

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES
SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRARIA
SEDE HUACHO**



TESIS DE INVESTIGACIÓN

**“INFLUENCIA DE TRES FUENTES POTÁSICAS
APLICADAS EN DOS ÉPOCAS SOBRE EL
RENDIMIENTO DEL MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea
mays*), VÉGUETA - HUAURA”**

EJECUTOR:

Bach. HERMES DAVID DIÁZ ALARCÓN

ASESOR:

Dr. HONORIO ELOY MUNIVE JÁUREGUI

HUACHO – PERÚ

2017

DEDICATORIA

A la memoria de mi hermano Roger por ser la persona que me impulsó a estudiar esta profesión, estando seguro que desde donde está siempre iluminará mi camino para seguir su ejemplo.

A mi esposa Ena Flor Vásquez Estela por brindarme el apoyo constante y ser la compañera de mi vida y a mis hijos Carlos David y Lady Stefany, por ser la razón de mi superación profesional.

A mis padres don Adelmo Díaz Cubas y doña Reyna Alarcón Dávila por darme la vida y ser un ejemplo y guía en mi camino.

AGRADECIMIENTO

- A mi asesor Dr. Eloy Munive Jáuregui por brindarme el apoyo material e intelectual tanto dentro de las aulas así como en el desarrollo de mi trabajo de investigación. Sus sabios consejos y sobretodo su enorme vocación para formar profesionales al servicio de la sociedad, hacen expresar mi eterna gratitud.
- A la Universidad Católica *Sedes Sapientiae* por crear la Facultad de Ciencias Agrarias con sede en Huacho, lugar muy cercano a mi domicilio y que me permitió estudiar lo que siempre anhelé ser: un profesional dedicado a la agricultura y la ganadería.
- A mis profesores de quienes me siento orgulloso por tener la suerte de haber sido alumno y aprender de ellos las enseñanzas que hoy en la vida práctica me permiten desarrollarme profesionalmente.
- A la Ingeniera Karina Matta Santibáñez por ser una destacada profesional que me dio el aliento necesario para seguir adelante y vencer los obstáculos durante la etapa de estudiante.
- A mis hermanos Chemo, Jaime, Chelo, Lilia y Haydee por el ejemplo que representan para mí y por el apoyo que me brindaron desinteresadamente para poder realizar mis estudios universitarios.
- A mi madre política Edelmira Estela Delgado y a mi cuñado Beder Vázquez Estela, quienes me brindaron su afecto y el apoyo en las labores de campo durante el tiempo que duró mis estudios universitarios.
- A mis compañeros de clase con mucha gratitud por el aprecio, colaboración y más que todo por el compañerismo constante durante el recorrido por las aulas universitarias durante nuestra formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice General	i
Índice de Tablas	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Apéndices	viii
Resumen	ix
Abstract	x
INTRODUCCIÓN	1
I: REVISIÓN DE LITERATURA	3
1. ANTECEDENTES	3
2. BASES TEÓRICAS	9
2.1. Generalidades del Cultivo	9
2.2. Fenología del Cultivo	12
2.3. Sistema Suelo-Planta	13
2.4. Absorción de Nutrientes	14
2.5. Rol de los nutrientes	15
2.5.1. Nitrógeno	15
2.5.2. Fósforo	18
2.5.3. Potasio	20
2.6. Importancia de la Fertilización Química	24
2.7. Efecto de la Fertilización Química en el Cultivo de Maíz	25
2.8. Fuentes de Fertilizantes Potásicos	27
2.8.1. Cloruro de Potasio	27
2.8.2. Sulfato de Potasio	29
2.8.3. Sulpomag	32
II. MATERIALES Y MÉTODOS	34
1. LUGAR Y FECHA DE EJECUCIÓN	34
2. POBLACIÓN Y MUESTRA	36
2.1. Población	36

2.2. Muestra	36
3. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1. Tipo de Investigación	37
3.2. Diseño de la Investigación	37
3.3. Esquema del Análisis de Varianza	37
3.4. Fases del Estudio	38
3.4.1. Fase Preliminar	38
3.4.2. Fase de Campo	38
3.4.3. Fase de Laboratorio	38
3.4.4. Fase de Gabinete	39
4. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	39
4.1. Factores en Estudio	39
4.1.1. Variables Independientes	39
4.1.2. Variable Dependiente	39
4.2. Mensuración de las Variables	40
4.3. Tratamientos Experimentales	41
4.4. Especificación del Campo Experimental	42
4.5. Esquema del Campo Experimental	42
5. LABORES CULTURALES	43
5.1. Preparación del Terreno	43
5.2. Parcelación	43
5.3. Limpieza	43
5.4. Surcado	43
5.5. Fertilización	43
5.6. Siembra	44
5.7. Control fitosanitario	45
5.8. Riegos	45
5.9. Deshierbos	46
5.10. Cosecha	46
5.11. Cronología de las Labores Culturales	46
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO	48

2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES BIOMÉTRICAS	49
2.1. Altura de Plantas	49
2.2. Diámetro de Tallos	54
2.3. Longitud de Mazorca	60
2.4. Rendimiento de Mazorcas Cosechadas en verde	63
2.5. Rendimiento de grano seco de maíz	67
IV. CONCLUSIONES	72
V. RECOMENDACIONES	75
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
TERMINOLOGÍA	82
APÉNDICES	84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requerimientos y Extracción en Grano de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) para distintos Rendimientos de Maíz	26
Tabla 2. Requerimientos de nutrientes secundarios y micronutrientes del cultivo de maíz para producir una tonelada de granos	26
Tabla 3. Esquema del Análisis de la Varianza	37
Tabla 4. Características Evaluadas y Unidades de Medida	40
Tabla 5. Número, Clave y Tratamientos en estudio	41
Tabla 6. Características del Campo Experimental	42
Tabla 7. Tipos y Cantidades de Fertilizantes Utilizados en el Experimento	44
Tabla 8. Registro de Aplicaciones Fitosanitarias	45
Tabla 9. Cronología de labores durante el crecimiento y desarrollo del cultivo	46
Tabla 10. Resultados del Análisis Físico-mecánico y Químico de los suelos del Lote 4 del predio Fundo “Nuevo”	48
Tabla 11. Efecto de las Fuentes de Fertilizantes Potásicos (F) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	50
Tabla 12. Efecto de los Métodos de Fertilización (Factor M) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	51
Tabla 13. Efecto de la Interacción Métodos de Fertilización y Fuentes de Fertilizantes Potásicos (FxM) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	52
Tabla 14. Efecto de las Interacciones (FxM) vs. Testigo sobre la Altura de Plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	54
Tabla 15. Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el	55

	diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	
Tabla 16.	Efecto de los Métodos de Fertilización (M) sobre el diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	56
Tabla 17.	Efecto de la Interacción Fuentes de Fertilizantes Potásicos y Métodos de Fertilización (FxM) sobre el Diámetro de Tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	57
Tabla 18.	Efecto de las Interacciones (FxM) vs. Testigo (T) sobre el Diámetro de Tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)	59
Tabla 19.	Efecto de las Fuentes de Fertilizantes Potásicos (Factor F) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	60
Tabla 20.	Efecto de los métodos de fertilización (Factor M) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	61
Tabla 21.	Efecto de las interacciones Fuentes de Fertilizantes Potásicos (F) y Métodos de Fertilización (FxM) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	61
Tabla 22.	Efecto de las comparaciones entre las Interacciones (FxM) y el testigo (T) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	62
Tabla 23.	Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	63
Tabla 24.	Efecto de los métodos de fertilización (Factor M) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	64
Tabla 25.	Efecto de la interacción fuentes de fertilización (F) y métodos fertilización (M) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)	65
Tabla 26.	Efecto de las comparaciones entre las Interacciones (FxM) y el	66

testigo (T) sobre el rendimiento de mazorcas en verde (Prueba de Significación de Tukey)	
Tabla 27. Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el rendimiento de grano seco de maíz (Prueba de Significación de Tukey)	67
Tabla 28. Efecto del método de aplicación de los fertilizantes sobre el rendimiento de granos secos (Prueba de significación de Tukey).	68
Tabla 29. Efecto de la Interacción fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio (F x M) sobre el rendimiento en granos secos del maíz (Prueba de significación de Tukey)	69
Tabla 30. Efecto de las Interacciones (F x M) y el testigo (T) sobre el rendimiento en granos secos del maíz (Prueba de significación de Tukey)	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases Fenológicas del Maíz	13
Figura 2. Temperatura Máxima, Mínima, Media y Humedad Relativa de Medio Mundo.	35
Figura 3. Esquema del Área experimental	42

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Plano de ubicación del área experimental. Predio “Fundo Nuevo”	84
Apéndice 2. Temperatura Máxima, Mínima, Media y humedad Relativa de Medio Mundo. Fuente: Estación Meteorológica Camay, Medio Mundo (2015)	85
Apéndice 3. Análisis de variancia y comparación de medias según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para las variables biométricas	86

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el “Fundo Nuevo” ubicado en Medio Mundo, distrito de Végueta, provincia de Huaura, región Lima, para comparar el efecto de tres fuentes de fertilizantes potásicos: Cloruro de Potasio (F1), Sulfato de Potasio (F2) y Sulpomag (F3) en combinación con dos métodos de aplicación de los fertilizantes: 100 por ciento a la siembra (M1) y en forma fraccionada (M2) al 50 por ciento a la siembra y el 50 por ciento al aporque, sobre el rendimiento del maíz amarillo duro (MAD). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo factorial $3 \times 2 + 1$, con siete tratamientos y cuatro repeticiones, utilizándose la Prueba de Tukey ($p = 0,05$) para comparar las diferencias entre las medias.

Al evaluarse la altura de plantas y el diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, la longitud de las mazorcas, el rendimiento en verde de mazorcas y el rendimiento de grano seco del maíz, se ha encontrado que de los tres fertilizantes estudiados el que mejor rendimiento ha conseguido es el sulfato de potasio, seguido del sulpomag, quedando en el último lugar el cloruro de potasio. La aplicación de los fertilizantes en forma fraccionada influyó notoriamente sobre las variables estudiadas siendo superior estadísticamente al método de aplicación de los fertilizantes en forma total. En cuanto a las interacciones, los mejores rendimientos fueron con la combinación sulfato de potasio con aplicación fraccionada dando rendimiento de $11,063 \text{ t.ha}^{-1}$ seguido muy de cerca por la interacción del sulpomag con la aplicación fraccionada con un rendimiento de $10,813 \text{ t.ha}^{-1}$. Las otras combinaciones tuvieron rendimientos menores efectos no significativos. En todas las evaluaciones, las combinaciones de los fertilizantes con los métodos de aplicación, fueron estadísticamente superiores al testigo.

Palabras clave: Aplicación fraccionada, variables biométricas, fase fenológica, sistema de producción, plan de fertilización, diagnóstico de la fertilidad, híbridos.

ABSTRACT

This research was carried out over lot number four of the "Fundo Nuevo" farm, located in Medio Mundo town, Vegueta district, Huaura province, in the Lima region; to compare the effect of three sources of potassium fertilizer: Potassium chloride (F1), Potassium Sulfate (F2), and Sulpomag (F3). They were compared with 2 applying fertilizers methods, 100 percent at planting time (M1), and 50 percent at the planting time and 50 percent remaining when hilling (M2), over the performance of yellow corn (MAD).

The experimental design was a randomized complete block with a factorial arrangement $3 \times 2 + 1$, with seven treatments and four replications, using the Tukey test ($p = 0.05$) to compare differences among the means of the treatments studied. Plant height, and stems diameter at 30, 60 and 90 days after sowing, the length of the ears harvest, the yield of green pods, and yield of dry grain corn, were evaluate. From the three potash fertilizers studied, the best performance achieved in biometric variables is by potassium sulfate, followed by sulpomag, being in last place potassium chloride. The fertilizers application in installments (50 percent to 50 percent planting and hilling), influenced notably on the variables studied to be statistically superior to method of fertilizers application in full at the planting time. As interactions has been achieved with the best yields were with the combination potassium sulfate and fractionated application with $11,063 \text{ t.ha}^{-1}$, followed closely by the interaction with sulpomag with fractionated application with $10,813 \text{ t.ha}^{-1}$. The other combinations had no significant effects. In the all evaluations, combinations (interactions) the fertilizer application methods were statistically higher than the control.

Keywords: fractional application, biometric variables, phonological phase, production system, fertilization plan, fertility diagnosis, hybrids.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, el maíz es un cultivo de los tres cereales más importantes y antiguos que se les conoce. En producción, el año 2010 ocupó el primer lugar a nivel mundial, seguido del arroz cáscara y trigo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2012). Se originó en la zona tropical americana y en la actualidad es posible cultivarlo en casi todas las latitudes del mundo, desde el nivel de mar hasta los 3800 m.s.n.m.

En el Perú, es uno de los cultivos de mayor importancia, tanto por su uso como materia prima en la elaboración de alimentos balanceados para aves y cerdos, como su importancia socioeconómica. En esto último, según el Ministerio de Agricultura [MINAGRI] (2010), la cadena de maíz amarillo duro avícola y piscícola es generadora de más de 180 000 puestos de trabajo permanentes en los sectores de agricultura, fabricación de alimentos balanceados, crianza y comercialización de pollo.

El maíz amarillo duro (MAD), es uno de los cultivos más importantes del Perú y se siembra mayormente en la costa y la selva, siendo Lambayeque, La Libertad, Lima y San Martín las principales regiones productoras, que en conjunto, representan el 55% del área cultivada, siendo la zona de Lima (Cañete, Chancay, Huaral, Huacho y Barranca) el primer lugar en su participación con el 20% de la producción total de este cultivo. En orden de importancia sigue La Libertad con el 15% (Sevilla, 2008).

Es necesario mencionar que el país cuenta áreas apropiadas para cultivar este alimento, siendo la zona costera la que hoy tiene el mayor porcentaje de producción pero debido

al crecimiento urbano actual, se está reduciendo las tierras de cultivo, produciendo un déficit en la producción de maíz, por tal motivo se tiene la necesidad de producir más en una menor área cultivada dando énfasis a un programa eficiente de fertilización para utilizar y aplicar los mejores fertilizantes de acuerdo a la zona de producción, teniendo en cuenta el mejoramiento de la producción del maíz y el costo de los fertilizantes, en concordancia con la tecnología y el manejo agronómico practicados por los agricultores de la costa peruana.

Los objetivos de la presente investigación fueron:

1. Evaluar el efecto de tres fuentes de potasio (Cloruro de potasio, Sulfato de potasio y Sulpomag) sobre el rendimiento de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*).
2. Evaluar el efecto de dos métodos de fertilización (convencional: 100 por ciento a la siembra y fraccionada: 50 por ciento a la siembra y 50 por ciento al aporque) sobre el rendimiento de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*).
3. Determinar el efecto de las interacciones entre fuentes de potasio y métodos de fertilización sobre el rendimiento de maíz amarillo duro (*Zea mays*).

CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

1. ANTECEDENTES

Pacheco (1992) al estudiar el efecto de cinco niveles de potasio aplicados en dos momentos sobre el rendimiento del maíz variedad San Jerónimo Mejorado para semilla en el Valle del Mantaro (Junín) llegó a las siguientes conclusiones: (a) La aplicación de dosis altas de potasio aplicado a la siembra o en forma fraccionada dieron mayores rendimientos equivalente a $3\ 432,5\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano para semilla. (b) Los tratamientos con niveles bajos de potasio dieron bajos rendimientos de semilla y mayor rendimiento de granos para consumo. (c) La altura de plantas al final del periodo vegetativo y el peso seco de las mazorcas tuvieron alta significación estadística debido a que los niveles altos de potasio interaccionado con el nitrógeno aplicado a la siembra y en forma fraccionada. (d) Los niveles de potasio estudiados dieron una ligera significación con respecto a la longitud de las hojas y el peso en húmedo de las mazorcas.

Sánchez (2004) reporta que la provincia de Huaura muestra uno de los más altos rendimientos promedio por hectárea de maíz amarillo duro a nivel nacional. En el año 2003 el rendimiento fue de $7.4\ \text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ con una variación entre 2 y $11\ \text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, identificada mediante un diagnóstico situacional realizado en 18 localidades o lugares de siembra en las zonas alta, media y baja del valle irrigado por el río Huaura. Se ha considerado que una de las principales causas de este amplio rango ($2\ \text{y}\ 11\ \text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) podría encontrarse en el heterogéneo manejo del agroecosistema. Las prácticas agronómicas, identificadas mediante encuestas, fueron inconsistentes en magnitud, y sobre todo en la oportunidad con que se realizaron aunque pudo

apreciarse una clara disposición de los agricultores a la adopción tecnológica favorecida por el clima, el suelo o el riego, que no fueron limitantes.

Sánchez (2004) agrega que el maíz como todo producto del que se espera un rendimiento comercial económico, debe disponer de oportunas prácticas de cultivo, de los nutrientes necesarios para alcanzar dicho objetivo. Estos nutrientes son los llamados elementos esenciales e indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas y la producción final de grano. Tres de los elementos, llamados también principales, son el nitrógeno, fósforo y potasio, los que se aplican al suelo como productos químicos llamados abonos o fertilizantes comerciales. Otra fuente de estos elementos proviene de los abonos orgánicos y los abonos foliares, que incluyen elementos secundarios y menores (magnesio, manganeso, boro, hierro, etc.), igualmente necesarios para el desarrollo normal de las plantas, aunque en proporciones mucho menores.

Con respecto a la fertilización fraccionada, que es la opción más recomendable y común especialmente en la costa, mayoritariamente es adoptada en el valle de Huaura para lograr una mayor eficiencia en la absorción del nitrógeno especialmente por ser el elemento que más fácilmente puede perderse por efecto del riego, sobretudo en suelos ligeros o arenosos. La fertilización fraccionada consiste en aplicar el fertilizante nitrogenado en dos o tres fracciones y momentos del cultivo. Estas pueden darse a la siembra, antes del aporque y excepcionalmente poco antes de la floración. En cualquiera de los tres casos, las dosis de los abonos fosforados y potásicos se aplican a la siembra (Sánchez, 2004).

Sánchez (2005) al hacer un estudio del efecto de la fertilización potásica en el rendimiento de un híbrido experimental más dos híbridos comerciales de maíz en la Unidad de Investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, encontró que la fertilización nitrogenada-potásica entre los diferentes tratamientos usados, el valor más alto fue con el tratamiento 2 (120-80 kg,ha⁻¹ N-K), siendo las diferencias de 5,2 por ciento al tratamiento T3 (180-120

kg,ha⁻¹ de N-P), de 11,1 por ciento respecto al tratamiento T4 (240-160 kg,ha⁻¹ de N-K), de 12,4 ciento respecto al T1 (60-40 kg,ha⁻¹ de N-K) y del 36,1 por ciento respecto al tratamiento testigo T0.

Injante (2010) enfatiza que algunos de los factores que limitan el incremento de la productividad y producción de maíz en la costa del Perú es el uso de híbridos con poca estabilidad productiva, y el uso de variedades y grano de híbridos de segunda generación, sobre todo en suelos con problemas de sales y escasez de agua; a estos factores se suma la falta de tecnificación en su manejo, añadiendo que el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA tiene a disposición de los productores el híbrido triple INIA 609-NAYLAMP de amplia adaptación a las condiciones de terrenos marginales de la costa norte, con rendimientos promedios de 10 t.ha⁻¹ y buena calidad de grano, que permitirá al pequeño y mediano agricultor obtener cosechas rentables. Este híbrido tiene un rendimiento potencial 12 a 13,5 t.ha⁻¹ y en campo de agricultores puede producir entre 10 a 11 ha⁻¹. Asimismo, Injante (2010) agrega que para determinar la cantidad de fertilizantes o abonos a utilizar se debe realizar el análisis de suelo y que para obtener rendimientos superiores a 8 t.ha⁻¹ se requiere como mínimo utilizar el nivel de 220 – 100 - 120 kg,ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O.

