

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y NIVEL DE APLICACIÓN DEL
ESQUISTO MICÁCEO COMO FERTILIZANTE UTILIZANDO *Zea mays* (MAÍZ)
COMO CULTIVO INDICADOR**

Tesis

**Para optar el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
ROSENI GSTIR WITTING**

**Asesor
HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI**

**Tingo María – Perú
2020**



"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001-2020-FA-UNAS

BACHILLER : ROSENI GSTIR WITTING

TÍTULO : "EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y NIVEL DE APLICACIÓN DEL ESQUISTO MICÁCEO COMO FERTILIZANTE UTILIZANDO *Zea mays* (MAÍZ) COMO CULTIVO INDICADOR."

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. JOSE W. ZAVALA SOLORZANO

VOCAL : M.Sc. JORGE L. ADRIAZOLA DEL AGUILA

VOCAL : Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA

ASESOR : Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 03 de enero del 2020

HORA DE SUSTENTACIÓN : 9:00 a.m.

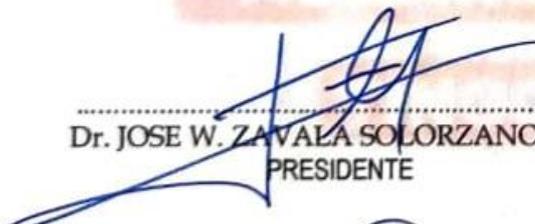
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

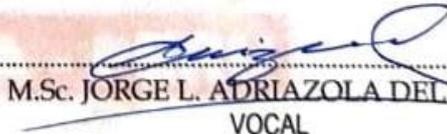
CALIFICATIVO : MUY BUENO

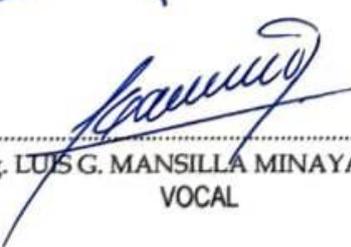
RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS: EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 03 de enero del 2020.


.....
Dr. JOSE W. ZAVALA SOLORZANO
PRESIDENTE


.....
M.Sc. JORGE L. ADRIAZOLA DEL AGUILA
VOCAL


.....
Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA
VOCAL


.....
Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 013 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y NIVEL DE APLICACIÓN DEL ESQUISTO MICÁCEO COMO FERTILIZANTE UTILIZANDO Zea mays (MAÍZ) COMO CULTIVO INDICADOR	ROSENI GSTIR WITTING	17 % Diecisiete

Tingo María, 17 de enero de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Dr. Tomas Menacho Mallqui
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y NIVEL DE APLICACIÓN DEL
ESQUISTO MICÁCEO COMO FERTILIZANTE UTILIZANDO *Zea mays* (MAÍZ)
COMO CULTIVO INDICADOR**

Autor	: Gstyr Witting, Roseni
Asesor (es)	: Dr. Huamani Yupanqui, Hugo A.
Programa de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, recuperación y manejo de suelos
Eje temático	: Fertilizantes en maíz
Lugar de ejecución	: Vivero el Agrónomo - UNAS
Duración del trabajo	: 6 meses.
Financiamiento	: S/ 5 384,60

Tingo María – Perú, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Agronomía
Título de tesis	: Efecto del tamaño de partícula y nivel de aplicación del esquisto micáceo como fertilizante utilizando <i>Zea mays</i> (Maíz) como cultivo indicador.
Autor	: Gstir Witting, Roseni
Asesor de tesis	: Dr. Huamani Yupanqui, Hugo A.
Escuela Profesional	: Agronomía
Programa de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea(s) de investigación	: Fertilidad, clasificación, recuperación y manejo
Eje temático de investigación	: Fertilizantes en maíz
Lugar de ejecución	: Vivero el Agrónomo - UNAS
Duración	: Inicio : 15 – 04 – 2011 Término : 15 – 09 – 2011
Financiamiento	: FEDU : 0 soles Propio : 5 384,60 soles Otros : 0 soles

Tingo María, Perú – Enero, 2024

DEDICATORIA

A Dios

Por brindarme la salud y la vida, lo que hizo posible terminar mi carrera profesional.

A mis hijos

Alessandro Arturo Sifuentes Gstir y Adriana Cecilia Sifuentes Gstir por darme fortaleza y alegría.

A mis padres:

Sr. Adolfo Gstir Schuler y Sra. Federica Witting Schaus, con mucho cariño y eterna gratitud, por haberme brindado con su esfuerzo y trabajo el más grande de los legados... "La educación".

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), por ser el alma mater que me brindó la oportunidad de formarme como profesional.

