de insecticidas: Magnate 100 g/cilindro y Cipermetrina 0.2 L/cilindro. Resiembra
Semana 11	Riego Aplicación de insecticida: Ciclón 0.15 L/cilindro y Skirla 100 g/cilindro.
Semana 12	Segunda fertilización Aporque
Semana 13	Riego Evaluación en campo
Semana 15	Aplicación de insecticida: Ciclón 0.15 L/cilindro, Metomyl 100 g/cilindro y Skirla 100 g/cilindro. Riego
Semana 17	Riego
Semana 18	Evaluación en campo
Semana 19	Riego
Semana 21	Riego Análisis de Materia Seca
Semana 22	Evaluación en campo
Semana 23	Riego
Semana 26	Cosecha

Anexo 2: Presupuesto

Presupuesto				
	Unidad de medida	Costo unitario (S/.)	Cantidad	Costo total
1. Preparación de terreno				
Aradura	Hora/maq.	80	4	320
Rastras	Hora/maq.	80	3	240
Surcado	Hora/maq.	80	2	160
Siembra manual	Jornal	35	6	210
Resiembra	Jornal	35	1	35
2. Labores culturales				
Aporque	Hora/maq.	80	1.5	120
Riego	Jornal	35	8	280
Fertilización	Jornal	35	5	175
Desmalezado	Jornal	35	3	105
Control fitosanitario	Jornal	35	8	280
3. Cosecha				
Corte y despanque	Jornal	35	25	875
4. Insumos				
4.1. Semillas				
Semillas	Kg	40.6	16	649.6
4.2. Fertilizantes				
Urea	Kg	4.3	261	1122.3
Fosfato diamónico	Kg	4.3	261	1122.3
Cloruro de potasio	Kg	4	283	1132
4.3. Pesticidas				
Atrazina	L	38	1	38
Nicosulfuron	L	80	0.5	40
Ciclón	L	80	0.44	35.2
Cipermetrina	L	50	0.5	25
Skirla	Kg	380	0.1	38
Metomyl	Kg	110	0.1	11
4.4. Recurso hídrico				
Agua	m3/Ha	3000	0.1	300
TOTAL				7313.4

Anexo 3: Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de Planta (cm)	20	0.52	0.24	2.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	487.69	7	69.67	1.84	0.1679
Tratamientos	402.23	4	100.56	2.66	0.0846
Bloques	85.46	3	28.49	0.75	0.5410
Error	453.47	12	37.79		
Total	941.16	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=13.85507

Error: 37.7890 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	228.20	4	3.07 A
T4	227.15	4	3.07 A
T2	226.25	4	3.07 A
T1	223.70	4	3.07 A
T0	215.75	4	3.07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4: Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de inserción de mazorca (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de insercción de ma..	20	0.67	0.47	3.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	388.85	7	55.55	3.44	0.0294
Tratamientos	286.41	4	71.60	4.43	0.0198
Bloques	102.44	3	34.15	2.11	0.1519
Error	193.91	12	16.16		
Total	582.76	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.06020

Error: 16.1593 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	135.35	4	2.01 A
T4	135.20	4	2.01 A
T2	134.50	4	2.01 A
T1	131.10	4	2.01 A B
T0	125.40	4	2.01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5: Análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de tallo (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de tallo (cm)	20	0.76	0.63	2.65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21.21	7	3.03	5.55	0.0049
Tratamientos	17.91	4	4.48	8.20	0.0020
Bloques	3.30	3	1.10	2.01	0.1658
Error	6.55	12	0.55		
Total	27.77	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.66580

Error: 0.5462 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	28.73	4	0.37 A
T4	28.68	4	0.37 A
T2	28.50	4	0.37 A
T1	27.55	4	0.37 A B
T0	26.25	4	0.37 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de hojas/planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas/planta	20	0.75	0.61	2.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.18	7	0.45	5.18	0.0065
Tratamientos	2.45	4	0.61	6.99	0.0038
Bloques	0.73	3	0.24	2.77	0.0876
Error	1.05	12	0.09		
Total	4.23	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.66733

Error: 0.0877 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	14.00	4	0.15 A
T3	13.90	4	0.15 A
T2	13.75	4	0.15 A
T1	13.40	4	0.15 A B
T0	13.05	4	0.15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de mazorcas/planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de mazorcas/planta	20	0.85	0.76	8.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.09	7	0.30	9.44	0.0005
Tratamientos	2.05	4	0.51	16.20	0.0001
Bloques	0.04	3	0.01	0.42	0.7413
Error	0.38	12	0.03		
Total	2.47	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.40108

Error: 0.0317 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3	2.35	4	0.09	A
T4	2.25	4	0.09	A
T2	2.20	4	0.09	A B
T1	1.80	4	0.09	B C
T0	1.50	4	0.09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) para la longitud de mazorca (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Largo de Mazorca (cm)	20	0.89	0.82	3.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34.64	7	4.95	13.56	0.0001
Tratamientos	34.47	4	8.62	23.61	<0.0001
Bloques	0.17	3	0.06	0.16	0.9239
Error	4.38	12	0.36		
Total	39.02	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.36155