El MINAGRI (2012) señala que son tres las regiones con mayor rendimiento promedio en el año 2011: (a) Lima con 8,979 t.ha⁻¹, (b) La Libertad 8,897 t.ha⁻¹ e Ica con 8,816 t.ha⁻¹; otras dos regiones mantienen rendimientos superiores al promedio nacional, como son Lambayeque (6,662 t.ha⁻¹) y Ancash (5,103 t.ha⁻¹).

Loli (2012) señala que en el Perú la demanda de maíz amarillo duro es de 2.5 millones de toneladas, cantidad que nuestro país no produce, por lo que en el 2010, el 40 por ciento fue de producción nacional y 60 por ciento importada. El rendimiento promedio nacional es de 5.5 t.ha⁻¹. El maíz importado ha sido históricamente más barato que el maíz amarillo duro nacional, pero de acuerdo con los propios avicultores, el maíz nacional es más caro pero de mejor calidad; de allí

la preferencia que no permite el desplazamiento del maíz de producción nacional. Si se incrementa la producción de 5,5 a 10 t.ha⁻¹, se podría no sólo satisfacer la demanda nacional, sino que se haría un gran favor a los productores nacionales de maíz amarillo duro.

Por otro lado, la Dirección Regional de Agricultura (2013), señala que el manejo del cultivo de maíz depende del sistema de producción y del nivel tecnológico y socioeconómico del productor. El maíz es el cereal más eficaz como productor de grano, contribuyen a ello varios factores, desde los ambientales así como fisiológicos, como el gran tamaño de la planta, la gran área foliar que tiene, sistemas de raíces abundantes y un tejido vascular amplio y eficiente.

Por lo tanto, la fertilización es la incorporación de nutrientes mediante sustancias químicas u orgánicas al suelo para incrementar su fertilidad y lograr la adecuada nutrición de la planta para una mayor productividad. La aplicación debe realizarse en forma racional, tomando en cuenta la fertilidad del suelo, la necesidad de la planta, y la eficiencia económica de su aplicación. Se recomienda que se efectúe el análisis de fertilidad del suelo antes de efectuar la siembra para saber la cantidad de nutrientes que hay que reponer al suelo para balancear el requerimiento de estos por los cultivos. Los fertilizantes sintéticos y/o abonos orgánicos que se deben aplicar son: Abonos orgánicos; gallinaza, abono verde, residuos de cosecha, humus de lombriz. Fertilizantes inorgánicos: urea (45 por ciento N), Fosfato diamónico (18 por ciento N y 46 por ciento de P₂O₅, Cloruro de potasio (60 por ciento de K₂O). En algunos casos se utilizan dosis bajas dependiendo del requerimiento de la semilla utilizada (variedad o híbrido), en suelos con problemas con riesgos de clima, plagas, etc., cuando existe escasa disponibilidad de capital por precios de maíz o de fertilizantes en el mercado, en otras situaciones podremos utilizar dosis altas (Dirección Regional de Agricultura, 2013).

Asato (2015) al hacer un estudio de cinco fuentes de fertilizantes potásicas (cloruro de potasio, sulfato de potasio y sulphomag así como la combinación de cloruro de potasio más sulphomag y sulfato de potasio más sulphomag) en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, concluyó que las fuentes potásicas evaluadas en el experimento dieron un efecto positivo en el rendimiento el peso seco en el cultivo indicador (maíz). El tratamiento de sulfato de potasio con sulphomag (80 y 20 por ciento, respectivamente) a la dosis más alta de 200 ppm fue la que mejor respuesta tuvo en cuanto a la producción de materia seca. Finalmente el menor rendimiento fue encontrado con el cloruro de potasio.

En el ámbito internacional, Caamaño y Melgar (1998) realizaron una investigación sobre fertilización en maíz, determinando el efecto de diferentes tratamientos (Testigo, NP, NS, PS y NPS). Las dosis de nitrógeno (N) utilizada fue de 175 kg.ha⁻¹, aplicados en forma de urea agrícola (46% de N). En los tratamientos que recibieron fósforo (P) (PS, NP y NPS), la dosis utilizada fue de 40 kg.ha⁻¹ y la fuente fue el fosfato monoamónico (12% de N, 22.5% de P). En el caso del azufre (S), tratamientos fueron PS, NS y NPS, la fertilización azufrada fue de 24 kg.ha⁻¹ y la fuente utilizada fue el sulfato de amonio peleteado (19% de S). Se obtuvieron como respuestas promedio 3 248, 1 369, 698 y 5 359 kg.ha⁻¹ de granos de maíz con la fertilización de N, P, S y NPS, respectivamente. Al evaluar el efecto de cada nutriente en forma individual, la aplicación de N y de P incrementó los rendimientos del cultivo en todos los sitios (P<0.05). Se concluyó que la aplicación balanceada de N, P y S produjo un incremento en los rendimientos del maíz reflejando directamente en un aumento de la absorción de nutrientes respecto a los tratamientos con aplicaciones desbalanceadas o sin aplicación de nutrientes.

Melgar y Torres (2014), ejecutaron un proyecto de fertilización, en Buenos Aires - Argentina, con el objetivo de definir los criterios para elaborar un plan de fertilización en maíz considerando tres nutrientes esenciales: N, P y S. Se determinó que el proceso de planificación de la fertilización podría dividirse en 5 etapas: muestreo y análisis de suelos, diagnóstico de la fertilización, diseño del plan de

fertilización, ejecución y monitoreo del plan de fertilización, evaluación y análisis de los resultados del plan de fertilización.

Moncada (1997) al estudiar el efecto de cinco dosis de potasio: 0, 50, 100, 150 y 200 kg de K_2O , provenientes de dos fuentes: nitrato de potasio (NO_3K) y cloruro de potasio (KCl), sobre la producción de la fitomasa en el cultivo de maíz relacionada con la absorción de K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} y Na^+ . Los resultados mostraron una positiva respuesta a la aplicación de potasio para la acumulación de fitomasa, indistintamente de la fuente fertilizante, alcanzando las mayores respuestas con la aplicación de $50\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O y con $100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ los rendimientos fueron aún mayores. Dosis superiores a las señaladas solo incrementaron el contenido de K^+ en las plantas. Las concentraciones de N, K y Mg en las plantas de maíz disminuyeron al inicio y las concentraciones Ca y Na aumentaron hacia la madurez. Además el contenido de N aumentó con la aplicación del potasio, pero los incrementos fueron positivos solo hasta los $50\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, existiendo una relación lineal entre la absorción total del N y la acumulación de fitomasa. El cloruro de potasio no afectó la absorción de nitrógeno, la absorción total del K aumentó en forma sostenida con aumentos de la fertilización potásica. La absorción promedio de Mg y de Na en plantas de maíz disminuyó con la aplicación de K, específicamente, con dosis mayores a $50\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se asume un antagonismo entre K y el Mg y entre K y Na. La concentración de Ca aumentó con la fertilización potásica y solo con dosis $200\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, aunque la concentración final del Ca tiende a bajar siendo similar a la agregación de $50\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O , por eso se cree que puede existir cierto antagonismo entre K y Ca.

Barbazán, et al. (2011), al hacer un estudio sobre fertilización potásica en diferentes zonas de Sudamérica para encontrar un nivel crítico orientativo de potasio (K) en el suelo usando el método de análisis de K más difundido, en cultivos de cebada, trigo, maíz, soja, sorgo y girasol, realizados durante el período 2004 a 2010, en suelos de diferentes texturas y niveles de K intercambiable (K^+), llevados a cabo por distintos grupos de trabajo, con fertilización potásica aplicadas que variaron entre 0 a $240\text{ kg}/\text{ha}$ de K_2O , usando el cloruro de potasio (KCl) aplicado al voleo a la siembra. Al evaluarse los resultados observaron un aumento en el rendimiento de

los cultivos de cebada, trigo y maíz por el agregado de K en 15 de los 50 sitios estudiados ($P < 0,10$). Para la determinación del nivel crítico se incluyeron los tratamientos testigo (sin K) y el promedio de las dosis de 60 y 120 kg/ha de K_2O . Considerando todos los sitios y cultivos, el nivel crítico de K intercambiable encontrado fue de $0,34 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg de suelo}^{-1}$. Este valor debería tomarse como indicador provisorio en suelos deficientes en K. Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de profundizar los estudios de la dinámica de este nutriente, el potasio, en los suelos.

Fernández (1996), estudió la influencia de la fertilización periódica y frecuente con fósforo y potasio en la nutrición del cultivo de maíz y en la fertilidad del suelo en la zona central irrigada de Chile. El terreno seleccionado fue de textura gruesa (franco arenosa); pH 8,2; $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P disponible, $75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de K disponible y con una profundidad variable de 0,6 a 0,85 m. El área de estudio se manejó por cuatro años con monocultivo de maíz para grano, híbrido semi-tardío, sembrado en densidad de $76\ 500 \text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los tratamientos incluyeron: un testigo T0' sin fertilización PK; un T1 con $26 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P y $66 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K y un T2 con $52 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P y $132 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K, utilizándose superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. Toda la fertilización se aplicó con $350 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N como urea, en dos parcialidades. En cada cosecha fue retirado todo el material aéreo (fitomasa), que fue secado, molido y analizado para N, P y K. El suelo se muestreó anualmente, al inicio de cada temporada, analizándose principalmente P y K.

2. BASES TEÓRICAS

2.1. Generalidades del Cultivo

El maíz es una planta de la familia de las gramíneas, con el tallo grueso, de uno a tres metros de altura, según las especies; hojas largas, planas y

puntiagudas; flores masculinas en racimos terminales y las femeninas en espigas axilares resguardadas por una vaina (Reyes, 1990).

Reyes (1990) define al maíz como una planta anual, muy exuberante, con tallo sencillo o poco ramificado. Este tallo es liso, erecto, medular, de 150-250 cm de altura y un grosor en la base de hasta 5 cm. Posee numerosos nódulos en una sucesión densa; en los más cercanos al suelo se desarrollan numerosas raíces que sirven para la percepción de las sustancias nutritivas y la captación del agua; además, sirven para reforzar la firmeza del 99% de la planta. A lo largo del tallo, se encuentran hasta 40 hojas alargadas, de 4-10 cm de ancho, más de 100 cm de longitud y un color verde oscuro. Los lemas son relativamente cortos (hasta 5 mm) y longitudinalmente escindidas o ciliadas. Las vainas son lisas. Las hojas tienen pilosidades diseminadas en la parte superior y forma ondulada en el borde; además, son ligeramente ásperas. Las panículas son terminales muy grandes, de hasta 50 cm de longitud.

Las ramas paniculares tienen espículas dispuestas en forma pareada con dos flores masculinas y dos lemas herbáceos, puntiagudos, pubescentes, polinervados, de color violeta claro. Flores femeninas en inflorescencias en número de 1 a 3, que aparecen como brotes cortos, laterales, en las axilas de las hojas y en el tallo inferior o medio; se trata de mazorcas de tallo corto, encerradas en hojas anchas, verdosas (que en alemán reciben el nombre de "Lieschen", "Elisitas"); llevan espículas pareadas, en 8-16 líneas longitudinales que constan, cada una de ellas, de dos flores, de las cuales solo se ha desarrollado una plenamente (Sevilla, 2008).

Los ovarios son muy pequeños y miden a lo sumo 3 mm de longitud; sin embargo, en el periodo de floración, ostentan pistilos, de casi 20-40 cm, dotados con un estigma terminal. Estos pistilos, que después se desecan, sobresalen como un manojo marrón en la punta de la mazorca, entre las hojas. Por su parte los lemas y las glumas anteriores de las flores femeninas no se

desarrollan más. Los frutos pueden, por ende, quedar pre-arqueados, sin glumas. Los granos de maíz son, durante el periodo, de maduración, blanquecinos, dorados, rojos o de color violeta oscuro (Reyes, 1990).

En los primeros estados de desarrollo el maíz es muy sensible a la falta de agua en el sistema suelo, su desarrollo en las primeras etapas dependen de esto, una deficiente preparación de suelo lograría que las semillas (granos) que quedan sobre la superficie no germinen por lo que es de suma importancia que al momento de la siembra el suelo donde se establecerá el cultivo debe estar bien mullido y con una correcta micro nivelación para evitar problemas de drenaje, además para que la sembradora distribuya la semilla a una profundidad uniforme asegurando así una emergencia pareja y una densidad uniforme sobre el área sembrada (Reyes, 1990).

Puede decirse con cierta exactitud, que las variedades del maíz que hoy en día se cultivan en todo el planeta tienen su origen en la región situada entre América Central y Meridional. Desde el punto de vista botánico, el maíz se diferencia de las demás plantas por sus flores de sexos separados y por la posición específica de las inflorescencias femeninas. Esto es muy comprensible, teniendo en cuenta que los granos de polen del maíz son habitualmente grandes y por ello no pueden ser transportados por el viento. Para la polinización basta con que, en un campo de maíz, estos granos avancen, girando simplemente sobre su eje desde las inflorescencias masculinas que sobresalen en lo alto. La autopolinización está excluida, ya que las flores masculinas florecen siempre antes que las femeninas en la misma planta MINAG (2010).

El aumento de la producción de maíz se hizo posible principalmente gracias a la introducción de semillas híbridas que para obtenerlas se utilizaban como progenitores diversas líneas obtenidas por endogamia (asimismo de origen híbrido). Cuando tales líneas se cruzan, la semilla resultante produce plantas híbridas muy vigorosas. Las variedades que se quieren cruzar deben sembrarse en hileras alternas, retirando las inflorescencias masculinas de una

de ellas a mano, de manera que todas las semillas que se produzcan a partir de dichas plantas serán híbridas (MINAG, 2010).

Mediante una selección cuidadosa de las mejores líneas cruzadas, se pueden producir los híbridos de maíz más vigorosos y apropiados para el cultivo en una zona determinada. Debido a la uniformidad de las características de las plantas híbridas, éstas son fáciles de cosechar y dan lugar a producciones más altas que los individuos no híbridos. Menos del uno por ciento del maíz que se cultivaba en los Estados Unidos en 1935 era híbrido, mientras que hoy en día lo es virtualmente en su totalidad. Actualmente se necesita mucho menos trabajo para conseguir mayores producciones por hectárea de lo que se requería antes (Raven, et al., 1992).

2.2. Fenología del Cultivo

Una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de éste evento se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante dos o tres semanas. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las de las plantas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]) (2016).

Así por ejemplo, en el maíz se han considerado las siguientes etapas:

- Siembra – emergencia (I etapa).
- Emergencia – panoja (II etapa).
- Panoja – espiga (III etapa).
- Espiga – maduración (IV etapa).

La suma de las cuatro etapas constituye el ciclo de vida del maíz. Cada una de estas etapas está influenciada por los elementos meteorológicos que en su conjunto constituyen el clima de una localidad (Figura 1).

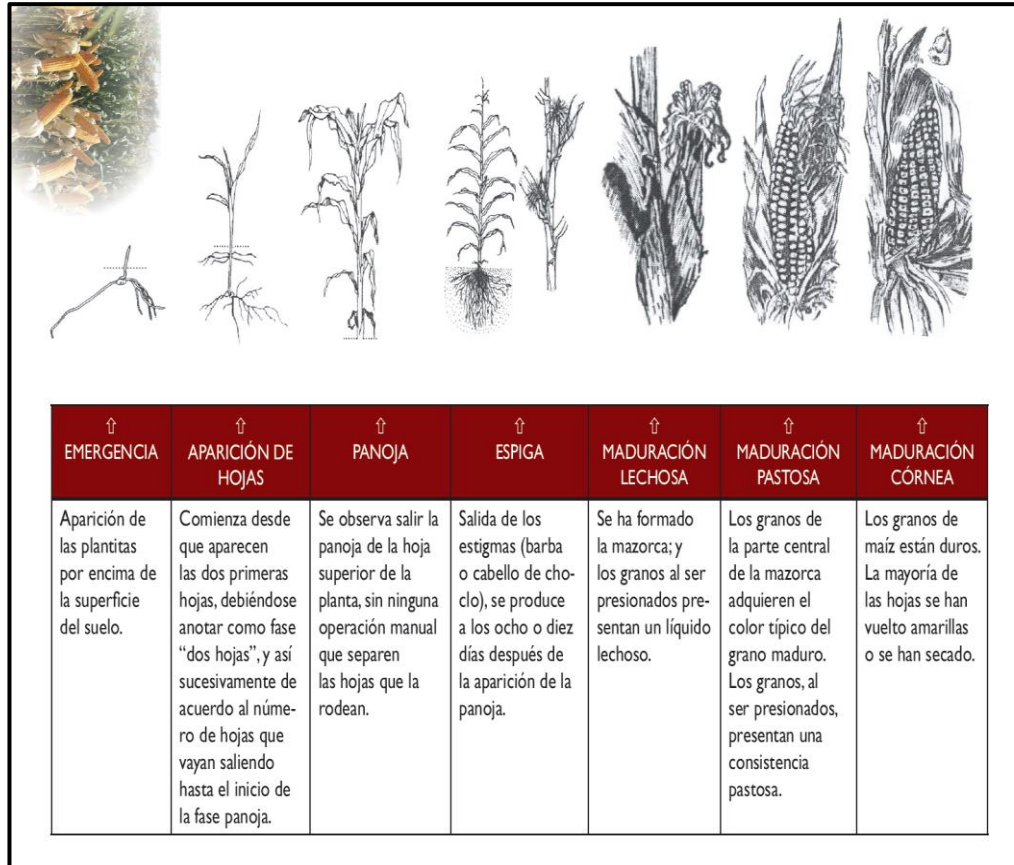


Figura 1: Fases Fenológicas del Maíz (SENAMHI, 2016).

2.3. El Sistema Suelo - Planta

Según Havlin, et al. (2005) el sistema suelo – planta es un sistema abierto en el que los elementos (M) son constantemente removidos de un lado, la fase sólida del suelo y acumulados en otro, la planta.

M (fase sólida) ↔ M (solución) ↔ M (raíz) ↔ M (parte aérea)

Dentro del suelo ocurren fenómenos de naturaleza, químicos o biológicos, que afectan a los nutrientes vegetales. Los mecanismos involucrados son

diversos y pueden afectar a los nutrientes de manera diferente, en algunos casos aumentando su disponibilidad, en otras disminuyéndolas (García, 2002).

2.4. Absorción de Nutrientes

La aptitud de las plantas para absorber tanto el agua como los nutrientes minerales del suelo están relacionados a su capacidad de desarrollar un extenso sistema radicular. El punto preciso de entrada de los minerales dentro del sistema radicular ha sido un tópico de bastante interés. Algunos consideran que la absorción de nutrientes tiene lugar únicamente en las regiones apicales de los ejes o ramas radiculares, mientras que otros creen que la absorción tiene lugar sobre la superficie integra de las raíces. El suelo que rodea a las raíces de las plantas puede considerarse como un material heterogéneo que contiene una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa. Todas estas fases están involucradas en el subministro de nutrientes hacia la superficie radicular. Las partículas inorgánicas de la fase sólida actúan como una reserva de nutrientes. (Taiz, 1998).

Las plantas absorben nutrientes con la finalidad de formar parte de la estructura de los diferentes órganos y compuestos, así como en las diferentes actividades enzimáticas, que van a influir en la manifestación metabólica de los cultivos. Dentro de estos nutrientes seleccionados por Mengel y Kirkby, (2000) de acuerdo con los criterios de esencialidad por ellos definidos, se encuentran el N, P y K, como macronutrientes principales, que nos indica que el suelo normalmente no puede satisfacer las necesidades de la planta, por lo que tiene que ser incorporados.

Mengel y Kirkby (2000) en razón de sus estudios sobre la absorción de nutrientes por las plantas, concluyeron lo siguiente: (a) Los iones son absorbidos por las plantas de manera selectiva, (b) La absorción tiene lugar aún en contra de la concentración, (c). La planta requiere energía para los procesos de absorción la cual es generada por el metabolismo celular.

2.5. Rol de los Nutrientes

2.5.1. Nitrógeno

a. El nitrógeno en la planta

La materia seca vegetal contiene alrededor de 2 a 4 por ciento de N. Esto parece mucho más bajo en comparación con el contenido de C que está en el orden de más del 40 por ciento. No obstante el N es un constituyente elemental indispensable de numerosos componentes orgánicos de importancia general (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleóticos). La fuente inorgánica más importante involucrada en esta conversión son el NO_3^- y el NH_4^+ .