Un especial agradecimiento al Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, patrocinador de la presente investigación, cuyo apoyo fue más allá de lo esperado de un asesor, por la dedicación, consejos y conocimientos brindadas hacia mi persona.

Así mismo a los miembros de mi jurado de tesis del presente trabajo al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, como presidente quien reviso académica y científicamente y autorizo el empastado, al Ing. Luís Mansilla Minaya, e Ing. M. Sc. Jorge Adriazola Del Águila, por la revisión del trabajo de investigación cuyas correcciones me hicieron profundizar mucho más en mi tema para mejorarlo.

A la Ing. M. Sc. Ceila Paquita Lao Olivares, Y al Ing. José Miguel Bartra Perea, por el apoyo incondicional en el presente proyecto.

A los docentes de la Facultad de Agronomía por haber sido los principales forjadores para mi formación como profesional.

A todos mis compañeros, que sería muy extenso nombrarlos, por todos los momentos compartidos y vividos durante todos estos años.

ÍNDICE

Página

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1.	Rocas metamórficas.....	2
2.1.1.	Clasificación de las rocas metamórficas.....	2
2.1.2.	Textura de las rocas metamórficas	2
2.1.2.1.	Textura foliada	2
2.1.2.2.	Textura no foliada	2
2.1.3.	Esquistos.....	3
2.1.3.1.	Composición química.....	3
2.1.3.2.	Propiedades físicas de los minerales constituyentes de los esquistos	4
2.1.4.	Descripción de los Esquistos	5
2.1.4.1.	Esquistos arcillosos	5
2.1.4.2.	Esquistos arenáceos.....	5
2.1.4.3.	Esquistos anfibolíticos.....	5
2.1.4.4.	Esquistos cloríticos.....	5
2.1.4.5.	Esquistos micáceos.....	6
2.1.4.6.	Esquistos moteados	6
2.1.4.7.	Esquistos talcosos.....	6
2.1.4.8.	Esquistos verdes	6
2.2.	Fisiología del maíz.....	7
2.3.	Requerimiento de nutrientes del maíz	7
2.3.1.	Extracción de nutrientes del cultivo de maíz.....	7
2.3.1.1.	Formas de extracción de nutrientes del maíz	9
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1.	Localización del experimento.....	10
3.2.	Equipos y materiales.....	11
3.2.1.	Equipos	11
3.2.2.	Materiales	11

3.3. Metodología.....	11
3.3.1. Preparación de los tratamientos	11
3.3.2. Instalación del experimento.....	13
3.3.3. Procedimiento	13
3.3.4. Deshije de plántulas	13
3.3.5. Análisis químico del suelo.....	14
3.3.6. Análisis químico de la roca.....	14
3.4. Tratamientos en estudio	14
3.5. Diseño experimental	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Determinar los elementos que componen la roca esquisto.....	16
4.2. Liberación de los elementos solubles del esquisto	19
4.3. Cuantificar la absorción de nutrientes por el cultivar maíz en el experimento .	23
V. CONCLUSIONES	33
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	34
VII. REFERENCIAS	35
ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE TABLA

Tabla	Página
1. Composición química del esquisto.	3
2. Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz.....	8
3. Característica de los tratamientos.....	12
4. Descripción de los tratamientos en estudio.....	14
5. Esquema del análisis de variancia del modelo estadístico propuesto.	15
6. Análisis químico del esquisto micáceo.	16
7. Elementos de la corteza terrestre en comparación con el análisis de la roca esquisto micáceo.	17
8. Análisis de varianza. Resumen de las características de los elementos del Suelo sobre diferentes niveles de potasio y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo.	19
9. Valores promedios y su respectiva desviación estándar en los elementos del suelo para los niveles de potasio.	20
10. Valores promedios y su respectiva desviación estándar en las características químicas del suelo para el tamaño de la partícula de la roca esquisto micáceo.....	21
11. Análisis de varianza resumen del contenido químico en la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo para el fosforo, potasio, magnesio, sodio y calcio.	23
12. Análisis de varianza resumen del contenido químico en la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo para el hierro, manganeso, cadmio, zinc, cobre.....	23
13. Valores promedios y su respectiva desviación estándar de la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm aplicados con la roca esquisto micáceo.	24
14. Valores promedios y su respectiva desviación estándar de la planta del cultivo de maíz sobre diferentes tamaños de las partículas de la roca esquisto micáceo.....	26
15. Análisis de suelo.	46
16. Análisis foliar.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución de los tratamientos.	13
2. Curva de disponibilidad de fósforo en el suelo en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio por la roca esquisto micáceo en el cultivo de maíz.	22
3. Absorción de potasio (%) en los contenidos de la planta del cultivo de maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio a partir de la roca esquisto micáceo.	27
4. Curva de absorción de magnesio (%) en la planta del cultivo de maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.....	28
5. Curva de absorción de calcio (%) en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.....	29
6. Curva de absorción de sodio (%) en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.....	29
7. Curva de absorción de manganeso (ppm) en la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio aplicado por la roca esquisto micáceo.	30
8. Curva de absorción del cadmio (ppm) del tamaño de partícula de la roca esquisto micáceo en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio en el cultivo indicador de maíz.....	31
9. Recolección de tierra agrícola.	41
10. Molienda y tamizado de la roca esquisto.	41
11. Mezcla de la roca esquisto con la tierra agrícola.	42
12. Ubicación de los tratamientos en estudio y siembra del maíz.	42
13. Crecimiento de las semillas.....	43
14. Crecimiento de maíz a los 60 días.....	43
15. Cosecha de las plantas para el análisis foliar por tratamientos.	44
16. Visita de los jurados al vivero.....	44
17. Sistema radicular del maíz.	45