Error: 0.3649 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T2	16.99	4	0.30	A
T4	16.98	4	0.30	A
T3	16.77	4	0.30	A
T1	15.73	4	0.30	A
T0	13.55	4	0.30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 9: Análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de mazorca (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro de Mazorca (cm)	20	0.60	0.37	1.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.15	7	0.02	2.60	0.0697
Tratamientos	0.14	4	0.04	4.44	0.0197
Bloques	3.8E-03	3	1.3E-03	0.16	0.9213
Error	0.10	12	0.01		
Total	0.24	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20156

Error: 0.0080 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	4.85	4	0.04 A
T3	4.79	4	0.04 A B
T2	4.78	4	0.04 A B
T1	4.66	4	0.04 A B
T0	4.63	4	0.04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de hileras/mazorca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº Hileras	20	0.25	0.00	5.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.04	7	0.43	0.57	0.7650
Tratamientos	2.97	4	0.74	0.98	0.4553
Bloques	0.08	3	0.03	0.03	0.9914
Error	9.10	12	0.76		
Total	12.15	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.96314

Error: 0.7587 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	16.35	4	0.44 A
T4	16.25	4	0.44 A
T2	15.65	4	0.44 A
T1	15.55	4	0.44 A
T0	15.40	4	0.44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 11: Análisis de varianza (ANOVA) para el número de granos/hilera

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° Granos/Hilera	20	0.72	0.56	4.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	77.38	7	11.05	4.49	0.0113
Tratamientos	72.54	4	18.14	7.37	0.0031
Bloques	4.84	3	1.61	0.66	0.5949
Error	29.54	12	2.46		
Total	106.92	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.53623

Error: 2.4617 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	34.90	4	0.78 A
T2	34.90	4	0.78 A
T3	34.05	4	0.78 A
T1	32.85	4	0.78 A B
T0	29.80	4	0.78 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 12: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de mazorca (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de Mazorca (g)	20	0.90	0.84	3.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5867.47	7	838.21	15.61	<0.0001
Tratamientos	5766.03	4	1441.51	26.84	<0.0001
Bloques	101.44	3	33.81	0.63	0.6097
Error	644.40	12	53.70		
Total	6511.87	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=16.51631

Error: 53.7000 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	201.90	4	3.66 A
T3	196.00	4	3.66 A
T2	193.00	4	3.66 A B
T1	176.50	4	3.66 B
T0	155.00	4	3.66 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de granos/mazorca (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de Granos/Mazorca (g)..	20	0.90	0.85	4.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4865.15	7	695.02	15.86	<0.0001
Tratamientos	4796.66	4	1199.16	27.36	<0.0001
Bloques	68.49	3	22.83	0.52	0.6759
Error	525.96	12	43.83		
Total	5391.11	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=14.92153

Error: 43.8304 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T4	173.21	4	3.31	A
T3	168.00	4	3.31	A
T2	165.70	4	3.31	A
T1	149.97	4	3.31	B
T0	130.70	4	3.31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 14: Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de desgrane (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de Desgrane	20	0.78	0.65	0.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.86	7	1.12	5.94	0.0037
Tratamientos	7.29	4	1.82	9.65	0.0010
Bloques	0.57	3	0.19	1.00	0.4245
Error	2.27	12	0.19		
Total	10.12	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.97923

Error: 0.1888 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T2	85.86	4	0.22	A
T4	85.79	4	0.22	A
T3	85.71	4	0.22	A
T1	84.95	4	0.22	A B
T0	84.31	4	0.22	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 15: Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de 100 granos (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 100 granos (g)	20	0.75	0.61	3.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56.45	7	8.06	5.25	0.0062
Tratamientos	48.31	4	12.08	7.86	0.0024
Bloques	8.14	3	2.71	1.77	0.2070
Error	18.44	12	1.54		
Total	74.89	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.79393

Error: 1.5367 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	37.90	4	0.62 A
T4	36.72	4	0.62 A
T2	36.42	4	0.62 A
T1	35.54	4	0.62 A B
T0	33.25	4	0.62 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 16: Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de grano (kg/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg/ha)	20	0.91	0.85	5.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48688417.05	7	6955488.15	16.82	<0.0001
Tratamientos	45319513.40	4	11329878.35	27.41	<0.0001
Bloque	3368903.65	3	1122967.88	2.72	0.0913
Error	4960964.49	12	413413.71		
Total	53649381.53	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1449.16688

Error: 413413.7073 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	12310.82	4	321.49 A
T4	12238.38	4	321.49 A
T2	11625.18	4	321.49 A
T1	10119.91	4	321.49 B
T0	8366.44	4	321.49 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)