Instituto de la Potasa y el Fósforo [INPOFOS] (1997), sostiene que la mayoría de los cultivos agrícolas absorben el N como ion NO_3^- , sin embargo, estudios recientes han demostrado que los cultivos usan cantidades apreciables de NH_4^+ , si este está presente en el suelo; esto ayudaría a que algunos cultivos incrementen su producción, unas de las razones por las que se obtiene rendimientos más altos con la absorción de una parte del N como NH_4^+ , es que la reducción de NO_3^- , dentro de la planta requiere de energía (el NO_3^- es reducido a NH_4^+ que luego se convierte en aminoácidos dentro de la planta). Esta energía es proporcionada por carbohidratos, los mismos que podrían ser usados para el crecimiento o para la formación del fruto.

Una diferencia muy importante entre la absorción del NO_3^- y la absorción del NH_4^+ está en su sensibilidad al pH. La mejor absorción del N- NH_4^+ tiene lugar en un medio neutro y se deprime cuando disminuye el pH. Lo contrario sucede para la absorción del NO_3^- , ocurriendo una absorción más rápida a valores bajos de pH. Los investigadores sugieren que la reducción de la absorción de

NO_3^- a valores elevados de pH se debe al efecto competitivo de los iones OH^- que suprimen el sistema de transporte de la absorción del NO_3^- Mengel y Kirkby (2000).

La forma en que se absorbe no es indiferente, ya que el ión amonio reduce la absorción de otros cationes (Ca^{2+} y Mg^{2+} fundamentalmente), y las distintas especies presentan diferencias en la preferencia y/o tolerancia ambas formas de nitrógeno. La reducción de nitrato a amonio es catalizada por dos enzimas distintas: la nitrato reductasa, que reduce el nitrato a nitrito, y el nitrito reductasa, que reduce el nitrito hasta amonio de acuerdo con la reducción: $\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\text{e} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$

Debido al elevado número de electrones necesarios para reducir una molécula de NO_3^- , la reducción de este consume un porcentaje apreciable del poder reductor producido por los procesos fotosintéticos.

El ion amonio es extremadamente tóxico para las plantas. Tanto el absorbido por las raíces como el producido mediante la reducción de los nitratos es metabolizado rápidamente mediante su incorporación en aminoácidos. Cuando esta tiene lugar en las raíces, el transporte del nitrógeno en el xilema se realiza fundamentalmente en forma de amidas (glutamina y asparagina), o de aminoácidos (arginina) (Guardiola, 1990).

Guardiola (1990) agregan que la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del grano, lo cual significa que antes del llenado de granos la planta consume más del 50 por ciento.

b. El nitrógeno en el suelo

Según Villagarcía, 1994, el nitrógeno, es el elemento del suelo más absorbido por las plantas en condiciones normales de cultivo. Por esta razón, es también, el nutrimento que se encuentra más deficiente para la mayoría de los cultivos en todas las partes del mundo quién manifiesta que los cationes minerales como el amonio (NH_4^+) y el potasio (K^+), son adsorbidos a las cargas negativas de la superficie de la partícula orgánica e inorgánicas del suelo, esta absorción de cationes es un factor importante para la fertilidad del suelo; los cationes minerales en la superficie de la partículas del suelo no se pierden fácilmente por lixiviación y proporcionan una reserva de nutrientes para las raíces de la planta. Este autor agrega que el nitrógeno amoniacal, aun siendo soluble en el agua, es retenido muy bien por el complejo absorbente del suelo. Es una forma transitoria, que al llegar la estación templada, no tarda en transformarse en nitrógeno nítrico, pero que se conserva mucho tiempo en forma amoniacal cuando la temperatura es baja. Este tipo de nitrógeno también puede ser absorbido por las plantas directamente en cantidades más o menos importantes según los casos, agregando que no todas las transformaciones del nitrógeno del suelo son metabolizadas por los microorganismos.

El amoniaco y el nitrito (NO_2^-), producidos como productos de la composición microbiana de los materiales orgánicos nitrogenados, son capaces de proseguir reacciones químicas con la materia orgánica, conduciendo en algunos casos hacia la evolución de gases de nitrógeno. Mediante la asociación física-química de los materiales húmicos con la materia orgánica, se forman los complejos metal-orgánicos y los órganos arcillosos, con lo cual los componentes nitrógeno están protegidos contra el ataque de microorganismos (Villagarcía, 1994),

2.5.2. Fósforo

a. El Fósforo en la Planta

Las plantas absorben la mayor parte del fósforo que necesita como ion-ortofosfato primario (H_2PO_4^-). También absorben cantidades menores del ion-ortofosfato secundario ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$). El pH del suelo influye enormemente en la proporción con que estos iones son absorbidos por la planta. Otras formas de fósforo también pueden ser utilizados pero en cantidades mucho menores que los ortofosfato. El fósforo actúa en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular, alargamiento celular y muchos otros procesos de la planta viviente. Promueve la formación temprana y el crecimiento de raíces. El fósforo es vital para la formación de semillas cuya concentración es más alta que en cualquier otra parte de la planta madura (Brady, 1990).

Las raíces de las plantas son capaces de absorber fosfatos de soluciones con muy bajas concentraciones de estos iones. Generalmente el contenido de fosfato de las células radiculares y de la savia del xilema es de 100 a 1000 veces superiores al del suelo. Esto demuestra que los fosfatos son absorbidos por las células de las plantas contra una gradiente de concentración muy elevada. La absorción es activa; la tasa de absorción de fosfatos es dependiente del pH. Los fosfatos absorbidos por las células de las plantas llegan a involucrarse rápidamente en los procesos metabólicos. Los fosfatos orgánicos formados en este corto tiempo consisten principalmente de fosfatos de hexosa y uridinadifosfato. El fosfato se moviliza rápidamente en la planta y puede traslocarse en una dirección hacia arriba o hacia abajo (Brady, 1990).

Entre las funciones y cualidades más significativas de las plantas sobre las cuales el fosfato tiene un efecto importante están:

- La fotosíntesis.
- La fijación del nitrógeno.
- La maduración del cultivo: floración y fructificación, incluyendo la formación de semillas.
- El desarrollo radicular, parcialmente de las raicillas laterales y fibrosas.
- La dureza de la paja de los cereales, que ayuda a prevenir el acame o tumbada.
- El mejoramiento de la calidad de los cultivos, especialmente de forrajes y de hortalizas (Brady, 1990).

b. El Fósforo en el Suelo

Para la aplicación conveniente de fósforo al suelo agrícola y su utilización por las plantas, es importante el pH del suelo, pues determina la solubilidad y disponibilidad del fertilizante, en suelos muy ácidos ($\text{pH} < 6$) el fósforo tiende a formar complejos con el hierro y aluminio del suelo, inhibiendo la disponibilidad; a su vez, en un ambiente alcalino ($\text{pH} > 8,2$) se tiende a formar fosfato tricálcico insoluble. Por ello, los suelos ácidos deberían previamente ser enmendados con cal. En suelos alcalinos se debe usar fertilizantes fosfatados de alta solubilidad en agua (Instituto Valenciano de Exportación [IVEX], 2003).

Se acostumbra describir el P del suelo en términos de la siguiente relación:

P de la solución suelo \longleftrightarrow P lábil del suelo \longleftrightarrow P no lábil

Donde el equilibrio se establece rápidamente entre el P lábil y el de la solución suelo, mientras que el equilibrio verdadero se establece rara vez entre las reservas lábiles y no lábiles del P del suelo. El componente solución suelo del P del suelo tiene varias características, las cuales no son únicas para el P sino también aplicables para otros nutrientes (Havlin, et al., 2005).

2.5.3. Potasio

El potasio es absorbido intensamente durante la etapa juvenil de la planta de maíz. En la mayor parte de los suelos las pérdidas de potasio son relativamente pequeñas. A menos que se trate de suelos con texturas muy gruesas, se recomienda la aplicación de fertilizantes potásicos totalmente en la siembra, en forma de bandas enterradas a un lado y por debajo de la semilla (Dunja, 2000).

Según Plaster (2005), las plantas usan en grandes cantidades seis de los elementos esenciales. Estos seis macronutrientes son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Esos seis nutrientes son listados en orden decreciente desde la mayor cantidad usada por la mayoría de las plantas, de la siguiente manera: $N \geq K > Ca > Mg \geq P > S$. Los suelos probablemente tienen menos deficiencia de calcio, magnesio y azufre que de los otros tres nutrientes restantes (nitrógeno, fósforo y potasio). Como la mayoría de suelos (aunque no todos) suministran suficiente calcio, magnesio y azufre, los edafólogos los denominan *macronutrientes secundarios* o simplemente *nutrientes secundarios*. Los *macronutrientes primarios*, (a veces denominados elementos fertilizantes), no están normalmente disponibles en cantidades suficientemente grandes para un crecimiento mejor. Los tres nutrientes primarios (nitrógenos, fósforo y potasio) son más frecuentemente añadidos al suelo mediante la fertilización. Nótese que la división en macronutrientes primarios y

secundarios no está basada en las cantidades relativas usadas por las plantas sino en su importancia como fertilizante.

Plaster (2005) agrega que el potasio (también llamado potasa) es un nutriente clave de la planta. Las plantas consumen más potasio que cualquier otro elemento, exceptuando al nitrógeno, y algunas plantas como el pasto azul (*Proa pratensis*) conocido con *Blue grass*, pueden usar más. Los compuestos no orgánicos de una planta contienen potasio, pero muchos procesos biológicos lo necesitan. El potasio se disuelve en los fluidos de la planta, cubriendo diversas funciones reguladoras. El potasio activa las necesidades de enzimas desarrollo de fuertes paredes gruesas de células y tallos de planta rígidos. El potasio regula la apertura y cierre de estoma de la hoja (poros en la hoja que dejan pasar el oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua hacia afuera y hacia dentro de la hoja). Por consiguiente el potasio está implicado en el intercambio de gas necesario para la fotosíntesis y la transpiración.

Havlin, et al. (2005) señala que el potasio es absorbido por las plantas en cantidades mayores que otros nutrientes. Aunque el contenido total de potasio en el suelo excede a la absorción durante el ciclo biológico, en la mayoría de casos solo una pequeña fracción de este es disponible para las plantas. El contenido total de potasio varía entre 0,5 a 2,5 por ciento y es menor en suelos de textura gruesa formados por areniscas y cuarcitas y más alto en suelos de textura fina formados a partir de rocas con alto contenido de minerales potásicos. Los suelos que son lavados intensamente tienen bajo contenido de K, en contraste, suelos que formados de material madre geológicamente jóvenes y bajo condiciones de escasa precipitan tienen alto contenido de K. En suelos tropicales el contenido de K es generalmente bajo debido a una mayor intemperización causado por las altas precipitaciones y temperaturas, así la deficiencia de potasio ocurre frecuentemente luego de algunos años del cultivo en los suelos vírgenes.

a. El Potasio en la planta

El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ , y es un elemento siempre importante cuantitativamente en las cenizas vegetales, bajo la forma de óxido potásico. Además menciona que su contenido en la planta puede fluctuar ampliamente, dependiendo de la especie, del órgano que se considere y del contenido asimilable del suelo.

Es el principal catión presente en los jugos vegetales, pudiendo encontrarse bajo forma de sales orgánicas (oxalatos, tartratos), sales minerales (fosfatos, nitratos) y de combinaciones complejas inestables con los coloides celulares. No hay evidencia de que forme parte de la estructura molecular de las células. En las hojas de las plantas superiores, un 30 por ciento se encuentra en los coloides del citoplasma y un 70 por ciento en sus vacuolas (Navarro, 2003).

El potasio en la planta es muy móvil, siendo su principal dirección el transporte hacia los tejidos meristemáticos. A menudo el K^+ de los órganos más viejos de la planta es redistribuido hacia los tejidos más jóvenes. La razón por la cual es transportada preferencialmente a los tejidos meristemáticos jóvenes aún se desconoce, pero participa en las reacciones de síntesis de las proteínas, tasa de crecimiento y el suministro de citoquininas. Así, la absorción y el transporte de K^+ hacia las hojas jóvenes son favorecidas en las plantas bien suministradas con N. La síntesis de proteínas y la tasa de crecimiento son estimuladas por las citoquininas, que también mejoran la absorción de K^+ . El grueso de K^+ es absorbido básicamente durante la fase de crecimiento vegetativo (Navarro, 2003). El potasio estimula el desarrollo vegetativo, promueve el almacenamiento de azúcares y almidón, aumenta la eficiencia en el uso del agua por la planta y aumenta la resistencia a sequías, plagas

y enfermedades (Felles, 2009).

Lezcano (1997) reporta que el potasio en la planta es clave para que ésta soporte mejor el estrés ocasionado por factores tales como: (a) Sequías, (b) Altas temperaturas, (c) Enfermedades, (d) Ataques de insectos. Las plantas que tienen alto contenido de potasio requieren menos agua para producir un rendimiento dado o se puede obtener mayor rendimiento con solamente un pequeño incremento en el suplemento de agua. La respuesta del cultivo a la fertilización con potasio es a menudo más alta cuando el agua es deficiente o excesiva.

Lezcano (1997), agrega que entre los factores relacionados con el mejoramiento de la eficiencia del uso del agua y la resistencia a la sequía, cuando se aplica potasio se puede citar lo siguiente:

- Aumento en la exploración del suelo por la raíz. La baja humedad del suelo altera procesos fisiológicos de la raíz disminuyendo el crecimiento.
- El potasio incrementa la eficiencia de la fotosíntesis y la evapotranspiración.
- El follaje se incrementa y se acelera la cobertura del suelo. Se puede disminuir el estrés en épocas críticas de crecimiento.

b. El Potasio en el suelo

El potasio en los suelos se encuentran en 4 formas: como componente estructural de los minerales primarios (micas y feldspatos de K); potasio que está atrapado temporalmente en las arcillas expandibles (illita y montmorillonita); K intercambiable sostenido por los coloides del suelo cargados negativamente, y una pequeña cantidad de K soluble presente en la solución del suelo. El potasio está disponible para la absorción por las plantas bajo la

forma de catión cambiante (K^+) en la solución del suelo (Felles, 2009)

Cuatro son las condiciones del suelo que afectan marcadamente las cantidades de potasio fijado: (a) la naturaleza de los coloides del suelo, (b) el humedecimiento y secado, (c) el congelamiento y el derretimiento, (d) la presencia de calcáreo en exceso. A veces la aplicación de calcáreo en exceso ocasiona un incremento en la fijación de potasio de los suelos. El encalado puede tener efectos adversos sobre la disponibilidad de potasio de otras formas. Por ejemplo en los suelos donde la carga negativa es dependiente del pH, el encalado incrementa la capacidad de intercambio catiónico, lo que ocasiona una adsorción de potasio incrementada por los coloides del suelo y una disminución del nivel de potasio de la solución suelo. Además, los elevados niveles de calcio en la solución suelo pueden reducir la absorción de potasio por las plantas. Felles (2009) agrega que el cultivo del maíz remueve del suelo mucho más potasio que los otros nutrientes; la exportación de K se sitúa en torno a 1,5 veces que del N y 4 a 5 veces que la del fósforo, las exportaciones de Mg, S y Ca son bien menores cuando es comparada con el potasio.

2.6. Importancia de la Fertilización Química

Los fertilizantes contienen nutrientes para las plantas y pueden incorporarse al suelo para aumentar su fertilidad natural (Thompson y Troeh, 2004). Debido a que la restitución natural de los nutrientes que la planta extrae del suelo toma largo tiempo, los fertilizantes ayudan a restituir estos nutrientes permitiendo mantener la fertilidad química del suelo siempre y cuando se les utilice en forma correcta, es decir aplicados en la cantidad estrictamente necesaria para el tipo de suelo, clima y cultivo. La disponibilidad de los nutrientes que se aporta es más importante que la cantidad de fertilizante.

La fertilización con sustancias minerales, preparadas mediante procesos químicos en plantas industriales (fertilizantes químicos), ha permitido al agricultor corregir rápidamente deficiencias de nutrientes en sus suelos y aplicar las cantidades adecuadas para suplir las demandas de los cultivos, en macro y micronutrientes. Una gran ventaja de usar los fertilizantes químicos reside en que algunas de sus formulaciones son muy solubles y pasan rápidamente a formar parte de la solución suelo, incrementando la concentración y disponibilidad de nutrientes para las raíces de la planta. Otras formulaciones de fertilizantes químicos son de lenta solubilidad y liberan los nutrientes progresivamente, mediante una disponibilidad regular del nutriente (García, 2002). La fertilización no solo influye en el rendimiento sino también en la calidad del tubérculo; se ha encontrado que la gravedad específica (índice del contenido de almidón) del tubérculo depende del porcentaje y densidad de la materia seca así como del porcentaje del aire en tejidos (Melgar y Torres, 2014).

2.7. Efecto de la Fertilización Química en el Cultivo de Maíz

El manejo eficiente de la nutrición y un programa de fertilización balanceada en el cultivo de maíz es fundamental para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes (provenientes del suelo y del fertilizante) por parte del cultivo, minimizando el impacto sobre el ambiente y sostenidos en el tiempo (Melgar y Torres, 2011).

Según García (2002), el diagnóstico de la fertilización del cultivo implica conocer las necesidades nutricionales para alcanzar un rendimiento objetivo y la capacidad del suelo de proveer esos nutrientes en la cantidad y el momento adecuado. Los requerimientos y extracción en grano de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para distintos niveles de producción de maíz se indican en la Tabla 1.

Asimismo García (2002), indica que el índice de cosecha (extraído/absorbido) de N y P es elevado, del 65-75 por ciento, mientras que para K es mucho menor, 20-25 por ciento. En términos de fertilizante, con rendimientos de 9 000 kg.ha⁻¹, se exportan del sistema el equivalente a 232 kg.ha⁻¹ de urea más 135 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico y más 72 kg.ha⁻¹ de cloruro de potasio. Por otro lado es importante recordar que para lograr un adecuado desarrollo del cultivo no se debe de olvidar de los nutrientes secundarios y micronutrientes, por ello los requerimientos de nutrientes secundarios (azufre, calcio y magnesio) y micronutrientes (cobre, manganeso, zinc, boro, hierro) se indican en la Tabla 2.

Tabla 1

Requerimientos y Extracción en Grano de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) para distintos Rendimientos de Maíz

Rendimiento kg.ha ⁻¹	Absorción por la planta			Extracción en grano		
	N	P	K	N	P	K
	kg.ha ⁻¹			kg.ha ⁻¹		
6000	132	24	114	87	18	24
9000	198	36	171	131	27	36
12000	264	48	228	174	36	48

Fuente: García (2002)

Tabla 2

Requerimientos de nutrientes secundarios y micronutrientes del cultivo de maíz para producir una tonelada de granos

S	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B	Fe
kg/tonelada				g/tonelada			
4	3	3	13	189	53	20	125

Fuente: García (2002)

2.8. Fuentes de Fertilizantes Potásicos

Con respecto al potasio el Instituto de la Potasa y el Fósforo [INPOFOS] (1997), señala que las principales formas de fertilizantes potásicos son las siguientes:

- **Cloruro de potasio (KCl):** También llamado muriato de potasio (MOP): es la fuente de potasio más usada en el Mundo. El KCl es soluble en el Agua y contiene de 60 a 62 por ciento de K_2O .
- **Sulfato de potasio (K_2SO_4):** Conocido como sulfato de potasa (SOP), contiene aproximadamente 50 por ciento de K_2O y 18 por ciento de azufre (S). Debido a que su contenido de cloro (Cl) es menor al 2,5 por ciento se usa en cultivos sensibles al Cl como el tabaco, y para suministrar S. El K_2SO_4 se usa también en sitios donde la acumulación de Cl (Suelos de pH alto), llega a ser un problema.
- **Sulfato de potasio y magnesio ($K_2SO_4 - 2MgSO_4$):** Denominado también Sul-Po-Mag y K-Mag, contiene 22 por ciento aproximadamente de K_2O , 11 por ciento de Mg y 22 por ciento de S.
- **Nitrato de potasio (KNO_3):** Contiene cantidades muy pequeñas de Cl o S. Contiene 44 por ciento de K_2O y 13 por ciento de N.