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía - Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, con el objetivo de determinar el efecto del tamaño y niveles del esquisto micáceo en la agricultura, usando al maíz como cultivo indicador. Para ello se evaluó el análisis químico de la roca esquisto micáceo, los análisis de nutrientes del suelo y plantas. Los tamaños de partícula del esquisto micáceo fueron: 0,5; 1,18; 2 y 4,75 mm respectivamente mientras que los niveles fueron 200, 400, 600 y 800 ppm de potasio. El diseño utilizado fue el DCA con arreglo factorial de 4 X 4 más un testigo adicional en tres repeticiones. Los sustratos utilizados es la mezcla de la tierra agrícola y roca esquisto micáceo.

Los resultados indican que la composición mineralógica del esquisto micáceo fue: para el calcio fue 0,38 %, cadmio 2 ppm, cobre 35,7 ppm hierro 3,78 %, potasio 2,58 %, magnesio 0,75 ppm, manganeso 493 ppm, sodio 1,11 %, fósforo 0,05%, azufre 0,17 % y zinc 83,3 ppm, entre otros elementos. Y que del esquisto micáceo se liberaron elementos nutritivos disponibles, en forma diferente, tanto por efecto de los tamaños y niveles de esquistos. Así mismo también tuvo un efecto en la absorción de los nutrientes por el maíz.

Palabra clave: esquisto micáceo, nivel de aplicación, tamaño de partículas

ABSTRACT

This research was carried out in the nursery of the Faculty of Agronomy - National Agrarian University of the Jungle, located in the city of Tingo María, province of Leoncio Prado, department of Huánuco, with the aim of determining the effect of the size and levels of the micaceous shale in agriculture, using maize as an indicator crop. This crop was scrutinized by performing a chemical analysis of the micaceous shale rock, the surrounding soil, and the plant nutrients. The particle sizes of the micaceous shale were: 0,5; 1,18 y 2, and 4,75 mm respectively, while the levels were 200, 400, 600 and 800 ppm of potassium. The design used was the DCA with 4 X 4 factorial arrangement, plus an additional trial in three repetitions. The substrates used in the mixture of agricultural soil was myceceto rock.

The results indicate that the mineralogical composition of micaceous shale was: calcium was 0,38 %, Cadmium 2 ppm, Copper 35,7 ppm Iron 3,78 %, Potassium 2,58 %, Magnesium 0,75 ppm, Manganese 493 ppm, Sodium 1,11 %, phosphorus 0,05 %, Sulphur 0,17 % and zinc 83,3 ppm, between other elements. The myshale of mycetic released nutritional elements in a different way, both by the effect of the sizes and levels of shale. It also had an effect on the absorption of nutrients by maize.

Keyword: micaceous shale, application level, particle size

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de fertilizantes se ha generalizado en la agricultura, cuya aplicación al suelo, incrementa el rendimiento de los cultivos en las tierras productivas. Por lo cual su uso continuo conduce a la contaminación de los suelos, aire y agua.

Es por ello que existe el interés de estudiar el efecto que pueda causar la roca esquisto micáceo en el suelo y en la planta con diferentes niveles de potasio y tamaños de partícula, para una posible utilización en la agricultura, en su afán de querer disminuir el uso de fertilizante. Los elementos que se encuentran en el suelo sufren una serie de transformaciones de las cuales una parte de los nutrientes es asimilada por las plantas y otra parte se pierde en diferentes formas o se convierten en formas poco solubles.

Para ello se quiere identificar cuáles son los elementos que la roca esquisto micáceo pueda liberar al suelo y cuáles pueden ser absorbidas por las plantas. La deficiencia de nutrientes, en los suelos, tales como el nitrógeno, fosforo y potasio. Son limitantes de la agricultura, se agrava el problema porque actualmente son escasos los fertilizantes naturales, exigidos por la agricultura orgánica para corregir estas deficiencias nutricionales del suelo.

Como consecuencia para corregir estas limitantes podemos plantear la siguiente hipótesis: Si la roca esquisto micáceo puede ser usado como fertilizante en la agricultura orgánica.

Considerando lo antes mencionado, se planteó el presente trabajo cuyos objetivos son los siguientes:

1.1. Objetivo General

- Determinar el efecto del tamaño y nivel del uso del esquisto micáceo en el cultivo de maíz como indicador.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la composición mineralógica del esquisto micáceo.
- Cuantificar la liberación de los elementos del esquisto micáceo al suelo.
- Cuantificar la absorción de nutrientes por aporte de la roca esquisto micáceo en el cultivo de maíz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Rocas metamórficas

Son los productos de la transformación de rocas preexistentes bajo presión litostática (P), temperatura (T) y presión dirigida o estrés (S), obrantes en el seno de la corteza terrestre. Esos agentes producen cambios en la mineralogía de la roca sometida a metamorfismo (sea ígnea, sedimentaria y aún metamórfica preexistente) (Varela, 2014).

Por tanto, el tipo de roca depende del mineral que se transforma y del grado de transformación que ha sufrido (Cornelius, 1992) y sería la base para la distinción de tres clases de metamorfismo, denominados regional, de contacto y dinámico (Varela, 2014).

2.1.1. Clasificación de las rocas metamórficas

Las rocas metamórficas se clasifican según su textura y según su estructura. Según su textura pueden ser: masiva, granular y foliada; según su estructura pueden ser: lenticular, granular y hojosa, además, están constituidas de moscovita, paragonita, biotita, filitas, esquisto, y gneises, flogopita caliza y dolomitas metamórficas (Deer, 1963).

2.1.2. Textura de las rocas metamórficas

Las texturas son de dos tipos, foliadas y no foliada.

2.1.2.1. Textura foliada

Algunas de ellas son la pizarra (al romperse se obtienen láminas), el esquisto (se rompe con facilidad) y el gneis (formado por minerales claros y oscuros) (Cornelius, 1992).

2.1.2.2. Textura no foliada

Algunas de ellas son el mármol (aspecto cristalino y se forman por metamorfismo de calizas y dolomías), la cuarcita (es blanca pero puede cambiar por las impurezas), la serpentinita (que al transformarse origina el asbesto) y la canchagua (Cornelius, 1992).

2.1.3. Esquistos

Los esquistos, son las rocas originadas por metamorfismo regional que presente estructura laminar, y aspecto pizarroso y homogéneo; especialmente aquellos cuyas superficies de exfoliación poseen brillos satinados. Contienen minerales en granos grandes y muchos otros micáceos (a la orientación de las micas se debe su brillo satinado), todos ellos distribuidos microscópicamente mediante alineaciones diferenciadas (Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación [ASOCAE], 2010). Asimismo, son rocas metamórficas con un origen primario ígneo o sedimentario. Se forman por la acción de grandes presiones y altas temperaturas que actúan en zonas geosinclinales (cuencas de sedimentación progresiva) cuando se produce el choque de placas tectónicas. El esquisto, por ejemplo, a bajas temperaturas se metamorfiza en pizarra, pero se metamorfiza en filita si queda sometido a temperaturas suficientemente elevadas como para recrystalizarse. A esta transformación metamórfica se le llama dinamotérmico o regional (Cornelius, 1992).

2.1.3.1. Composición química

Las distintas rocas esquistosas se denominan y caracterizan según el mineral predominante que produzca la exfoliación entre los esquistos importantes están el de mica, el de hornablenda, el de clorita y el de talco.

Tabla 1. Composición química del esquisto.

Composición química	Total %
Ca	1,301
Mg	0,406
K	2,494
Na	0,759
Mn	0,104
Zn	0,105
Fe	1,165
Cu	0,028
Al	0,365

Fuente: Gstyr Witting practicas pre profesional

Todos esos minerales predominantes en las rocas esquistosas pertenecen a los silicatos donde el silicio y el oxígeno se combinan con elementos metálicos.

La estructura de sus moléculas siempre contiene un átomo de silicio y cuatro de oxígeno (ASOCAE, 2010).