2.8.1. Cloruro de Potasio

Los fertilizantes potásicos son comúnmente utilizados para superar las deficiencias de las plantas, donde los suelos no pueden abastecer las cantidades de potasio (K) requeridas por los cultivos, se hace necesario el agregado de este nutriente vegetal esencial. Potasa es un término general usado para designar una variedad de fertilizantes utilizados en la agricultura que contienen K. El cloruro de K (KCl), la fuente más comúnmente utilizada, es también conocido como Muriato de K

(muriato es el nombre antiguo usado para designar sales que contienen cloruro). El K está en los minerales en forma de catión monovalente (K^+) (Ortiz y Ortiz, 1990).

Los depósitos de potasa, profundamente enterrados, se encuentran dispersos por todo el mundo. El mineral dominante es la silvita (KCl) mezclada con halita (cloruro de sodio, NaCl), formando un mineral mixto denominado silvinita. La mayoría de los minerales de K son extraídos desde antiguos depósitos marinos profundos debajo de la superficie terrestre. Estos son luego llevados a una planta procesadora donde el mineral es molido y las sales de K son separadas de las sales sódicas (Melgar y Torres, 2011).

El color del KCl puede variar desde el rojo al blanco, dependiendo de la fuente de silvinita. El tono rojizo proviene del óxido de hierro en pequeñas cantidades. No hay diferencias agronómicas entre las formas roja y blanca del KCl. Algunas fuentes de KCl son producidas por inyección de agua caliente en profundidad para disolver la silvinita y luego bombear la salmuera a la superficie donde el agua se evapora. En el Mar Muerto y el Gran Lago Salado (Utah), se utiliza la evaporación solar para recuperar valiosas sales de K del agua salada.

El KCl es el fertilizante potásico más extensamente utilizado debido a su bajo costo relativo y a que incluye más cantidad de K que otras fuentes (50-52 por ciento de K ó 60-63% de K_2O y 45-47 por ciento Cl. Más del 90 por ciento de la producción mundial de potasa es utilizada en la nutrición de plantas (Tasistro, 2015).

El KCl es usualmente esparcido sobre la superficie del suelo previo a las labores para la siembra. También puede ser aplicado en bandas cerca de la semilla. Ya que al disolverse el fertilizante se incrementará la concentración de sales solubles, el KCl en bandas se coloca al costado de la semilla para evitar daños durante la germinación de las plantas. El

KCl se disuelve rápidamente en la humedad del suelo. El K^+ será retenido en los sitios de intercambio con carga negativa de las arcillas y la materia orgánica del suelo. Por su parte, el Cl^- se moverá rápidamente con el agua del suelo. Un grado especial de pureza de KCl puede ser disuelto para fertilizantes líquidos o aplicaciones a través de sistemas de riego (Melgar y Torres, 2014).

El KCl es principalmente utilizado como una fuente de K para la nutrición vegetal y es generalmente el material preferido para satisfacer estas necesidades. No hay un impacto significativo en el agua o aire asociado con dosis normales de aplicación de KCl. La elevada concentración de sales en la proximidad del fertilizante al disolverse puede ser el factor negativo más importante a considerar.

El K también tiene un uso no agrícola ya que es esencial para la salud humana y animal. Debe ser regularmente ingerido debido a que el cuerpo no lo acumula. El KCl puede ser utilizado como una sal sustituta en dietas para personas con restricción de consumo de sal común (NaCl). Es usado como un agente descongelante y posee un valor fertilizante luego del deshielo. Además se utiliza como ablandador de aguas para reemplazar el calcio en el agua (Tasistro, 2015).

2.8.2. Sulfato de Potasio

Este fertilizante potásico es comúnmente utilizado para mejorar el rendimiento y la calidad de las plantas creciendo en suelos sin una adecuada oferta de este nutriente esencial. La mayoría de los fertilizantes potásicos provienen de antiguos depósitos de sal localizados alrededor del mundo. La palabra “potasa” es un término general que más frecuentemente se refiere al cloruro de potasio (KCl), pero es también aplicado a todos los demás fertilizantes potásicos, como el sulfato de potasio (K_2SO_4), comúnmente denominado como sulfato de potasa o SOP (ISOASA, 2012).

El potasio (K) es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y la producción de fertilizantes potásicos tiene lugar en todos los continentes habitados. Sin embargo, el K_2SO_4 raramente se halla en forma pura en la naturaleza. Por el contrario, está naturalmente mezclado con sales que contienen magnesio (Mg), sodio (Na), y cloro (Cl). Estos minerales requieren de un proceso adicional para separar sus componentes. Históricamente, el K_2SO_4 era fabricado a través de la reacción de KCl con ácido sulfúrico. Sin embargo, posteriormente se descubrió que una serie de minerales terrestres podían ser manipulados para producir K_2SO_4 y desde entonces es el método más común de producción. Por ejemplo, minerales naturales que contienen K (como la kainita y schoenita) se extraen y lavan cuidadosamente con soluciones salinas para remover subproductos y producir K_2SO_4 . Un proceso similar se utiliza para extraer K_2SO_4 del Gran Lago Salado en Utah, y de depósitos minerales subterráneos. En Nuevo México (EE.UU.), el K_2SO_4 es separado de los minerales de langbeinita haciéndola reaccionar con una solución de KCl, que remueve los subproductos (como el Mg) y libera el K_2SO_4 . Técnicas similares de procesamiento son utilizadas en muchas partes del mundo, dependiendo de las materias primas disponibles (Tasistro, 2015).

Las concentraciones de K en el suelo son generalmente demasiado bajas para permitir un saludable crecimiento vegetal. El K es necesario para cumplir con muchas funciones esenciales en las plantas tales como activar reacciones enzimáticas, sintetizar proteínas, formar sacarosa y otros azúcares, y regular el flujo de agua en las células y hojas (Hernández, et al., 2010).

El K_2SO_4 es una excelente fuente para la nutrición de las plantas. La porción potásica del K_2SO_4 no es diferente a la de otras fuentes de fertilizantes potásicos. Sin embargo también aporta una fuente valiosa de azufre (S), que es a veces deficiente para el crecimiento vegetal. El

azufre es requerido para la síntesis de proteínas y el funcionamiento enzimático. Hay ciertos suelos y cultivos donde la aplicación de Cl^- debe ser restringida. En estos casos, el K_2SO_4 es una fuente de K muy aconsejable. K_2SO_4 posee solo un tercio de la solubilidad del KCl, por lo que no es comúnmente disuelto para la aplicación a través de agua de riego a menos que haya necesidad de aportar S (Imas, 2005).

Varios tamaños de partículas se encuentran comúnmente disponibles. Las partículas finas ($<0,015$ mm) son utilizadas para realizar soluciones con fines de riego o aplicaciones foliares ya se disuelven más rápidamente. Las aplicaciones foliares de K_2SO_4 son una opción conveniente para aplicaciones adicionales de K y S para las plantas, complementando a los nutrientes tomados desde el suelo. Puede ocurrir daño foliar si la concentración es muy elevada (ISOASA, 2012).

El K_2SO_4 es frecuentemente utilizado para cultivos donde el Cl^- que posee el KCl no es deseable. El índice salino del K_2SO_4 es menor comparado con otras fuentes comunes de K, es decir que incrementa menos la salinidad total por unidad de K. El valor de salinidad (Conductividad Eléctrica, CE) de una solución de K_2SO_4 es menor a un tercio de la CE para concentraciones similares de soluciones de KCl (10 mmol.L^{-1}). Donde son necesarias altas dosis de K_2SO_4 , generalmente se recomienda fraccionar la aplicación en dosis múltiples. Esto ayuda a evitar la acumulación de excedentes de K por la planta y también minimiza cualquier daño salino potencial (Tasistro, 2015).

El potasio (K) es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y la producción de fertilizantes potásicos tiene lugar en todos los continentes habitados. Sin embargo, el K_2SO_4 raramente se halla en forma pura en la naturaleza. Por el contrario, está naturalmente mezclado con sales que contienen magnesio (Mg), sodio (Na), y cloro (Cl). Estos minerales requieren de un proceso adicional para separar sus componentes. Históricamente, el K_2SO_4 era fabricado a través de la

reacción de KCl con ácido sulfúrico. Sin embargo, posteriormente se descubrió que una serie de minerales terrestres podían ser manipulados para producir K_2SO_4 y desde entonces es el método más común de producción. Por ejemplo, minerales naturales que contienen K (como la kainita y schoenita) se extraen y lavan cuidadosamente con soluciones salinas para remover subproductos y producir K_2SO_4 . Un proceso similar se utiliza para extraer K_2SO_4 del Gran Lago Salado en Utah, y de depósitos minerales subterráneos. En Nuevo México (EE.UU.), el K_2SO_4 es separado de los minerales de langbeinita haciéndola reaccionar con una solución de KCl, que remueve los subproductos (como el Mg) y libera el K_2SO_4 . Técnicas similares de procesamiento son utilizadas en muchas partes del mundo, dependiendo de las materias primas disponibles (Imas, 2005).

2.8.3. Sulpomag

El Sulpomag o Sulfato Doble de Potasio y Magnesio. Es el fertilizante que aporta tres nutrientes: potasio, magnesio y azufre, todos en forma inmediatamente asimilable por la planta. Es un producto considerado libre de cloro (<3 por ciento), lo cual le da un valor agronómico extraordinario para cultivos altamente sensible al cloro, como hortalizas y plantas con gran valor del follaje. Tiene un pH neutro, por lo que no incrementa la acidez del suelo, y, por su contenido de K y Mg es altamente soluble en agua y absorbible por las plantas. Conocido también como langbeinita, es una combinación especial de tres nutrientes: Potasio, Magnesio y Azufre altamente disponibles para la planta, todos presentes en un solo material. Es una sal neutral que no cambia el pH del suelo, sin importar la cantidad que se aplica. El granulado es calificado como "aceptable" para la producción de cultivos orgánicos certificados (Fertilizantes del Sur SAC [FERTISUR] (2015).

Según FERTISUR (2015) sus principales características son:

- Fórmula química: $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$
- Nutrientes principales (Ley): 22 % K_2O – 18 % MgO – 22 % S
- Tipo: Compuesto ya que contiene Potasio, Magnesio y Azufre
- Peso Molecular: 414.97 g/mol
- Solubilidad: 24.4 kg/100 litros de agua a 20°C.
- Humedad crítica relativa: 62.5% a 30°C
- Índice de acidez: Neutro
- Índice de salinidad: 43.4
- Índice de reacción: Neutra
- Presentación: Estándar y Premium Color, y
- Forma: Cristales traslúcidos u opacos, blancos o amarillentos o gránulos rosados Procedencia: EEUU
- Usos: Aplicación directa al suelo.
- Manejo y seguridad: Almacenar en un lugar seco para prevenir pérdidas de producto por disolución con agua y posterior formación de terrones. Evitar contacto con acero al carbono y aluminio, los que se pueden corroer rápidamente. No requiere condiciones especiales de almacenamiento. Es compatible en mezclas físicas de fertilizantes granulados.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR Y FECHA DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó, en el lote 2 del predio “Fundo Nuevo” que está situada en el centro poblado de Medio Mundo, perteneciente al distrito de Végueta, provincia de Huaura, Región Lima. Su ubicación geográfica es de 10° 55’ 59.65’ de Latitud Sur y de 77° 37’ 57.77” Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, a una altura de 89 msnm, sobre una terraza de origen aluvio-marítimo (Anexo 01).

El Distrito de Végueta es uno de los 12 distritos de la Provincia de Huaura ubicado en la Región Lima, Perú. El distrito fue creado mediante Ley N° 273 del 23 de agosto de 1920. Su capital es el poblado de Végueta situado sobre los 24 m.s.n.m. Está conformado por los caseríos de Mazo, Santa Cruz, Medio Mundo, San Felipe.

En Végueta la mayor actividad de los pobladores es la agricultura, produciendo frutales como palta, cítricos, fresas y caña de azúcar, además de otros productos alimenticios como papas y diversas hortalizas. Cuenta con la fábrica Redondos que capta la mayor mano de obra para la producción de pollos de calidad en el mercado del norte chico; la gente también se dedica a la pesca artesanal. Cuenta con un centro turístico conocido como las albuferas de Medio Mundo, donde se puede disfrutar de un paseo en bote. Su población, según INEI (2007), es de 18 265 habitantes y tiene una superficie de 253,94 km² con una densidad de 71, 93 km²/hab.

El presente trabajo de investigación, en su fase experimental y en la interpretación de los resultados, tuvo una duración de 10 meses, iniciándose en el mes de Noviembre del 2015 y concluyendo en Agosto del año 2016.

Las características del clima están expresados por los datos meteorológicos que fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de la Empresa Agropecuaria “CAMAY” (2015), ubicada en el centro poblado de Medio Mundo. Estos datos se pueden apreciar en la siguiente figura:

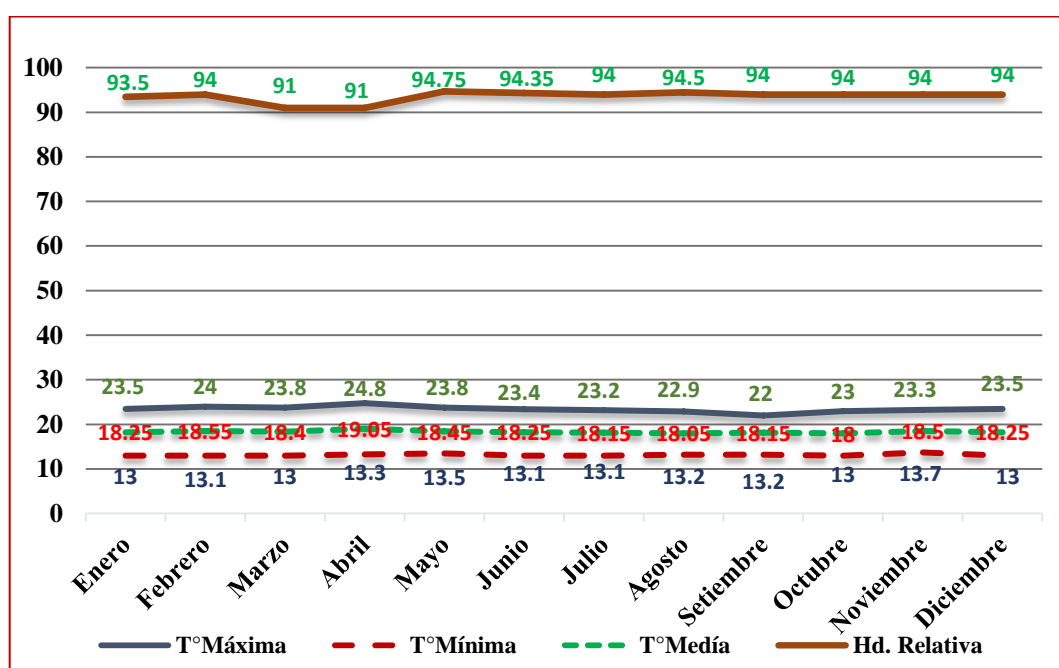


Figura 2. Temperatura Máxima, Mínima, Media y humedad Relativa de Medio Mundo. Fuente: Estación Meteorológica Camay, Medio Mundo (2015)

La precipitación es escasa o nula y el total anual es de 0.8 mm, con variaciones entre 0.0 y 0.4 mm; caracterizadas por las lloviznas o garúas ligeras, determinados por la inversión térmica que crea una atmósfera ideal estable, durante el verano al disminuir este efecto, ocasionalmente, pueden presentarse precipitaciones de corta duración y de muy baja intensidad. La zona en estudio tiene una temperatura media anual de 18,33°C.

La temperatura media mensual presenta sus valores más bajos entre los meses de Julio a Octubre. Las temperaturas máximas extremas se presentan entre Febrero y Abril y las mínimas extremas en los meses de Junio, Julio y Agosto (13°C).

Asimismo, existe una amplitud térmica promedio anual entre máximas y mínimas de 10,28°C.

La humedad relativa es bastante alta con un promedio anual de 93,58 por ciento. Esta presenta ligeras variaciones; así en Mayo se da la mayor con 94.75 por ciento y en Mayo y la menor con 91.0 por ciento en Marzo y Abril. Se debe considerar que la humedad relativa va disminuyendo conforme más se distancia del mar.

2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.1. Población

La población estuvo representada por los suelos del Predio “Fundo Nuevo”, que tiene una extensión de 17 ha en actual uso agrícola, cultivadas con diversas especies de plantas alimenticias.

2.2. Muestra

La muestra estuvo representada por el Lote 04 del predio “Fundo Nuevo”, cuyas características edáficas de acuerdo a la evaluación de la fertilidad realizada por Ventocilla (2015), corresponde a un suelo muy superficial (< 15 cm de profundidad efectiva), de textura gruesa (arena), con pendiente ligeramente inclinada (< 6 por ciento), con una distribución de raíces muy superficial, estructura en bloques subangulares medios, escorrentía superficial muy lenta, con drenaje ligeramente excesivo y con una permeabilidad muy rápida, exento de gravas y piedras. Este lote tiene un área de 1,16 ha que representa el 6.80 por ciento de la superficie total del predio en donde se hará el trabajo de investigación en un área aproximada de 394.8 m².

3. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue experimental y aplicada, con actividades de campo, laboratorio y gabinete.

3.2. Diseño de la investigación

Para el procesamiento de datos se utilizó el diseño estadístico de bloques completos al azar con arreglo factorial $2 \times 3 + 1$, con siete tratamientos y cuatro repeticiones, haciendo un total de 28 unidades experimentales. Las medias fueron comparadas mediante la Prueba de Significación de Tukey (0,05) (Calzada Benza, 1970).

3.3. Esquema del análisis de varianza

Tabla 3

Esquema del Análisis de la Varianza

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado
Bloques	3			
F	2			
M	1			
M*F	2			
Testigo vs Combinaciones	1			
Error	18			
Total	27			

Fuente: Elaboración propia

3.4. Fases del estudio

La investigación se desarrolló en base a las siguientes fases:

3.4.1. Fase Preliminar:

Esta fase consistió en el reconocimiento del área en estudio, el acopio de información bibliográfica y del material informativo de la zona en estudio y la elaboración del croquis del área experimental delimitándose las parcelas y los bloques de acuerdo a la randomización previamente establecida.

3.4.2. Fase de Campo:

En esta fase se realizó en primer lugar la preparación del terreno del área experimental de acuerdo al croquis de distribución de las parcelas y bloques y con la ayuda de una wincha, estacas, cordeles y yeso, se marcaron las respectivas parcelas de experimentación. Luego de estacadas las parcelas se procedió a al surcado de acuerdo a las medidas consideradas para cada uno de los tratamientos, dejando finalmente toda experimental lista para la fertilización seguida de la siembra.

3.4.3. Fase de Laboratorio:

En base de los análisis de suelos, se determinó la fórmula de fertilización con 160-120-100 kg.ha⁻¹ de NPK, utilizándose los siguientes fertilizantes: Urea (46 por ciento de N), Superfosfato Triple de Calcio (46 por ciento de P₂O₅) y como fuentes de potasio, materia del presente estudio, se utilizaron Cloruro de Potasio (60 por ciento de K₂O), Sulfato de potasio (50% de K₂O) y Sulpomag (22 por ciento de K₂O). En esta fase se realizaron las pesadas de los fertilizantes de acuerdo a los tratamientos considerados en el experimento.

Los fertilizantes una vez pesados fueron colocados en bolsas de polietileno debidamente identificados quedando listos para ser aplicados en cada parcela del área experimental.

3.4.4. Fase de Gabinete:

En esta fase se ordenaron, tabularon e interpretaron los datos obtenidos en las diferentes etapas vegetativas del proceso experimental, culminando con la redacción final de primer borrador del trabajo de experimentación. Los resultados estadísticamente fueron procesados mediante el Programa Estadístico Minitab.

4. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

4.1. Factores en estudio

4.1.1. Variables Independientes	Tratamientos
a. Fuentes de Potasio (F)	
• F1 = Cloruro de Potasio (KCl)	F1
• F2 = Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄)	F2
• F3 = Sulpomag	F3
b. Métodos (Épocas) de fertilización (M)	
• Fertilización normal (100 por ciento a la siembra)	M1
• Fertilización fraccionada (50 por ciento al aporque y 50 por ciento a la siembra)	M2
4.1.2. Variable Dependiente	- Rendimiento del maíz

4.2. Mensuración de las Variables

Se midieron las siguientes variables biométricas:

Tabla 4

Características Evaluadas y Unidades de Medida

Características	Unidades de Medida
a. Altura de planta	Centímetros y metros.
b. Diámetro de tallo	Centímetros
c. Longitud de mazorca a la cosecha	Centímetros
d. Rendimiento de mazorcas en verde	kg.parcela ⁻¹
e. Rendimiento del cultivo en grano	t.ha ⁻¹

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Tratamientos Experimentales

Tabla 5

Número, Clave y Tratamientos en Estudio

N° Trat.	Clave	Tratamiento
1	F1-M1	Cloruro de Potasio (KCl) aplicado al 100% en la siembra + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
2	F1-M2	Cloruro de Potasio (KCl) aplicado al 50% en la siembra y 50% al aporque + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
3	F2-M1	Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄) aplicado al 100% en la siembra + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
4	F2-M2	Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄) aplicado al 50% a la siembra y 50% al aporque + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
5	F3-M1	Sulfato de potasio magnesio: Sulpomag (SO ₄ K ₂ .SO ₄ Mg) aplicado al 100% a la siembra + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹) + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
6	F3-M2	Sulfato de potasio magnesio: Sulpomag (SO ₄ K ₂ .SO ₄ Mg) aplicado al 50% a la siembra y 50% al aporque + N (160 kg.ha ⁻¹) y P (120 kg.ha ⁻¹)*.
7	T	Testigo: Sin fertilización con NPK y sin método de aplicación de fertilizantes potásicos

* El nitrógeno fue aplicado en dos partes: 50 por ciento a la siembra y 50 por ciento al aporque. El fósforo fue aplicado en un 100 por ciento a la siembra.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Especificación del Campo Experimental

Tabla 6

Características del Campo Experimental

Características	Unidades
N° de tratamientos:	7
N° de surco por tratamientos:	3
Longitud de surco	4 m
Distanciamiento entre surco:	0.8 m
Área de la parcela:	9,6 m
N° de repeticiones:	4
Longitud del bloques:	16.80 m
Área neta por bloques:	67.2
Número de bloque:	4
Área de total de repeticiones:	268,80 m ²
Ancho de calle:	1,00 m ²
Área total del campo experimental:	394.80 m ²

Fuente: Elaboración propia

4.5. Esquema del Campo Experimental

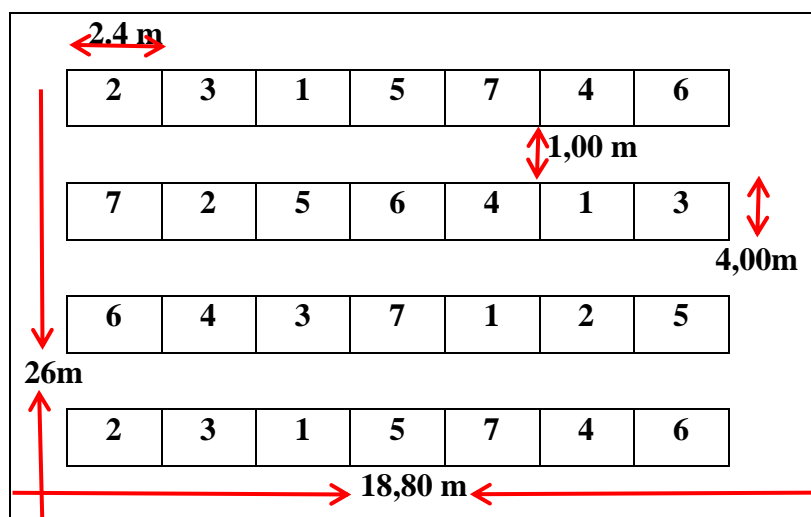


Figura 3. Esquema del Área experimental

Fuente: Elaboración propia

5. LABORES CULTURALES

5.1. Preparación del terreno

Esta labor se realizó con la finalidad de dejar al suelo en condiciones para la germinación de la semilla y controlar en cierto modo la presencia de malezas y de plagas.

5.2. Parcelación

Se realizó la demarcación del área total destinada al experimento dejando espacios libres para el tránsito y facilitar labores de manejo. Las parcelas serán demarcadas con cal y debidamente estacadas de acuerdo a las dimensiones requeridas.

5.3. Limpieza

Se realizó la limpieza del área experimental para eliminar maleza, residuos de cosecha y otros materiales con el fin de facilitar la germinación de las semillas.

5.4. Surcado

Consistió en marcar ordenadamente las líneas donde se va a depositar las semillas de modo que se facilite las labores de manejo como el riego y el deshierbo, especialmente.

5.5. Fertilización

Para efectuar la fertilización primero se calcularon y pesaron los fertilizantes de acuerdo a cada tratamiento en estudio los que mismos que fueron

colocados e identificados en bolsas de polietileno debidamente rotulados cuyas cantidades fueron calculadas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 7

Tipos y Cantidades de Fertilizantes Utilizados en el Experimento

Fuente	FERTILIZANTE		Cantidad Fertilizante (kg.ha ⁻¹)	Cantidad de Fertilizantes (g*parcela ⁻¹)	
	Concentración (%)	Fórmula fertilizante (kg.ha ⁻¹)		a la siembra	al aporque
Urea	46% N	160 kg.ha ⁻¹	348 kg.ha ⁻¹	168	168.
Superfosfato triple de Ca	46% P ₂ O ₅	120 kg.ha ⁻¹	261 kg.ha ⁻¹	251	-
Cloruro de Potasio	60% K ₂ O	100	166,3 kg.ha ⁻¹	160 (*) 80 (**)	80
Sulfato de Potasio	50% K ₂ O	100	200 kg.ha ⁻¹	192 (*) 96 (**)	96
Sulpomag	22 % K ₂ O	100	454.5 kg.ha ⁻¹	438 g (*) 219 g (**)	219

(*) 100% a la siembra del fertilizante potásico.

(**) 50% a la siembra y 50% al aporque del fertilizante potásico.

Fuente: Elaboración propia

5.6. Siembra

La siembra se realizó manualmente con un distanciamiento de 0,80 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. Antes de la siembra se procedió con la fertilización de acuerdo a los tratamientos considerados en el experimento, de acuerdo a las cantidades señaladas en la Tabla 7.

En el presente experimento se utilizó la semilla del híbrido DEKALB 399, es un híbrido de maíz amarillo duro de última generación, con buen potencial de rendimiento, buena estabilidad y buena adaptabilidad a siembras de verano e invierno, con excelente tolerancia al complejo de mancha del asfalto, buen

peso de grano por mazorca y muy utilizado en cultivos para forraje debido a la capacidad de producir una apreciable biomasa verde.

5.7. Control fitosanitario

Con el fin de controlar el ataque del gusano de tierra, gusano cogollero y chinche del maíz, se aplicaron los productos especificados en la Tabla 8 y para prevenir el posible ataque de enfermedades, se aplicaron los agroquímicos requeridos, que también están indicadas en la Tabla 8.

Tabla 8

Registro de Aplicaciones Fitosanitarias

Fecha	Días de Cultivo	Plaga/enfermedad	Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis/cilindro
15/11/2015	11	Gusano de tierra	Tifón	Clorpirifos	300 ml
22/11/2015	18	Gusano de tierra	Lacnate	Methomil	200 g
28/12/2015	24	Gusano cogollero	Campal plus	Alfacipermetrina	300 ml
12/01/2016	39	Chinche del maíz	Ciclón	Dimetoato	500 ml
18/01/2016	45	Mancha del asfalto	Amistar top	Azoxystrobin	500 ml
28/01/2016	56	Gusano mazorquero	Proclain	Emamectin benzoate	70 g

Fuente: Elaboración propia

5.8. Riegos

Se efectuaron riegos semanalmente de acuerdo al turno de riego establecido por la Junta de Usuarios del Valle Huaura-Sayán, el mismo que no puede ser alterado, por lo cual plan de riego sujeto al turno, se hizo con el fin de evitar el estrés de las plantas por la falta de agua, teniéndose en cuenta la humedad a capacidad de campo.

5.9. Deshierbos

Los deshierbos se realizaron manualmente y de acuerdo a la presencia de malezas con la finalidad de evitar la competencia por agua, luz, espacio y nutrientes entre la planta de maíz y la maleza. Esta labor se realizó a los 30 y 60 días después de la siembra, dejando el área experimental libre de malezas.

5.10. Cosecha

Se realizó cuando las plantas completaron su ciclo vegetativo, llegando a la madurez total, este estado se manifestó cuando la planta logró una coloración amarillenta y empezó a secarse. Asimismo, al examinar los granos mostraron un porcentaje mínimo de humedad con cierta dureza a la presión, habiendo desaparecido el estado lechoso en estos granos.

5.11. Cronología de las Labores Culturales

Las labores culturales se realizaron de acuerdo a la cronología explicada en la Tabla 9. Asimismo, el control plagas se hizo de acuerdo con el grado de incidencia que fue de un nivel medio y con referencia a las enfermedades se aplicaron los productos necesarios de manera preventiva; la cosecha se efectuó en el mes de Febrero de 2016.

Tabla 9

Cronología de labores durante el crecimiento y desarrollo del cultivo

Fecha	Días después de la Siembra	Labor
01 – 11 – 2015		Preparación de suelo
03 – 11 - 2015		Riego de ensayo
04 – 11 - 2015	00	Siembra
12 – 11 - 2015	08	2° riego
14 – 11 - 2015	10	Primera fertilización

(Continuación)

Fecha	Días Después de la Siembra	Labor
15- 11- 2015	11	1° Fumigación
20 – 11 - 2015	16	3° riego
23 – 11 - 2015	19	Aplicación de herbicida
28 – 11 – 2015	24	4° riego
29 – 11 - 2015	25	2° fumigación
04 – 12 - 2015	30	Toma de datos biométricos
06 – 12 - 2015	32	5° riego
15 – 12 - 2015	41	6° riego
17 – 12 - 2015	43	Segunda fertilización
18 – 12 – 2015	44	3° fumigación
24 – 12 - 2015	50	7° riego
28 – 12 - 2015	54	4° Fumigación
03 – 01 - 2016	60	8° riego
03 – 01 - 2016	60	Segunda toma de muestra
11 – 01 - 2016	68	9° riego
12 – 01 - 2016	69	5° fumigación
18 – 01 - 2016	75	10° riego
28 – 01– 2016	85	11° riego
03 – 02 - 2016	90	12° riego
03 – 02– 2016	90	Tercera toma de datos
15 – 02 - 2016	102	Corte para secado
22 – 02 – 2016	109	Cosecha

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO

Según Ventocilla (2015) los análisis de suelos fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, corresponde al Lote 4 del predio “Fundo Nuevo”, lugar donde se ubicó el campo experimental, cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 10

Resultados del Análisis Físico-mecánico y Químico de los suelos del Lote 4 del predio Fundo “Nuevo”

pH	C.E. (dS.m ⁻¹)	CO ₃ Ca (%)	M.O. (g.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	CLASE TEXTURAL		
8,25	0,15	38,0	4,5	24,8	62	Arena		

CIC	CATIONES CAMBIABLES					Suma	Suma	%
	Ca ⁺² (cmol.kg ⁻¹)	Mg ⁺² (cmol.kg ⁻¹)	K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	Na ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	Al ⁺³ +H ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	de cationes	de bases	Saturación de bases
2,72	1,62	0,73	0,18	0,19	0,00	2,72	2,72	100

Fuente: Ventocilla (2015)

Los suelos del área experimental tal como se muestra en la Tabla 10, pertenecen a la Parcela 4 del Grupo I de los suelos del Fundo “Nuevo”, que se caracterizan por ser Calcids, Aridisols de zonas secas, tierras agrícolas de acuerdo a la capacidad de uso mayor (A), de baja capacidad agrológica (A3), con limitaciones debidas a las propiedades físicas del suelo (s), baja fertilidad (f) y con necesidades de riegos permanentes (r), de textura muy gruesa por ser arenosa (s1), con un régimen de humedad aridic (d^+), con moderado contenido de grava (r^-), con limitaciones químicas por tener un rango de pH sobre 7,2 (h) cuya reacción básica produce la deficiencia de hierro y de zinc (b), con salinidad incipiente (s^-), con bajas reservas de nutrientes esenciales (k^+), con riesgo de fijación de fósforo debido al alto contenido de Ca^+ y porque han recibido aplicaciones de fertilizantes fosfatados por largos periodos de cultivo (i), con un alto potencial de lixiviación (e) y con baja saturación de carbono orgánico (m1).

Estos suelos son de capacidad-fertilidad muy baja por tener limitaciones debido a la textura muy gruesa y la presencia de gravas y con contenidos muy bajo de materia orgánica con contenido alto de fósforo y bajo en potasio disponible, respectivamente así como también se caracterizan por tener una capacidad de intercambio catiónico muy baja.

2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES BIOMÉTRICAS

2.1. Altura de Plantas

La altura de plantas fue evaluada a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, cuyos resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 11

Efecto de las Fuentes de Fertilizantes Potásicos (F) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

ALTURA DE PLANTAS A LOS 30 DÍAS (cm)				ALTURA DE PLANTAS A LOS 60 DÍAS (m)				ALTURA DE PLANTAS A LOS 90 DÍAS (m)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	F2 (ClK)	46,700	A	1	F3 (Sulpomag)	1,515	a	1	F2(SO ₄ K ₂)	1,780	A
2	F3 (SO ₄ K ₂)	46,500	A	2	F2 (SO ₄ K ₂)	1,515	a	2	F3 (sulpomag)	1,730	B
3	F1 (Sulpomag)	45,650	A	3	F1 (ClK)	1,420	b	3	F1 (ClK)	1,615	C

ALS (T) 0,05 = 1,758

ALS (T) 0,05 = 0,039

ALS (T) 0,05 = 0,04005

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 11 muestra los resultados del efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos sobre la altura de plantas de maíz observadas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, notándose que la altura de plantas a los 30 días con la aplicación de las tres fuentes potásicas no presentan significación estadística entre sí pero a los 60 días se nota un mayor crecimiento donde los tratamientos que recibieron sulpomag (F3) y sulfato de potasio (F2) con 1,515 m de altura no son diferentes estadísticamente entre sí pero son superiores al tratamiento que recibió cloruro de potasio (F1) que alcanzó una altura de 1,42 m de altura. A los 90 días después de la siembra, aunque los incrementos en altura no son tan notorios con respecto a la evaluación hecha a los 60 días, se ha encontrado que el tratamiento que recibió Sulfato de Potasio (F2) con una altura promedio de 1,780 m es estadísticamente superior a los otros tratamientos, seguido del tratamiento con Sulpomag (F3) con 1,730 m de altura, ocupando el último lugar el tratamiento con Cloruro de Potasio (F1) con de 1,615 m de altura.

La no significación encontrada a los 30 días después de la siembra del maíz se debe a la posibilidad de que en un corto período de tiempo los fertilizantes aplicados no tuvieron influencia notoria en el crecimiento de la planta pero que sus efectos se notan a partir de los 60 días, aclarándose mucho mejor a los 90 días donde resulta con mayor altura las plantas que recibieron una fertilización potásica con Sulfato de Potasio.

Los resultados obtenidos tienen cierta relación con el trabajo de investigación realizado por Pacheco (1992), quién concluye que una buena dotación de potasio con un promedio de 120 kg.ha⁻¹ tiene una respuesta significativa con respecto a la altura de plantas.

Tabla 12

Efecto de los Métodos de Fertilización (Factor M) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

ALTURA DE PLANTAS A LOS 30				ALTURA DE PLANTAS A LOS 60				ALTURA DE PLANTAS A LOS 90			
DÍAS (cm)				DÍAS (m)				DÍAS (m)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	M2 (50% siembra, 50% aporque)	46,500	A	1	M2 (50% siembra, 50% aporque)	1,517	a	1	M2 (50% siembra, 50% aporque)	1,730	a
2	M1 (100% siembra)	46,067	A	2	M1 (100% siembra)	1,450	b	2	M1 (100% siembra)	1,687	b

ALS (T) 0,05 = 1,17

ALS (T) 0,05 = 0,026

ALS (T) 0,05 = 0,02684

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al efecto de los métodos de fertilización (M), tal como se observa en la Tabla 12, está demostrado que a los 30 días no se ha encontrado diferencias estadísticas entre los dos métodos de aplicación del potasio, pero tanto a los 60 y 90 días después de la siembra se ha encontrado que en ambos casos el método de aplicación de las fuentes potásicas aplicadas en forma fraccionada (M2), es decir 50 por ciento a la siembra y 50 por ciento al aporque, es estadísticamente superior al método de aplicación de las fuentes potásicas en forma completa (M1) al momento de la siembra (100 por ciento).

A los 30 días el tratamiento M2 con 46,5 cm de altura es superior al tratamiento M1 con 46,067 pero ambos son estadísticamente iguales. A los 60 días el tratamiento M2 con 1,517 m de altura es estadísticamente superior al tratamiento M1 con 1,45 m de altura y a los 90 días el tratamiento M2 con

1,730 m de altura es estadísticamente superior al tratamiento M1 que alcanzó 1,687 m de altura.

Los resultados obtenidos son opuestos a los conseguidos por Pacheco (1992), quién asegura que la aplicación de dosis altas de potasio aplicadas ya sea en forma completa o en forma fraccionada tienen efectos positivos y similares sobre la altura de plantas de maíz amiláceo cultivados para obtener semilla de buena calidad.

Tabla 13

Efecto de la Interacción Métodos de Fertilización y Fuentes de Fertilizantes Potásicos (FxM) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

ALTURA DE PLANTAS A LOS 30				ALTURA DE PLANTAS A LOS 60				ALTURA DE PLANTAS A LOS 90			
DÍAS (cm)				DÍAS (m)				DÍAS (m)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	F ₂ M ₂ (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	46,90	A	1	F3M2 (sulpomag 50% siembra/aporque)	1,560	a	1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,800	a
2	F ₃ M ₂ (sulpomag 50% siembra/aporque)	46,70	A	2	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,540	ab	2	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,760	ab
3	F ₂ M ₁ (SO ₄ K ₂ 100% siembra/)	46,50	A	3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,490	bc	3	F3M2 (sulpomag 50% siembra/aporque)	1,750	ab
4	F ₃ M ₁ (sulpomag 100% siembra)	46,300	A	4	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	1,470	c	4	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	1,710	bc
5	F ₁ M ₂ (KCl 50% siembra/aporque)	45,900	A	5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,450	cd	5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,640	cd
6	F ₁ M ₁ (KCl 100% siembra)	45,400	A	6	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,390	d	6	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,590	d

ALS (T) = 3,113

ALS (T) 0,05 = 0,0696

ALS (T) 0,05 = 0,07085

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la interacción métodos de fertilización y fuentes de fertilizantes potásicos (FxM) sobre la altura de plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra encontrándose que las

alturas evaluadas a los 30 días después de la siembra no son estadísticamente diferentes, aunque la interacción F₂M₂ alcanzó la mayor altura con 0,469 m y ocupando el último lugar la interacción F₁M₁ con 0,454 m de altitud.

Con respecto a la altura de plantas a los 60 días si se encontró diferencias estadísticas de tal modo que las interacciones F₃M₂ y F₂M₂ con 1,56 y 1,54 m, respectivamente, no son estadísticamente diferentes entre sí pero son superiores a las interacciones F₂M₁ con 1,49 m, F₃M₁ con 1,47 m, F₁M₂ con 1,45 m y F₁M₁ con 1,39 m de altura, siendo esta interacción la que ocupa el último lugar en el orden de méritos. Algo similar sucede a los 90 días donde se observó que los tratamientos F₂M₂ con 1,80 m de altura, F₂M₁ con 1,76 m y el tratamiento F₃M₂ con 1,75 m, no son estadísticamente diferentes entre sí pero estos son superiores a los tratamientos F₂M₁ con 1,47 m, F₃M₁ con 1,45 m y la interacción F₁M₁ que ocupa el último lugar con una altura de 1,39 m de altitud.