2.1.3.2. Propiedades físicas de los minerales constituyentes de los esquistos

Las rocas esquistos están compuestas de micas (moscovita y biotita) y cuarzo.

a) Moscovita

La moscovita, contiene como elementos principales al K, Al, Si y como elementos accesorios F, Rb, Ba, Sr, GA, V (Fassbender, 1982). Su color puede ser amarillo, pardo, verde o rojo claros. Está presente en rocas ígneas o metamórficas como el gneis y los esquistos. La mica moscovita, por sus propiedades, es mejor que la flogopita. Presenta mejores propiedades eléctricas, más resistencia mecánica, es más dura, flexible y elástica (Mottana, 1977).

Composición química de la moscovita

De acuerdo a las informaciones de (Deer, 1963), los principales remplazos isomórficos que se presentan en la moscovita son los siguientes:

Para el K: Na, Rb, Cs, Ca, Ba.

El contenido de óxido de K varía entre 6 y 11 % el de SiO₂ entre 46 y 53 % y el Al₂O₃ entre 26 y 37 %.

b) Biotita

Es la más fuerte de las micas, con un aspecto mineralógico amplio. La biotita, contiene como elementos principales al K, Mg, Fe, Al, Si y como elementos accesorios al Rb, Ba, Ni, Co, Li, Mn, V, Zn, Cu, Ga (Fassbender, 1982).

Composición química

La composición química de las biotitas revela una considerable cantidad de hierro estructural. A veces a las biotitas con muy poco Mg o carentes de la elevada cantidad de hierro ferroso y baja proporción de hierro férrico se les llama siderofilitas.

De acuerdo a las informaciones de (Deer, 1963), los principales remplazos isomorfos que se presentan en la biotita son los siguientes:

Para K: Na, Ca, Ba, Rb, Cs

Para el Fe: Mn en muy pequeñas proporciones

Para el Al: Li

La composición química de las biotitas da en promedio, los siguientes valores: SiO₂ 34 – 38 %; Al₂O₃ 13 – 16 %; Fe₂O₃ 3 – 13 %; TiO₂ 3 – 5 %; K₂O 7 – 8 %; MgO 10 – 13 % F 1 – 2 %.

2.1.4. Descripción de los Esquistos

Dentro del metamorfismo regional, los esquistos son el tipo de rocas más comunes y extendidas. Según la intensidad del metamorfismo y los minerales que intervienen, se distinguen: esquistos arcillosos, arenáceos, anfíbolíticos, cloríticos, micáceos, moteados, talcosos y verdes (ASOCAE, 2010).

2.1.4.1. Esquistos arcillosos

Los esquistos arcillosos se originan a partir de arcillas, por metamorfismo regional de baja intensidad. Se diferencia en su composición de la roca original, en que posee un mayor contenido en moscovita (ASOCAE, 2010).

2.1.4.2. Esquistos arenáceos

Los esquistos arenáceos se originan a partir de areniscas ricas en feldespatos, por metamorfismo regional de baja intensidad. Por el bajo contenido en minerales micáceos presentan generalmente escasa esquistosidad (ASOCAE, 2010).

2.1.4.3. Esquistos anfíbolíticos

Los esquistos anfíbolíticos se originan a partir de rocas ígneas básicas y rocas sedimentarias, por metamorfismo regional de elevada o media intensidad. Posee escasos minerales micáceos, y su esquistosidad no es tan aparente debido, sobre todo, a la disposición paralela de los cristales de hornablenda que contienen (ASOCAE, 2010).

2.1.4.4. Esquistos cloríticos

Los esquistos cloríticos se originan a partir de rocas básicas por dinamometamorfismo. Se diferencian de otras rocas similares cuya formación ha sido por metamorfismo regional, en que sus yacimientos se muestran asociados a fallas, y también en que suelen aparecer restos de la roca original de la que surgieron (ASOCAE, 2010).

2.1.4.5. Esquistos micáceos

Los esquistos micáceos son muy frecuentes. Se originan a partir de arcillas, cuarzos, feldspatos, biotitas y moscovitas, por metamorfismo regional intenso. En los esquistos micáceos, los minerales se orientan paralelamente y recubren la superficie de los planos de esquistosidad. Otras formas de esquistos micáceos menos frecuentes son los granatíferos (granate), originados a partir de cristales de clorita y tremolíticos (tremolita), que se forman a partir de la dolomita que ya existía en la roca arcillosa (ASOCAE, 2010).

2.1.4.6. Esquistos moteados

Los esquistos moteados se originan a partir de esquistos arcillosos por metamorfismo de contacto. Deben el nombre a la presencia de numerosas manchas oscuras que, ordinariamente, se producen durante un proceso gradual de transformación de los minerales, donde la temperatura y el tiempo de consolidación son factores determinantes. Así, durante el aumento de temperatura se inicia el proceso de transformación de los minerales arcillosos en clorita y moscovita; sin embargo, cuando la temperatura se reduce, si el proceso todavía no ha finalizado quedan diseminados por toda la roca una serie de núcleos cuya composición sigue siendo arcillosa, mostrando así el típico aspecto moteado. A partir de los restos orgánicos de la roca original se puede formar grafito, y presentar también manchas en las zonas externas de la aureola metamórfica (ASOCAE, 2010).

2.1.4.7. Esquistos talcosos

Los esquistos talcosos se originan por metasomatismo a partir de rocas que contienen silicatos de Mg. Cuando esos minerales reaccionan por acción del dióxido de carbono, se forman carbonatos y talcos, tales como la dolomita y magnesita (ASOCAE, 2010).

2.1.4.8. Esquistos verdes

Los esquistos verdes se originan a partir de rocas ígneas básicas y ultrabásicas, o algunas de tipo sedimentario como grauvacas y calizas, por metamorfismo regional a temperaturas casi siempre bajas. Presentan colores entre verde claro y negro, dependiendo de la proporción de los minerales que contienen, los cuales son generalmente tremolita, talco, clorita, serpentina y epidota (ASOCAE, 2010).

2.2. Fisiología del maíz

Es una planta dotada de una amplia respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente, requiere una temperatura de 25 a 30°C, necesita bastante luminosidad ya que tiene gran capacidad de metabolizar y acumular biomasa (Jungenheimer, 1988).

Esta considerado en el grupo de las plantas C4 ya que han desarrollado una estrategia para optimizar la capacidad de asimilación del CO₂ atmosférico, e incorporarlo a la planta. Las plantas de maíz usan el agua más eficientemente, conservan la humedad del suelo, y colonizaron las tierras áridas (Almeraya, 2015).

Las plantas de maíz tienen un crecimiento rápido y son variables, debido a su forma de polinización cruzada estas tienen un constante intercambio genético, ya que los gametos provienen de plantas diferentes pero de la misma especie. Esto hace que Presentan mayores posibilidades de adaptación (Poehlman, 1969).

2.3. Requerimiento de nutrientes del maíz

Según Dunja (2000), menciona que los elementos minerales que toma la planta del suelo en sus mayores cantidades para crecer y formar frutos son: N, P, K, Ca, S y Mg, llamado macronutrientes, y los micronutrientes: Zn, B, hierro, Mo, Mn, Cu que son importantes para lograr su desarrollo y fertilización.

El carbono, el oxígeno, el hidrogeno, el N, el P y el S son elementos que componen el protoplasma celular, y forman parte de aminoácidos y proteínas (Kass, 1998).

Los micronutrientes son esenciales para que las plantas realicen sus funciones fisiológicas y metabólicas. Ellos son: hierro, Mn, Cu, Zn, B Mo y Cl. Todos son mejor absorbidos por las raíces de las plantas en condiciones de pH ácido; excepto el Mo, que, con ese valor de pH, es fuertemente fijado por óxidos hidratados de hierro y aluminio. Por esta razón el Mo está más disponible en el suelo, a pH neutro o alcalino (Kass, 1998).

2.3.1. Extracción de nutrientes del cultivo de maíz

Las extracciones medias del cultivo de maíz los principales elementos son:

Tabla 2. Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz.

Nutriente	Unidades	Extracción
Nitrógeno	kg/ton	14,5
Fósforo	kg/ton	3
Potasio	kg/ton	4
Calcio	kg/ton	0,2
Magnesio	kg/ton	0,8
Azufre	kg/ton	1,8
Boro	g/ton	5
Cloro	g/ton	27
Cobre	g/ton	4
Hierro	g/ton	45
Manganeso	g/ton	32
Molibdeno	g/ton	1
Zinc	g/ton	27

Fuente: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

En el maíz, la producción y la calidad del grano depende del abonado en mayor medida, si cabe que cualquier otro cultivo cerealista. El N debe aplicarse unos diez o quince días antes de la floración, lo que garantiza la cantidad suficiente de proteínas en el grano y un nivel de producción correcto. Como abonado de fondo, deben aportarse todas las unidades nutritivas de P y K y una tercera parte de las de N. Posteriormente, se aplicarán en cobertura los dos tercios restantes; uno en el momento del aclareo, y otro un mes después (Lorente, 1998).

Thompson (1988), menciona que el efecto de un catión sobre otro en el maíz contiene, normalmente, tanto K como la suma de Ca y Mg. Sin embargo, Stanford, (1941) citado por Thompson (1988), comprobaron que el maíz sigue mostrando un crecimiento normal cuando la suma del Ca y Mg supera en 3,5 veces la cantidad del K.