Estos resultados obtenidos como consecuencia de la evaluación de las interacciones de los tipos de fertilizantes con los métodos de aplicación de muestran que las variables estudiadas han respondido positivamente ya que según Injante (2010) la producción del maíz en la costa peruana es limitada cuando se usan híbridos con poca estabilidad productiva y semillas de segunda generación sobre todo en suelos con problema de salinidad y falta de agua, lo cual hace que cuando el suelo recibe una buena dotación de potasio, especialmente en forma de sulfato de potasio combinado con una semilla de buena calidad, los rendimientos son incrementados notoriamente.

Tabla 14

Efecto de las Interacciones (FxM) vs. Testigo sobre la Altura de Plantas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

ALTURA DE PLANTAS A LOS 30				ALTURA DE PLANTAS A LOS 60				ALTURA DE PLANTAS A LOS 90			
DÍAS (cm)				DÍAS (m)				DÍAS (m)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	Interaccio- nes FxM	46,283	A	1	Interaccio- nes FxM	1,431	A	1	Interaccio- nes FxM	1,708	A
2	Testigo	44,800	b	2	Testigo	1,110	B	2	Testigo	1,400	b

ALS(T)_{0,05} = 1,945

ALS(T)_{0,05} = 0,0469

ALS(T)_{0,05} = 0,0469

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 de la comparación de las interacciones (FM) con el testigo (T) muestra que el efecto de las interacciones (FxM) sobre la altura de plantas a los 30 días con 46,283 cm de altura es estadísticamente superior al testigo (T) que alcanzó una altura de 44,80 cm. Algo similar sucedió con respecto a las alturas a los 60 y 90 días después de la siembra donde las interacciones con 1,431 m y 1,708 m, respectivamente, son estadísticamente superiores al testigo que alcanzó 1,11 y 1,40 m de altura, respectivamente. Demostrando así que en todos los casos el testigo ha ocupado el último lugar en el orden de méritos con respecto al efecto de las combinaciones de los tipos de fertilizantes potásicos vs los métodos de aplicación de los fertilizantes, demostrando así que la aplicación del potasio especialmente en la forma de sulfato de potasio y de sulphomag produce un incremento de la altura estadísticamente superior con respecto a testigo que no recibió potasio ni otro fertilizante (Pacheco, 1992).

2.2. Diámetro de Tallos

El diámetro de tallos fue evaluada a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, obteniéndose los siguientes resultados son los siguientes:

Tabla 15

Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 30 DÍAS (cm)				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 60 DÍAS (cm)				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 90 DÍAS (cm)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	F3 (sulpomag)	1,400	a	1	F2 (SO ₄ K ₂)	1,570	A	1	F2 (SO ₄ K ₂)	2,320	A
2	F2 (SO ₄ K ₂)	1,285	a	2	F3 (sulpomag)	1,500	B	2	F3 (sulpomag)	2,290	a
3	F1 (ClK)	1,265	a	3	F1 (ClK)	1,405	C	3	F1 (ClK)	2,240	b

ALS (T) 0,05 = 0,29509

ALS (T) 0,05 = 0,0334

ALS (T) 0,05 = 0,0314

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se observa los resultados del efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (F) sobre el diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, notándose claramente que en la evaluación del diámetro de tallos a los 30 días no muestra diferencias estadísticas entre las tres fuentes potásicas estudiadas aunque con el sulpomag se logró un mayor diámetro con 1,4 cm, seguido por sulfato de potasio con 1,285 cm y luego el tratamiento con cloruro de potasio con 1,265 cm.

Al contrario, a los 60 días, el sulfato de potasio con 1,57 cm de diámetro es estadísticamente superior a los otros fertilizantes, donde el sulpomag con 1,50 cm de diámetro ocupa el segundo lugar, quedando en el último lugar el cloruro de potasio con 1,265 cm de diámetro.

A los 90 días el sulfato de potasio (F2) con 2,320 cm y el sulpomag (F3) con 2,29 cm de diámetro de tallos no es diferente estadísticamente pero son superiores al tratamiento que fue fertilizado con cloruro de potasio (F1), el que ocupó el último lugar del orden méritos con solo 2,24 cm.

Los resultados demuestran que la adición de sulfato de potasio en el cultivo del maíz produce un mayor diámetro de tallos debido a que este fertilizante por tener un bajo contenido de cloro hace que las plantas desarrollen mejor ya que en algunos casos el exceso de este elemento afecta a los cultivos sensibles (INFOPOS, 1997).

Tabla 16

Efecto de los Métodos de Fertilización (M) sobre el diámetro de tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 30				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 60				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 90			
DÍAS (cm)				DÍAS (cm)				DÍAS (cm)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	M1 (100% siembra)	1,36 0	A	1	M2(50% siembra/aporque)	1,517	a	1	M2 (50% siembra,aporque)	2,310	a
2	M2 (50% siembra/aporque)	1,27 3	A	2	M1 (100% siembra)	1,450	b	2	M1 (100% siembra)	2,257	b

ALS (T) 0,05 = 0,19771

ALS (T) 0,05 = 0,026

ALS (T) 0,05 = 0,0210

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos por el efecto de los métodos de fertilización (M) sobre el diámetro de tallos, notándose claramente que a los 30 días después de la siembra, no existen diferencias estadísticas entre los dos métodos de fertilización, donde el tratamiento M1 (aplicación del fertilizante potásico al 100 por ciento) con 1,36 cm de diámetro es ligeramente superior a M2 (aplicación del fertilizante potásico al 50 por ciento a la siembra y 50 por ciento al aporque) con 1,27 cm de diámetro.

A los 60 días el método de aplicación del fertilizante potásico en forma fraccionada (M2) con un diámetro de 1,517 cm fue estadísticamente superior al método de aplicación del fertilizante potásico en forma completa (100 por ciento) con un diámetro de 1,450 cm de diámetro. Algo similar ocurrió en la

evaluación del diámetro de tallos a los 90 días, donde también el método de aplicación fraccionada del fertilizante potásico con 2,32 cm de diámetro fue estadísticamente superior al método de aplicación del fertilizante potásico al 100 por ciento al momento de la siembra (M1) con un diámetro de 2,257 cm.

Estos resultados también se relacionan con lo reportado por INPOFOS (1997) que resalta la cantidad de cloro presente en el sulfato de potasio es un fertilizante que incentiva un mayor rendimiento, siendo mejor éste cuando es aplicado en forma fraccionada.

Tabla 17

Efecto de la Interacción Fuentes de Fertilizantes Potásicos y Métodos de Fertilización (FxM) sobre el Diámetro de Tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 30				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 60				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 90			
DÍAS (cm)				DÍAS (cm)				DÍAS (cm)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	1,470	A	1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,610	a	1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	2,360	a
2	F32M (sulpomag 50% siembra/aporque)	1,330	A	2	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,530	b	2	F3M2 (sulpomag 50% siembra/aporque)	2,320	ab
3	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,310	A	3	F3bM2 (sulpomag 50% siembra/aporque)	1,520	b	3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	2,280	bc
4	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,300	A	4	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	1,480	b	4	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	2,260	c
5	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,270	A	5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,410	c	5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	2,250	c
6	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,220	A	6	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,400	c	6	F1M1 (KCl 100% siembra)	2,230	c

ALS (T) = 0,5220

ALS (T) 0,05 = 0,0592

ALS (T) 0,05 = 0,05554

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al efecto de las interacciones entre las fuentes de fertilizantes potásicos y los métodos de aplicación (F×M) sobre el diámetro de tallos, como se puede observar en la Tabla 17, a los 30 días después de la siembra, no se encontró diferencias estadísticas entre las seis interacciones aunque la combinación F3M1 alcanzó el mayor diámetro con 1,47 cm, seguido de la interacción F3M2 con 1,33 cm, luego la interacción F1M1 con 1,31 cm, seguido de la combinación F2M1 con 1,3 cm, luego la combinación F2M2 con 1,27 cm y finalmente la interacción F1M1 con 1,22 cm de diámetro.

Al evaluarse el diámetro de tallos a los 60 días se encontró que la interacción F2M2 con 1,61 cm de diámetro es estadísticamente superior al resto de tratamientos, seguido de las interacciones F2M1 con 1,53 cm, F3M2 con 1,52 cm, F3M1 con 1,48 cm, F1M2 con 1,41 cm, ocupando el último lugar la interacción F1M1 con 1,40 cm de diámetro. Asimismo al evaluarse el diámetro de tallos a los 90 días se confirmó que la interacción F2M2 con 2,36 cm de diámetro y el F3M2 con 2,32 cm, no son estadísticamente diferente pero son superiores al resto de tratamientos, siendo seguido en el orden de méritos por los tratamientos, estando seguidos en el orden de méritos, por las interacciones F2M1 con 2,28 cm, F3M1 con 2,26 con 2,26 cm, F1M2 con 2,25 cm y finalmente F1M1 con 2,23 cm de diámetro, el mismo que ocupa el último lugar en el orden de méritos.

Al respecto se puede asegurar que cuando se combina el sulfato de potasio con una fertilización fraccionada favorece a un mayor engrosamiento de los tallos de maíz debido a que una buena dotación de potasio en niveles entre 60 a 120 kg.ha⁻¹ produce un mayor desarrollo de las plantas en todo sentido (Barbazán, et al., 2011),

Tabla 18

Efecto de las Interacciones (Fxm) vs. Testigo (T) sobre el Diámetro de Tallos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Prueba de Significación de Tukey)

DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 30 DÍAS (cm)				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 60 DÍAS (cm)				DIÁMETRO DE TALLOS A LOS 90 DÍAS (cm)			
OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG	OM	TRATAM.	X	SIG
1	Interacciones FxM	1,317	A	1	Interacciones FxM	1,492	a	1	Interacciones FxM	2,283	a
2	Testigo (T)	1,160	B	2	Testigo (T)	1,240	b	2	Testigo (T)	1,650	b

$$ALS(T)_{0,05} = 0,311$$

$$ALS(T)_{0,05} = 0,047$$

$$ALS(T)_{0,05} = 0,0469$$

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 de la comparación de las interacciones (FM) con el testigo (T) muestra que el efecto de las interacciones (Fxm) a los 30 días después de la siembra con 1,317 cm de diámetro es estadística superior al testigo (T) que alcanzó un diámetro de 1,160 cm. Algo similar sucedió con respecto a los diámetros a los 60 y 90 días después de la siembra donde las interacciones (Fxm) con 1,4922 y 2,283 cm de diámetro, respectivamente, son estadísticamente superiores al testigo (T) que tuvo 1,240 y 1,650 cm de diámetro, respectivamente. Estos resultados se relacionan claramente con lo reportado por Barbazán, et al. (2011), quienes señalan que el incremento del potasio en el suelo mediante la fertilización produce un gran incremento en los resultados sobre todo cuando el nivel crítico de potasio intercambiable no está por debajo de $0,34 \text{ cmol.kg}^{-1}$ pero se da el caso de que los suelos del predio en estudio sólo tienen $0,18 \text{ cmol.kg}^{-1}$ de potasio disponible que es un nivel muy bajo para una buena producción del maíz (Ventocilla, 2015).

2.3. Longitud de Mazorcas

Tabla 19

Efecto de las Fuentes de Fertilizantes Potásicos (Factor F) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIG.
1	F2 (sulfato de potasio)	15,685	A
2	F3 (sulfomag)	15,260	B
3	F1 (cloruro de potasio)	14,835	C

ALS (T) 0,05 = 0,0559

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 sobre el efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos se ha encontrado que el tratamiento con la aplicación de sulfato de potasio (F2) con una longitud de mazorcas de 15,685 cm fue estadísticamente superior al sulfomag (F3) que le sigue en el orden de méritos con 15,260 cm de longitud, ocupando el último lugar el tratamiento con cloruro de potasio (F1) con 14,835 cm de longitud de mazorcas.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pacheco (1992) quien señala que una buena dotación de potasio en el suelo tiene influencia directa en la longitud de las mazorcas de maíz, sobre todo cuando se aplica en forma de sulfato de potasio y en una cantidad cercana a los 120 kg.ha⁻¹.

Tabla 20

Efecto de los métodos de fertilización (Factor M) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIG.
1	M2 (50% siembra/aporque)	15,713	a
2	M1 (100% siembra)	14,807	b

ALS (T) 0,05 = 0,037

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20 del efecto de los métodos de fertilización potásica sobre la longitud de las mazorcas se ha encontrado que el método de aplicación de los fertilizantes potásicos en forma fraccionada (M2) con una longitud de 15,713 cm es estadísticamente superior al método de aplicación completa a la siembra con 14,807 cm de longitud. En consecuencia se viene confirmando que la aplicación fraccionada del potasio, muy especialmente en forma de sulfato de potasio influye positivamente en una mayor longitud de la mazorca, lo cual redundará en un mejor rendimiento de granos del maíz.

Tabla 21

Efecto de las interacciones Fuentes de Fertilizantes Potásicos (F) y Métodos de Fertilización (FxM) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIG.
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	16,320	a
2	F3M2 (Sulfomag 50% siembra/aporque)	15,470	b
3	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	15,350	c
4	F3M1 (Sulfomag 100% siembra)	15,050	d
5	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	15,050	D
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	14,320	E

ALS (T) 0,05 = 0,0988

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21 muestra el efecto de las interacciones fuentes de fertilizantes (F) y métodos de aplicación (M) sobre la longitud de las mazorcas. Al respecto la interacción F2M2 que alcanzó una longitud de 16,32 cm es estadísticamente superior al resto de interacciones, seguido de la interacción F3M2 con 15,47 cm, luego se ubica la interacción F1M2 con 15,35 cm de longitud de mazorca seguido de las interacciones F3M1 y F2M1 con 15,05 cm en ambos casos, ocupando el último lugar la interacción F1M1 con 14,32 cm de longitud de mazorcas. Estos resultados indican claramente que la interacción del sulfato de potasio con la aplicación fraccionada de los fertilizantes es el que destaca notoriamente con respecto a los demás tratamientos, aunque es seguido cercanamente por la combinación del sulpomag con el método fraccionado. Los resultados obtenidos confirman una vez más el efecto positivo del sulfato de potasio sobre el sulpomag y el cloruro de potasio, sobre todo cuando actúa en combinación con el método de aplicación fraccionada de los fertilizantes potásicos considerados en el presente estudio. Una vez más cabe resultar lo reportado por Pacheco (1992), quién señala que la presencia del potasio en niveles adecuados incrementa la longitud de las mazorcas de maíz.

Tabla 22

Efecto de las comparaciones entre las Interacciones (FxM) y el testigo (T) sobre la longitud de mazorcas a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIG.
1	Combinaciones (FxM)	15,26	A
2	Testigo (T)	11,22	B

ALS (T) $_{0,05} = 0,0891$

Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede apreciar en la Tabla 22, la comparación entre las interacciones (FxM) con el testigo, demuestran que todas las interacciones con un promedio de 15,26 cm de longitud de mazorcas son estadísticamente superiores al testigo que solo alcanzó una longitud de solo 11,22 cm. Estos

resultados confirman que la presencia de una buena dotación de potasio en el en combinación con la aplicación de los fertilizantes en forma fraccionada, influye positivamente para dar un mayor rendimiento con respecto al testigo, el mismo que es un tratamiento que no recibió ningún tipo de fertilización, confirmándose así que los suelos del predio en estudio son pobres en su fertilidad natural.

2.4. Rendimiento de mazorcas cosechadas en verde

Tabla 23

Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIG.
1	F2 (sulfato de potasio)	3,487	A
2	F3 (sulpomag)	3,424	B
3	F1 (cloruro de potasio)	3,320	C

ALS (T) 0,05 = 0,0555

Fuente: Elaboración propia

Con referencia al efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (F) sobre el rendimiento de mazorcas en verde, tal como se indica en la Tabla 23, los resultados demuestran que la aplicación del sulfato de potasio (F2) con un rendimiento de 3,487 kg/parcela es estadísticamente superior con respecto a las dos restantes fuentes potásicas. Le sigue en el orden de méritos el sulpomag (F3) con 3,424 kg/parcela, ocupando el último lugar el cloruro de potasio (F1) con un rendimiento de 3,320 kg/parcela de mazorcas en verde.

Estos resultados son consecuencia del efecto positivo superior que muestra el sulfato de potasio con relación a los otros fertilizantes estudiados, como consecuencia de un buen desarrollo del maíz tanto en altura como en diámetro de tallo y longitud de las mazorcas.

Tabla 24

Efecto de los métodos de fertilización (Factor M) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIG.
1	M2 (50% siembra/aporque)	3,469	a
2	M1 (100% siembra)	3,351	b

ALS (T) 0,05 = 0,03719

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, como se aprecia en la Tabla 24 sobre el efecto de los métodos de aplicación de los fertilizantes potásicos, está demostrado que la aplicación fraccionada de los fertilizantes (M2) con 3,469 kg/parcela de rendimiento de mazorcas en verde es estadísticamente superior al método de aplicación al 100 por ciento a la siembra (M1) que tuvo un rendimiento de 3,351 kg/parcela de rendimiento de mazorcas en verde. Estos resultados son similares a los obtenidos por Oshiro (2015), quien encontró que tanto el sulfato de potasio como el sulpomag aplicados en una dosis de 200 ppm en un ensayo en macetas, produjeron los mejores pesos en la producción de mazorcas.

Tabla 25

Efecto de la interacción fuentes de fertilización (F) y métodos fertilización (M) sobre el rendimiento de mazorcas verdes a la cosecha (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIG.
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	3,538	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	3,446	ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	3,435	b
4	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	3,424	b
5	F3M1 (Sulpomag 100% siembra)	3,401	b
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	3,216	c

ALS (T) 0,05 = 0,0982

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al efecto de las interacciones de las fuentes de potasio por los métodos de fertilización (F x M) sobre el rendimiento de mazorcas en verde, según la Tabla 25, se observa que la combinación F2M2 que es la combinación del sulfato de potasio con el método de aplicación fraccionada del fertilizante potásico con un promedio de 3,538 kg/parcela y la combinación F3M2 que representa la interacción del sulfomag y la aplicación fraccionada del potasio con 3,446 kg/parcela, son estadísticamente iguales pero ambos son superiores al resto de tratamientos, seguidos de la combinación F2M1 con 3,435 kg/parcela, luego la interacción F1M2 con 3,424 kg/parcela, luego la combinación F3M1 con 3,401 kg/parcela, ocupando el último lugar la interacción F1M1 con un rendimiento de 3,216 kg/parcela de mazorcas en verde. Estos resultados confirman que el sulfato de potasio cuando interacciona con la aplicación fraccionada del fertilizante potásico es el que mejores rendimientos produce como consecuencia de que en las variables biométricas estudiadas y discutidas anteriormente es el sulfato de potasio el que da los mejores resultados.

Tabla 26

Efecto de las comparaciones entre las Interacciones (FxM) y el testigo (T) sobre el rendimiento de mazorcas en verde (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIG.
1	Combinaciones	3,410	a
2	Testigo	2,365	B

$$ALS (T)_{0,05} = 0,0664$$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 26, se observa la comparación entre las interacciones (FxM) con el testigo (T), donde queda demostrado que todas las interacciones con un promedio de 3,410 kg/parcela de rendimiento de mazorcas en verde son estadísticamente superiores al testigo que solo alcanzó un rendimiento de 2,365 kg/parcela, indicando que la aplicación de los tres fertilizantes potásicos en combinación ya sea al 100 por ciento al momento de la siembra o en forma fraccionada en ambos casos mejoran los rendimientos. Por lo tanto, así queda demostrado la alta respuesta de los suelos pobres del predio “Fundo Nuevo” a la aplicación total o fraccionada de los tres fertilizantes estudiados.