Thompson (1988), manifiestan que los micronutrientes interactúan mutuamente de varias maneras y también lo hacen con los macronutrientes y con el ambiente. Por Ejemplo, la absorción de Zn puede verse reducida por las concentraciones elevadas de P o

de Mn, por la falta de oxígeno o por la temperatura demasiado baja del suelo. La influencia del P se debe a la escasa solubilidad del fosfato de Zn, que reduce la concentración de Zn en la solución del suelo. El Mn y el Zn son lo bastante parecidos para que se den fenómenos de competencia por la entrada en la raíz, al utilizar las mismas moléculas transportadoras. Entre ambos se manifiestan, por tanto, un antagonismo.

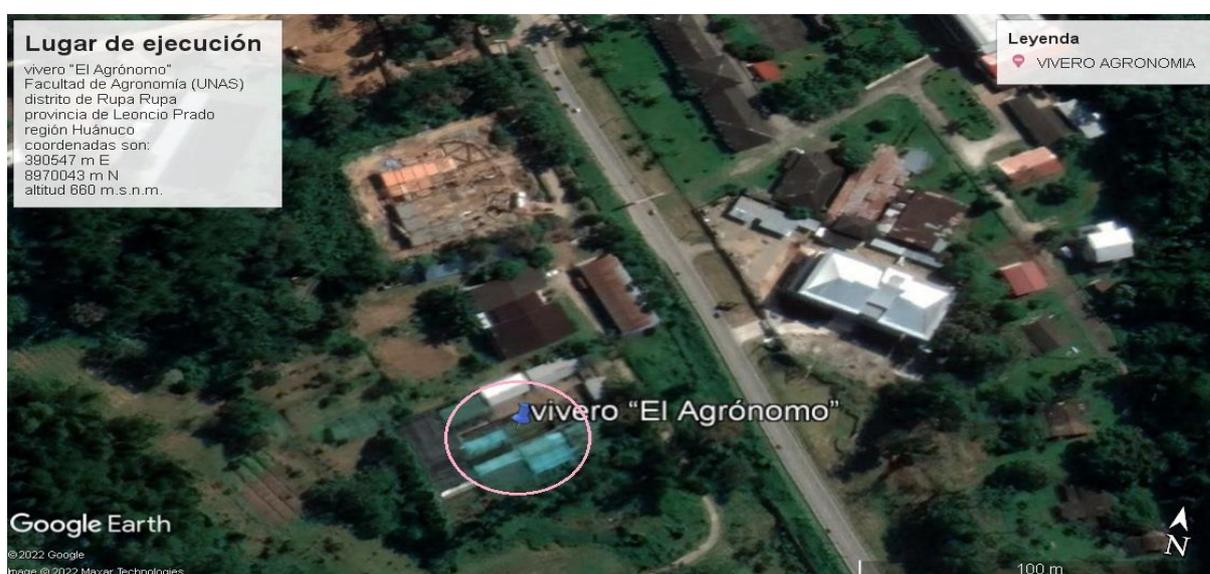
2.3.1.1. Formas de extracción de nutrientes del maíz

La extracción comienza tras la nacerencia, la extracción más fuerte de nutrientes se produce a partir de las 4-5 semanas (estado 8 hojas), en que se inicia el crecimiento vegetativo más intenso. La absorción de macronelementos va adelantada respecto a la generación de materia seca. Esto ocurre especialmente en el K, cuya absorción prácticamente termina poco después de la floración (Lorente, 1998).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El presente estudio se realizó en el vivero de la Facultad de Agronomía - Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el km. 1,5 de la carretera Tingo María – Huánuco, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Con coordenadas UTM 390547 m. E, 8970043 m. N y 660 m.s.n.m de altitud.



Las condiciones climáticas son de temperatura máxima de 29,4 °C, mínima de 19,2 °C, y media de 24,3 °C, siendo un clima templado. Con una altitud de 660 msnm, precipitación promedio anual de 3500 mm, y humedad relativa de 87 %.

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de Leslie Ransselaer Holdridge, el distrito de Rupa Rupa se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano, Sub Tropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, según Javier Pulgar Vidal, se encuentra en la selva alta o también denominado Rupa Rupa.

3.2. Equipos y materiales

3.2.1. Equipos

- Balanza analítica (Sartorius BL 2 105)
- Balanza de 5 kg, estufa (Mettler)
- Cámara fotográfica digital (Sony DSC-W210).

3.2.2. Materiales

- Roca esquisto micáceo con diferentes niveles y tamaño granulométrico.
- Semillas de Zea maíz “marginal 28” procedentes de la ciudad de Pucallpa.
- Tierra franco arcillo arenoso.