2.5. Rendimiento de Grano Seco de Maíz

Tabla 27

Efecto de las fuentes de fertilizantes potásicos (Factor F) sobre el rendimiento de grano seco de maíz (Prueba de Significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t.ha ⁻¹)	SIG.
1	F2 (Sulfato de potasio)	10,891	A
2	F3 (Sulpomag)	10,750	A
3	F1 (Cloruro de potasio)	10,297	B

ALS (T) 0,05 = 0,18464

Fuente: Elaboración propia

Con referencia a la producción de granos secos en una hectárea de suelos, en la Tabla 27 se muestran los resultados del efecto de los fertilizantes potásicos sobre dicho rendimiento, encontrándose que la aplicación de sulfato de potasio (F2) con 10,891 t.ha⁻¹ y la aplicación del sulpomag (F3) con 10,75 t.ha⁻¹ no son estadísticamente diferentes entre sí pero son superiores al efecto de la aplicación del cloruro de potasio (F1) con 10,297 t.ha⁻¹, indicando claramente que tanto el sulfato de potasio y el sulpomag han producido los mayores rendimientos de granos secos del maíz expresado en t.ha⁻¹. Los resultados obtenidos son superiores con los resultados obtenidos por el MINAGRI (2012) que reporta que los rendimientos en la región Lima es de 8,979 t.ha⁻¹ y lo señalado por Loli (2012) que señala que el rendimiento promedio nacional es de solo 5,5 t.ha⁻¹.

Tabla 28

Efecto del método de aplicación de los fertilizantes sobre el rendimiento de granos secos (Prueba de significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t.ha ⁻¹)	SIG.
1	M2 (50% siembra/aporque)	10,802	a
2	M1 (100% siembra)	10,490	b

ALS (T) 0,05 = 0,12371

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 28 explica el efecto de los métodos de aplicación sobre el rendimiento de granos secos en t.ha⁻¹, al respecto se ha encontrado que el método de aplicación fraccionada de los fertilizantes potásicos con un rendimiento de 10,802 t.ha⁻¹ es estadísticamente superior al método de aplicación completa al momento de la siembra con un rendimiento de 10,49 t.ha⁻¹, resultados muestran claramente que fertilizar con potasio fraccionado M2 (50 por ciento a la siembra y 50 por ciento al aporque) produce un mejor rendimiento de maíz en grano seco cuando es comparado con el método de aplicación completa al momento de la siembra (M1).

Estos resultados también son superiores con los resultados a los obtenidos por el MINAGRI (2012) que señala que el rendimiento promedio de la región Lima, dicho sea de paso es la que mejor rendimiento consigue en el cultivo del maíz amarillo duro con rendimiento promedio de 8,979 t.ha⁻¹, muy superior al promedio de rendimiento nacional que es de sólo 5,5 t.ha⁻¹ (Loli, 2012).

Tabla 29

Efecto de la Interacción fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio (FxM) sobre el rendimiento en granos secos del maíz (Prueba de significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t.ha ⁻¹)	SIG.
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	11,063	a
2	F3M2 (sulpomag 50% siembra/aporque)	10,813	ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	10,719	b
4	F3M1 (sulpomag 100% siembra)	10,688	b
5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	10,531	b
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	10,062	c

ALS (T) 0,05 = 0,32661

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29 se muestran los resultados del efecto de las interacciones tipos de fertilizantes potásicos y métodos de aplicación (FxM) sobre el rendimiento de granos secos de maíz, donde se puede observar que la interacción sulfato de potasio y método fraccionado de aplicación de los fertilizantes (F2M2) con un rendimiento de 11,063 t.ha⁻¹ de granos secos de maíz y la interacción sulpomag vs método fraccionado de aplicación de los fertilizantes (F3M2) con un rendimiento de 10,813 t.ha⁻¹, no son estadísticamente diferentes entre sí pero ambos son superiores a los demás combinaciones, siendo seguidos por la interacción F2M1 con un rendimiento de 10,719 t.ha⁻¹, luego F3M1 con 10,688 t.ha⁻¹, F1M2 con 10,531 t.ha⁻¹ y ocupando el último lugar la interacción F1M1.

Los resultados obtenidos muestran claramente que el método de aplicación fraccionada de los fertilizantes en combinación tanto con el sulfato de potasio o el sulpomag son los tratamientos que mejores rendimientos han producido, siendo superiores a la combinación método de aplicación fraccionada de los fertilizantes con el cloruro de potasio. Estos resultados concuerdan con lo

citado por Injante (2010) quién señala que las limitantes de la producción y productividad del maíz amarillo duro es el uso de híbridos de segunda generación con una técnica inadecuada pero que superados estos inconvenientes los rendimientos potenciales pueden ser de 12 a 13,5 t.ha⁻¹ pero que al nivel de los agricultores solo se logra un rendimiento de 10 a 11 t.ha⁻¹. Los rendimientos obtenidos están estrechamente relacionados con lo señalado y son muy superiores al promedio de producción del maíz amarillo duro en grano de la Región Lima (MINAGRI, 2012) y mucho más superior al promedio de rendimiento de esta especie a nivel nacional (Loli, 2012)

Tabla 30

Efecto de las Interacciones (F_xM) y el testigo (T) sobre el rendimiento en granos secos del maíz (Prueba de significación de Tukey)

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t.ha ⁻¹)	SIG.
1	Combinaciones (F _x M)	10,646	a
2	Testigo (T)	7,531	b

ALS (T) _{0,05} = 0,2047

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 30 muestra los resultados de la comparación entre el promedio de las seis combinaciones (F_xM) de las variables en estudio (interacciones) comparadas con el rendimiento del testigo (T), donde las combinaciones con un promedio de 10,646 t.ha⁻¹ de rendimiento de granos de maíz son estadísticamente superiores al promedio de rendimiento del testigo con sólo 7,531 t.ha⁻¹ de granos secos de maíz, demostrándose así que los tipos de fertilizantes potásicos utilizados en combinación los con los métodos de aplicación siempre han producido rendimientos superiores al testigo debido a que los suelos en estudio tienen una baja fertilidad natural. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Sánchez (2004), quién recomienda que para lograr un rendimiento de 10 a 11 t.ha⁻¹, se debe aplicar una fórmula de 220-100-120 kg.ha⁻¹ de NPK sin dejar de lado los resultados del análisis del suelo.

Para estos resultados también se suma el efecto del híbrido del maíz utilizado como semilla, el mismo que fue de calidad certificada, lo cual también concuerda con lo señalado por Injante (2010) quién señala que para lograr rendimientos superiores a 8,00 toneladas por hectárea se debe evitar el uso de semillas de poca estabilidad genética y el uso de semillas de segunda generación sobre todo en zonas donde existen problemas de salinidad y escasez de agua como lo es la zona de Medio Mundo. También no debe dejarse de lado la interpretación de los resultados del análisis del suelo para dar a las plantas los nutrientes requeridos en cantidades óptimas.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

En las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo experimental y en función de los resultados obtenidos se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Aunque los suelos en estudio tienen bajos niveles de materia orgánica y fósforo y un contenido medio de potasio disponible, son considerados como suelos pobres y por lo tanto responden significativamente a la aplicación de una fertilización completa (NPK), con una clara influencia cuando se aplica el fertilizante potásico en la forma fraccionada, favoreciendo a los parámetros biométricos evaluados como la altura de plantas, diámetro de tallos, longitud y rendimiento de mazorcas tanto verdes y por lo tanto en el rendimiento de granos secos.
2. En cuanto a la altura de plantas evaluadas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra han dado resultados diferentes en función a las variables consideradas en este trabajo de investigación. Es así que la altura de plantas a los 30 días no ha mostrado diferencias estadísticas tanto por el efecto de las tres fuentes de potasio, el efecto de los dos métodos de aplicación de los fertilizantes, el efecto de las interacciones y entre fuentes de fertilizantes potásicos por sistemas de aplicación de los fertilizantes potásicos.
3. La altura de plantas a los 60 días sí mostró diferencias estadísticas donde el sulpomag y el sulfato de potasio dieron las mayores alturas siendo superiores a las alturas conseguidas por el cloruro de potasio. Asimismo, con respecto al efecto de los métodos de aplicación de los fertilizantes potásicos la aplicación fraccionada ha dado mejores resultados cuando fue comparado con la aplicación completa al momento de la siembra. El efecto de las interacciones sobre las alturas mostró una neta

superioridad del sulfato de potasio combinado con la aplicación fraccionada, seguido de la misma manera por el sulpomag, ocupando en último lugares la interacción del cloruro de potasio con la aplicación completa de los fertilizantes.

4. La altura de plantas a los 90 días mostró resultados más claros donde el sulfato de potasio combinado con la aplicación fraccionada de los fertilizantes dieron una mayor altura aunque seguido muy estrechamente por la combinación sulpomag-aplicación fraccionada, dejando en los últimos lugares a las combinaciones de los fertilizantes estudiados cuando se combinaron con la aplicación completa de los fertilizantes al momento de la siembra. Estos resultados se confirman cuando se hacen las comparaciones entre las combinaciones con el testigo, siendo las interacciones superiores estadísticamente al testigo.
5. Con respecto al diámetro de tallos, no se han encontrado diferencias estadísticas a los 30 días por efecto de los fertilizantes, los métodos de aplicación y las interacciones. A los 60 y 90 días si hubieron diferencias estadísticas, siendo notorio el efecto del sulfato de potasio, mostrando una superioridad sobre el sulpomag y el cloruro de potasio. Asimismo, la aplicación fraccionada del potasio fue superior al método de aplicación al 100 por ciento en la siembra. La combinación del sulfato de potasio con el método de aplicación fraccionada fue superior sobre las otras interacciones.
6. Con referencia a rendimiento en verde de las mazorcas cosechadas, el efecto del sulfato de potasio fue superior sobre los otros dos fertilizantes y el efecto del método de aplicación fraccionada también fue superior a la aplicación de los fertilizantes al 100 por ciento. Del mismo modo, en las interacciones fertilizantes y métodos de aplicación, destaca claramente la combinación del sulfato de potasio con la aplicación fraccionada frente a las demás interacciones. Asimismo, las combinaciones resultan superiores cuando son comparadas con el testigo.
7. En el rendimiento de granos secos de maíz, tanto el sulfato de potasio y el sulpomag dieron los mejores resultados con 10,891 y 10,750 t.ha⁻¹, respectivamente. Asimismo el método de aplicación fraccionada de los fertilizantes con 10,802 t.ha⁻¹ fue superior

al método de aplicación al 100 por ciento a la siembra que solo produjo $10,490 \text{ t.ha}^{-1}$ de maíz en gran seco. En cuanto al efecto de las interacciones de ambas variables, las combinaciones del sulfato de potasio y del sulphomag con el método fraccionado con $11,063$ y $10,813 \text{ t.ha}^{-1}$ de rendimiento de granos secos fueron superiores al resto de interacciones. Al compararse las combinaciones con el testigo se encontró que las primeras siempre fueron superiores al testigo.

8. Como conclusión final se puede considerar que para el caso de la zona donde se ha realizado este trabajo de investigación y para zonas con características similares, la fertilización con sulfato de potasio y en segundo orden con sulphomag son las más recomendables para obtener un mejor rendimiento del maíz aunque es de mucha importancia tener en cuenta el costo de estos fertilizantes. Además se ha comprobado que el mejor método de aplicación es la forma fraccionada con 50 por ciento a la siembra y 50 por ciento a aporque, resultando en consecuencia como la mejor forma de adicionar los fertilizantes potásicos para lograr un mayor rendimiento en el maíz amarillo duro.

CAPITULO V: RECOMEDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de una fertilización completa con nitrógeno, fósforo y potasio considerándose al sulfato de potasio como fertilizante potásico, aplicado en forma fraccionada. Una alternativa puede ser el uso del sulphomag como fuente potásica.
2. Para una mejor estimación de los resultados en cuanto al rendimiento por el cultivo debería de realizarse estudios similares en diferentes condiciones edáficas y climatológicas, repitiendo el experimento e incluyendo niveles de potasio con la finalidad de determinar dosis óptimas.
3. Efectuar este tipo de trabajo utilizando otros métodos de fertilización teniéndose en cuenta que los suelos de la zona en estudio y de áreas similares tienen una baja fertilidad, sin dejar de lado las enmiendas orgánicas ya sea en forma de estiércol o de compost.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asato, J. (2015). Evaluación edáfica en diferentes fuentes de potasio en suelos aluviales. Laboratorio de Fertilidad de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Barbazán, M., Bautes, C. Beux, L., Bordoli, M., Cano, J., Ernst, O., García A., García, F. y Quincke, A. (2011). *Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos*. Agrociencia, Uruguay Volumen 15, N° Montevideo, Uruguay.
- Brady, N. (1990). *The Nature and Properties of Soils*. Macmillan Publishing Company. New York, USA.
- Caamaño, A. y R. Melgar, 1998. *Fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en maíz de alta productividad*. Estación Experimental Agropecuaria Pergaminito. Rev. Tecnología Agropecuaria V II N° 5. Pergamino, Argentina. 11-14 pp.
- Calzada, J. (1970). *Métodos estadísticos para la investigación*. Editorial Jurídica S. A. Lima, Perú. 673 pp.
- Dirección Regional de Agricultura de San Martín. (2013). *Manual Técnico Dirección del Cultivo de Maíz Amarillo Duro: Situación del Maíz en la Región San Martín*. Dirección de Desarrollo y Competitividad Agraria. Disponible en: <http://www.agrodrasam.gob.pe/sites/default/files/Ma%C3%ADz1.pdf>Potasio

- Dunja, M. (2000). *Fertilización del cultivo maíz*. Disponible en:
http://sian.inia.gob.pe/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd65/texto/maiz.htm
- Estación Meteorológica Camay. (2016). *Datos Meteorológicos del Año 2015*. Nuevo Mundo. Huaura, Lima.
- FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 2012. *Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*: [FAO]. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/017/i3028s/i3028s00.htm>
- Felles, D. (2009). *Determinación de las curvas de extracción de nutrientes N, P y K en dos cultivos de alcachofa sin espinas (Cyanaras colymus L.) bajo condiciones del Valle de Chancay*. Tesis Mag. Sc. Lima – Perú. 145
- Fernández, M. (1996). *Influencia de la fertilización de largo plazo en el cultivo de maíz y en la residualidad de P y K en un Mollisol calcáreo*. Agricultura Técnica. V. Santiago de Chile, Chile. 107-115 pp.
- Fertilizantes del Sur SAC. (2015). *Ficha técnica Sulpomag*: [FertiSur]. Disponible en:
www.fertisur.com/pdf/sulpomag.
- García, F. (2002). *Manejo de la fertilidad de suelos y fertilización para altos rendimientos en la región pampeana Argentina*. 4° Conferencia Fertilizantes Cono Sur. British Sulphur. Porto Alegre, Brasil.
- Guardiola, L. (1990). *Tecnología de Alimentos*. Recuperado de:
<http://personas.ucam.edu/personas/perfil/lucia-guardiola-garcia>

Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., y Werner, N. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Seventh Edition. Pearson Printice Hall. New Jersey, usa. 199-205 pp.

Hernández, J., Barbazán, M. y Perdomo, C. (2010). *Potasio*. Disponible en:
www.fagro.edu.uy/fertilidad/curso/doc/potasio.pdf

Imas, P. (2005). *El Potasio: Nutriente esencial para aumentar la rentabilidad y la calidad de las cosechas*. ICL-FERTILIZERS, Israel.

Injante, P. (2010). *Guía Técnica Curso – Taller Manejo Integrado de Maíz Amarillo Duro*. Jornada de Capacitación UNALM – AGROBANCO”. La Libertad – Perú. 42 pp.

Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1997). *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*. 1ra. Edición. Quito, Ecuador: INPOFOS.

ISOASA. (2012). *Sulfato de Potasio soluble*. Disponible en: Isoasa.com/products.

Instituto Valenciano de Exportación (2003). Disponible en:
<http://www.comercio-externo.es/es/action-continguts.continguts+subsubcat-251/comercio+internacional/Reexporta/Publicidad.htm>: (IVEX).

Lezcano, I. (1997). *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. Publicación trimestral para México y Centroamérica. Querétaro, México.

Loli, L. 2012. *Asistencia Técnica dirigida en Fertilización de Maíz Amarillo Duro*. Guía Técnica. Universidad Nacional Agraria La Molina-Agrobanco. Lima, Perú.

Mengel, E. & Kirkby, A. (2000). *Principle of Plant Nutrition*. 4^a Edition (1987). International Potash Institute. Bern, Switzerland.

Melgar, R.; Benítez; E; Sainz, H.; Polo, A.; Gómez, M.; y Nogales, R. (2000). *Los Vermicomposts de Subproductos del Olivar como Acolchado del Suelo: Efecto sobre la Rizosfera*. Centro de Ciencias Medioambientales (C.S.I.C.). Madrid, España.

Melgar, R. y Torres Duggan, M. (2014) *Manejo de la Fertilización en Maíz*. Proyecto Fertilizar EEA INTA Pergamino; Proyecto Fertilizar. Disponible en:
<http://www.fertilizando.com/articulos/manejo%20de%20la%20fertilizacionen%20maiz.asp>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (2012). *Maíz amarillo Duro, Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva*. Dirección General de Competitividad Agraria. 1ra. Edición. Lima, Perú: (MINAG). 26 pp.

Moncada, R. (1997). *Efecto de dos fuentes y cinco dosis de potasio sobre la acumulación de fitomasa y la absorción de nutrientes en maíz para ensilaje*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. Tesis Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile. 62 pp.

Navarro, S. 2003. *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida de la planta*. Ediciones Mundi-Prensa. 2da. Edición. Madrid, España. 487 pp.

Ortíz, B. y Ortiz, C. 1990. *Edafología, Suelos*. Editorial de la Universidad Autónoma de Chapingo. 7ma. Edición en Español. Chapingo, México. 343 pp.

Pacheco, R. (1992). Efecto de cinco niveles de potasio aplicados en dos momentos sobre el rendimiento de maíz variedad San Jerónimo mejorado (PMV-662) para semilla. Tesis

par título profesional. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Agronomía. Huancayo, Perú.

Plaster, E. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. International Thomson Spain. Paraninfo S.A. 2da. Reimpresión. Madrid, España

Raven, P., Evert, R., y Eichhorn, S. (1992). *Biología de las plantas*. Edición en Español. Volumen 2. Editorial Reverte S.A. Barcelona, España. 402 pp.

Reyes, P. (1990). *El Maíz y su cultivo*. Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos35/produccion-maiz-peru/produccion-maiz-peru.shtml#ixzz3hUUS2F2t>.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (2016). *Fenología del Maíz*. Lima, Perú: [SENAMHI]

Sánchez, H. (2004). *Manual Tecnológico del Maíz Amarillo Duro y de Buenas Prácticas Agrícolas en Huaura*, Departamento de Lima. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Lima, Perú.

Sánchez, V. (2005). *Efecto de la fertilización nitrogenada-potásica en el crecimiento y rendimiento de tres híbridos de maíz (Zea mays) bajo RLAF: goteo*. Unidad de Investigación en Riegos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Sevilla, R. (2008). *El Cultivo del Maíz en el Perú*. STC-CGIAR. Lima, Perú. 31 pp.

Taiz, Z. (1998). Fisiología Vegetal. Disponible en:

<http://cosaslibres.com/search/docs/fisiologia+vegetal+taiz+y+zeiger>

Tasistro, A. (2015). *Aspectos Básicos del Manejo del Potasio*. International Plant Nutrition Institute (IPNI) México y América Central. México D.F., México.

Thompson, F. & Troeh, R. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. 4th ed. Editorial Reverté, Barcelona, España.

Ventocilla García, J. T. (2015). *Clasificación de la Fertilidad de los suelos del predio “Nuevo Mundo” por el método de capacidad-fertilidad. Végueta-Huaura*. Tesis de Investigación. Facultad de Ingeniería Agraria, Universidad Católica Sedes Sapientiae. Huacho, Perú. 122 pp.

Villagarcia, S. (1994). *Manual de uso de fertilizantes*. Departamento de Suelos y Fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

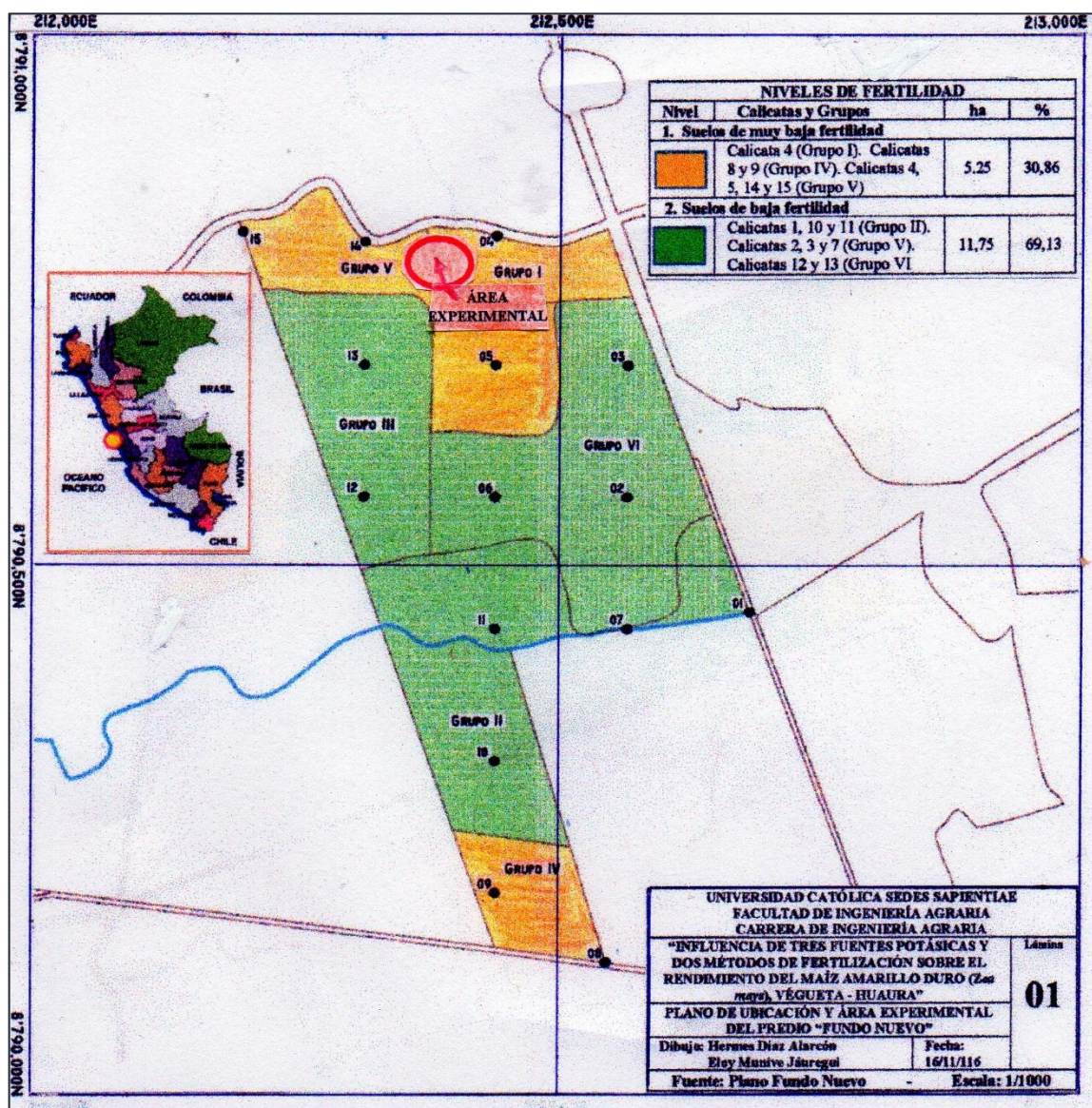
TERMINOLOGÍA

- **Absorción.** Es el proceso por el cual una sustancia es absorbida e incluida dentro de otra sustancia. Un ejemplo es la absorción de gases, agua, nutrientes u otras sustancias por las plantas.
- **Análisis químico de suelos.** Es un análisis químico de la composición del suelo, generalmente destinado a estimar la disponibilidad de los nutrientes pero que también incluye mediciones de acidez o alcalinidad y conductividad eléctrica.
- **Potasio.** Uno de los elementos esenciales para que las plantas cumplan con su ciclo biológico, junto con el nitrógeno y el fósforo s una e los macronutrientes. El K juega un papel importante en la activación de los sistemas enzimáticos, es vital para la fotosíntesis y para la formación y utilización de los azúcares. Juega un papel esencial en la síntesis de la proteína y ayuda a la planta en usar el agua más eficientemente.
- **Fertilización del maíz.** El maíz es un cultivo con altas demandas nutricionales. Entre los elementos del suelo que utiliza en mayores cantidades cabe mencionar al nitrógeno (N), seguido del potasio (K) y el fósforo (P). Estos nutrientes forman parte de numerosos fertilizantes químicos, ya sea en forma individual o combinados en fórmulas que se utilizan en la fertilización del maíz.
- **Fertilización:** Es el proceso para aumentar la fertilidad (la capacidad de un animal, planta o terreno pata producir o sustentar una progenie numerosa).

- **Silvita:** Es un mineral del grupo de los haluros (Clase III de la clasificación de Strunz). Químicamente es cloruro de potasio (KCl).
- **Nutriente esencial:** Es un nutriente que no puede ser sintetizado por el organismo pero que es necesario para el funcionamiento normal de este. Entre ellos se encuentran algunas vitaminas, minerales, lípidos y aminoácidos. Los nutrientes esenciales son diferentes para cada especie.
- **Conductividad eléctrica:** es la medida de la capacidad (o de la aptitud) de un material para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material.
- **Sales solubles.** Se refiere a la cantidad de sales solubles en el suelo, expresadas en términos de porcentaje, partes por millón u otra unidad útil.
- **Rentabilidad.** Relación existente entre los beneficios que proporcionan una determinada operación o cosa y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho; cuando se trata del rendimiento financiero; se suele expresar en porcentajes.

APÉNDICES

Apéndice 1. Plano de ubicación del área experimental ubicado en el Predio “Fundo Nuevo”



Apéndice 2. Temperatura máxima, mínima, media y humedad relativa de Medio Mundo (2015)

MESES	TEMPERATURA (°C)			HUMEDAD
	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIA	RELATIVA (%)
Enero	23.5	13.2	18.25	93.50
Febrero	24.0	13.2	18.55	94.00
Marzo	23.8	13.2	18.40	91.00
Abril	24.8	13.3	19.05	91.00
Mayo	23.8	13.3	18.45	94.75
Junio	23.4	13.0	18.25	94.35
Julio	23.2	13.0	18.15	94.00
Agosto	22.9	13.0	18.05	94.50
Setiembre	22.0	13.1	18.15	94.00
Octubre	23.0	13.2	18.00	94.00
Noviembre	23.3	13.2	18.50	94.00
Diciembre	23.5	13.3	18.25	94.00
Media	23.43	13.18	18.33	93.58

Fuente: Estación Meteorológica “Camay”, Medio Mundo, Végueta (2015).

Apéndice 3. Análisis de variancia y comparación de medias según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para las variables biométricas

1. Análisis de variancia para altura de planta (cm) a los 30 días después de la siembra

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	3,866	1,289	0,751	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	7.544	7,544	4,396	4,41	8,28	Ns
F	2	4,973	2,487	1,354	3,55	6,01	Ns
M	1	1,127	1,127	0,614	4,41	8,28	Ns
FM	2	0,013	0,007	0,004	3,55	6,01	Ns
Error	18	30,894	1,716				
Total	27	48,417					

Promedio = 46,1

CV = 2,844%

2. Prueba de significación de Tukey para el Factor F (fuentes de potasio). Altura de Planta a los 30 días después de la siembra.

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (KCl)	46,700	a
2	F3 (Sulfato de potasio)	46,500	a
3	F1 (Sulfomag)	45,650	a

ALS (T) 0,05 = 1,758

3. Prueba de significación de Tukey para el Factor M (fraccionamiento del potasio). Altura de Planta a los 30 días después de la siembra.

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra, 50% aporque)	46,500	a
2	M1 (100% siembra)	46,067	a

ALS (T) 0,05 = 1,179

4. Prueba de significación de Tukey de la interacción FM (fuentes de potasio x fraccionamiento de potasio). Altura de planta a los 30 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F ₂ M ₂ (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	46,900	a
2	F ₃ M ₂ (sulfomag 50% siembra/aporque)	46,700	a
3	F ₂ M ₁ (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	46,500	a
4	F ₃ M ₁ (sulfomag 100% siembra)	46,300	a
5	F ₁ M ₂ (KCl 50% siembra/aporque)	45,900	a
6	F ₁ M ₁ (KCl 100% siembra)	45,400	a

ALS (T) = 3,113

5. Prueba de significación de Tukey para el Testigo vs. Combinaciones. Altura de Planta a los 30 días después de la siembra.

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones FM	46,283	a
2	Testigo	44,800	b

ALS(T)_{0,05} = 1,945

6. Análisis de Variancia para Altura de Planta (m) a los 60 días después de la siembra

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign.
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,00043	0,00014	0,169	3,16	5,09	Ns
Testigo vs.	1	0,473	0,473	473	4,41	8,28	**
Combinaciones							
F	2	0,048	0,024	26,223	3,55	6,01	**
M	1	0,027	0,027	29,056	4,41	8,28	**
FM	2	0,002	0,001	0,944	3,55	6,01	Ns
Error	18	0,015	0,001				
Total	27	0,570					

Promedio = 1,430

CV = 2,03%

7. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Altura de Planta a los 60 días después de la siembra.

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	F ₃ (Sulfomag)	1,515	a
2	F ₂ (Sulfato de potasio)	1,515	a
3	F ₁ (Cloruro de Potasio)	1,420	b

ALS (T) 0,05 = 0,039

8. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio).
Altura de Planta a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	1,517	a
2	M1 (100% siembra)	1,450	b

ALS (T) 0,05 = 0,026

9. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Altura de Planta a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	1,560	a
2	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,540	ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,490	bc
4	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	1,470	c
5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,450	cd
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,390	d

ALS (T) 0,05 = 0,0696

10. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Altura de Planta a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones FM	1,431	a
2	Testigo (T)	1,110	b

ALS(T) 0,05 = 0,0469

11. Análisis de Variancia para altura de planta (Cm) a los 90 días después de la siembra

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sig.
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,008	0,003	2,750	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	0,324	0,324	323,87	4,41	8,28	**
F	2	0,115	0,057	60,210	3,55	6,01	**
M	1	0,011	0,011	11,846	4,41	8,28	**
FM	2	0,00013	0,000067	0,070	3,55	6,01	Ns
Error	18	0,016	0,001				
Total	27	0,476					

Promedio = 1,664 CV = 1,82%

12. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Altura de Planta a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	1,780	a
2	F3 (sulfomag)	1,730	b
3	F1 (cloruro de potasio)	1,615	c

ALS (T) 0,05 = 0,04005

13. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio). Altura de Planta a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (m)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	1,730	a
2	M1 (100% siembra)	1,687	b

ALS (T) 0,05 = 0,02684

17. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Diámetro de Tallos a los 30 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F3 (sulfomag)	1,400	a
2	F2 (sulfato de potasio)	1,285	a
3	F1 (cloruro de potasio)	1,265	a

ALS (T) 0,05 = 0,29509

18. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio). Diámetro de Tallos a los 30 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	M1 (100% siembra)	1,360	a
2	M2 (50% siembra/aporque)	1,273	a

ALS (T) 0,05 = 0,19771

19. Prueba de significación de Tukey para la Interacción AB (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Diámetro de tallo a los 30 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	1,470	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	1,330	a
3	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,310	a
4	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,300	a
5	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,270	a
6	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,220	a

ALS (T) 0,05 = 0,5220

20. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Diámetro de tallo a los 30 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	1,317	a
2	Testigo (T)	1,160	a

ALS (T) $_{0,05} = 0,31$

21. Análisis de variancia para diámetro de tallo (cm) a los 60 días después de la siembra

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,001	0,00043	0,579	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	0,214	0,214	214,00	4,41	8,28	**
F (fuentes de potasio)	2	0,110	0,055	82,575	3,55	6,01	**
M (Fraccionamiento)	1	0,011	0,011	16,957	4,41	8,28	**
FM	2	0,005	0,002	3,712	3,55	6,01	*
Error	18	0,013	0,001				
Total	27	0,358					

Promedio = 1,456 CV = 1,87%

22. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Diámetro de Tallos a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	1,570	a
2	F3 (sulfomag)	1,500	b
3	F1 (cloruro de potasio)	1,405	c

ALS (T) $_{0,05} = 0,0334$

23. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio). Diámetro de Tallos a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	1,513	a
2	M1 (100% siembra)	1,470	b

ALS (T) 0,05 = 0,0224

24. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	1,610	a
2	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	1,530	b
3	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	1,520	b
4	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	1,480	b
5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	1,410	c
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	1,400	c

ALS (T) 0,05 = 0,0592

25. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones vs Diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	1,492	a
2	Testigo	1,240	b

ALS(T) _{0,05} = 0,047

26. Análisis de variancia para diámetro de tallo (cm) a los 90 días después de la siembra

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,004	0,001	1,943	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	1,375	1,375	1375,00	4,41	8,28	**
F(Fuentes de potasio)	2	0,026	0,013	22,357	3,55	6,01	**
M (fraccionamiento)	1	0,017	0,017	29,202	4,41	8,28	**
FM	2	0,004	0,002	3,194	3,55	6,01	Ns
Error	18	0,012	0,001				
Total	27	1,438					
Promedio = 2,193					CV = 1,18%		

27. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Diámetro de Tallos a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	2,320	a
2	F3 (sulfomag)	2,290	a
3	F1 (cloruro de potasio)	2,240	b
ALS (T) 0,05 = 0,0314			

28. Prueba de significación de Tukey para el factor B (fraccionamiento del potasio). Diámetro de Tallos a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	2,310	a
2	M1 (100% siembra)	2,257	b
ALS (T) 0,05 = 0,0210			

29. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Diámetro de tallo a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	2,360	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	2,320	ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	2,280	bc
4	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	2,260	c
5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	2,250	c
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	2,230	c

ALS (T) 0,05 = 0,05554

30. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Diámetro de tallo a los 90 días después de la siembra

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	2,283	a
2	Testigo	1,650	b

ALS (T) 0,05 = 0,0469

31. Análisis de variancia para longitud de mazorca (cm) a la cosecha

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,0082	0,0027	0,7616	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	55,960	55,960	15544,5	4,41	8,28	**
F (fuentes de potasio)	2	2,890	1,445	780,612	3,55	6,01	**
M (fraccionamiento)	1	4,932	4,932	2664,49	4,41	8,28	**
FM	2	0,768	0,384	207,479	3,55	6,01	**
Error	18	0,0646	0,0036				
Total	27	64,6230					

Promedio = 14,683 CV = 0,408%

32. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Longitud de mazorca a la cosecha

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	15,685	a
2	F3 (sulfomag)	15,260	b
3	F1 (cloruro de potasio)	14,835	c

ALS (T) 0,05 = 0,0559

33. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio). Longitud de mazorca a la cosecha

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	15,713	A
2	M1 (100% siembra)	14,807	b

ALS (T) 0,05 = 0,0374

34. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Longitud de mazorca a la cosecha

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	16,320	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	15,470	b
3	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	15,350	c
4	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	15,050	d
5	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	15,050	d
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	14,320	e

ALS (T) 0,05 = 0,0988

35. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Longitud de mazorca a la

c

ha	TRATAMIENTO	PROMEDIO (cm)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	15,26	a
2	Testigo	11,22	b

ALS(T) 0,05 = 0,0891

36. Análisis de variancia para rendimiento en verde (kg/parcela)

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,008	0,003	1,557	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	3,745	3,745	1872,50	4,41	8,28	**
F (fuentes de potasio)	2	0,113	0,057	30,944	3,55	6,01	**
M (fraccionamiento)	1	0,084	0,084	46,242	4,41	8,28	**
FM	2	0,027	0,014	7,472	3,55	6,01	**
Error	18	0,032	0,002				
Total	27	4,009					

Promedio = 3,261 CV = 1,293%

37. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Rendimiento en verde

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	3,487	a
2	F3 (sulfomag)	3,424	b
3	F1 (cloruro de potasio)	3,320	c

ALS (T) 0,05 = 0,0555

38. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio). Rendimiento en verde

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	3,469	A
2	M1 (100% siembra)	3,351	B

ALS (T) 0,05 = 0,03719

39. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Rendimiento en verde

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	3,538	A
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	3,446	Ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	3,435	B
4	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	3,424	B
5	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	3,401	B
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	3,216	C

ALS (T) 0,05 = 0,0982

40. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Rendimiento en verde

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	3,410	A
2	Testigo	2,365	B

ALS (T) 0,05 = 0,0664

41. Análisis de variancia para rendimiento en seco (kg/parcela)

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,0002	0,000076	0,124	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	2,132	2,132	2131,7	4,41	8,28	**
F (fuentes de potasio)	2	0,145	0,073	114,63	3,55	6,01	**
				5			
M (fraccionamiento)	1	0,217	0,217	342,54	4,41	8,28	**
FM	2	0,015	0,007	11,512	3,55	6,01	**
Error	18	0,011	0,001				
Total	27	2,520					

Promedio = 2,506 CV = 0,989%

42. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	2,703	A
2	F3 (sulfomag)	2,638	B
3	F1 (cloruro de potasio)	2,515	C

ALS (T) = 0,05

43. Prueba de significación de Tukey para el factor M (fraccionamiento del potasio).

Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	2,714	A
2	M1 (100% siembra)	2,523	B

ALS (T) 0,05 = 0,02191

44. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	2,780	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	2,716	b
3	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	2,645	c
4	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	2,625	c
5	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	2,560	d
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	2,385	e

ALS (T) 0,05 = 0,05785

45. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (kg/parcela)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	2,619	A
2	Testigo	1,830	B

ALS(T)_{0,05} = 0,469

46. Análisis de variancia para rendimiento en seco (t/ha)

F. de V.	GL	SC	CM	Fc	F tablas		Sign
					0,05	0,01	
Bloques	3	0,023	0,008	0,402	3,16	5,09	Ns
Testigo vs. Combinaciones	1	33,259	33,259	1750,5	4,41	8,28	**
F (fuentes de potasio)	2	1,541	0,770	38,111	3,55	6,01	**
M (fraccionamiento)	1	0,586	0,586	28,994	4,41	8,28	**
FM	2	0,121	0,061	2,997	3,55	6,01	Ns
Error	18	0,346	0,019				
Total	27	35,876					

Promedio = 10,2009 CV = 1,359%

47. Prueba de significación de Tukey para el factor F (fuentes de potasio). Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t/ha)	SIGNIFICACIÓN
1	F2 (sulfato de potasio)	10,891	A
2	F3 (sulfomag)	10,750	A
3	F1 (cloruro de potasio)	10,297	B

ALS (T) 0,05 = 0,18464

48. Prueba de significación de Tukey para el factor BM (fraccionamiento del potasio).

Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t/ha)	SIGNIFICACIÓN
1	M2 (50% siembra/aporque)	10,802	A
2	M1 (100% siembra)	10,490	B

ALS (T) 0,05 = 0,12371

49. Prueba de significación de Tukey para la Interacción FM (Fuentes de potasio x fraccionamiento del potasio). Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t/ha)	SIGNIFICACIÓN
1	F2M2 (SO ₄ K ₂ 50% siembra/aporque)	11,063	a
2	F3M2 (sulfomag 50% siembra/aporque)	10,813	ab
3	F2M1 (SO ₄ K ₂ 100% siembra)	10,719	b
4	F3M1 (sulfomag 100% siembra)	10,688	b
5	F1M2 (KCl 50% siembra/aporque)	10,531	b
6	F1M1 (KCl 100% siembra)	10,062	c

ALS (T) 0,05 = 0,32661

50. Prueba de significación de Tukey del Testigo vs. Combinaciones. Rendimiento en seco

OM	TRATAMIENTO	PROMEDIO (t/ha)	SIGNIFICACIÓN
1	Combinaciones	10,646	A
2	Testigo	7,531	B

ALS(T) _{0,05} = 0,2047