3.3. Metodología

3.3.1. Preparación de los tratamientos

La Tabla 4, muestra los 17 tratamientos en los cuales se utilizaron diferentes niveles y tamaño granulométrico de roca esquisto micáceo, excepto en el testigo. La procedencia de cada uno de los sustratos: Tierra agrícola (Las Lomas – Buenos Aires), roca esquisto micáceo (Dos de Mayo – Huánuco).

Tabla 3. Característica de los tratamientos.

Tratamientos	Niveles (ppm K)	Descripción (tamaño de partícula)	Sustratos
T ₁	200	0,50 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 8 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 0,5 mm
T ₂	400	0,50 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 16 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 0,5 mm
T ₃	600	0,50 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 24 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 0,5 mm
T ₄	800	0,50 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 32 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 0,5 mm
T ₅	200	1,18mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 8 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 1,18 mm
T ₆	400	1,18mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 16 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 1,18 mm
T ₇	600	1,18mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 24 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 1,18 mm
T ₈	800	1,18mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 32 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 1,18 mm
T ₉	200	2 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 8 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 2 mm
T ₁₀	400	2 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 16 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 2 mm
T ₁₁	600	2 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 24 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 2 mm
T ₁₂	800	2 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 32 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 2 mm
T ₁₃	200	4,75 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 8 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 4,75 mm
T ₁₄	400	4,75 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 16 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 4,75 mm
T ₁₅	600	4,75 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 24 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 4,75 mm
T ₁₆	800	4,75 mm	Tierra franco arcillo arenoso (1 Kg) + 32 gr de Roca esquisto micáceo, granulometría de 4,75 mm
T ₁₇	0	0	Tierra franco arcillo arenoso

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Instalación del experimento

El presente experimento se instaló en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ocupando un espacio dentro de las camas de germinación. La Figura 1, muestra la orientación de las camas de germinación que están de este a oeste, su construcción es a base de concreto al igual que los pilares donde soporta los tejidos de metal que sirven de apoyo a la cobertura de malla raschel de color negro al 80 %.

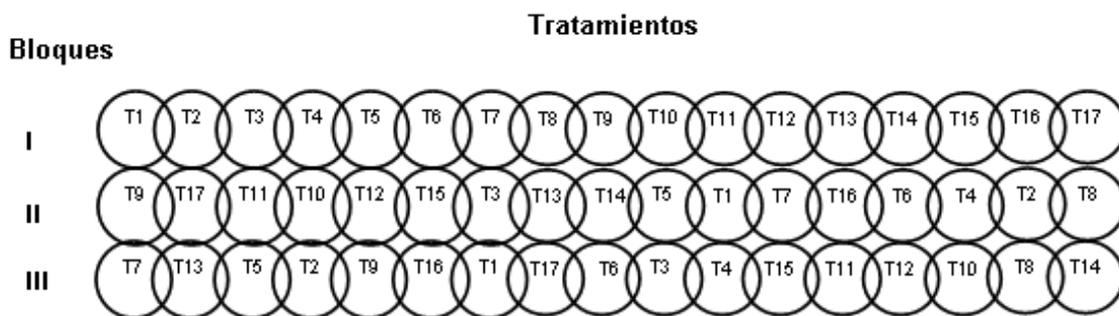


Figura 1. Distribución de los tratamientos.

3.3.3. Procedimiento

Se realizó los siguientes procedimientos: se molió la roca esquisto micáceo con un mortero y se tamizó con las mallas número 4 (4,75 mm), 10 (2 mm), 16 (1,18 mm) y 35 (500 μ m), luego se hizo el pesado de la tierra agrícola necesaria por cada bolsa y también de la roca esquisto para cada tratamiento, esta se mezcló con la tierra agrícola para que sea uniforme, se llenó las bolsas con el sustrato preparado, se colocó en la cama ordenándolos por tratamientos, luego realizamos la siembra de 6 semillas por bolsa. Después de los 60 días de siembra cosechamos las plantas del maíz con toda la raíz, separando la planta entera de la tierra, se obtuvo una muestra de suelo y una muestra foliar por cada tratamiento y bloque, se etiquetó las bolsas de papel y se mandó a analizar las muestras.

3.3.4. Deseje de plántulas

Para mantener una plantación en condiciones apropiadas y obtener un máximo rendimiento se realizó el deseje cuando las plantas obtuvieron los dos primeros pares de hojas, obteniendo así un número de plantas por bolsa uniforme, quedando 4 plántulas por bolsa.

3.3.5. Análisis químico del suelo

El análisis de suelos se realizó por tratamiento y bloque luego de haber sido incorporado la roca esquisto micáceo y cosechado las plantas. Y así poder observar cuanto de nutriente pudo ser liberado y a la vez absorbido por la planta de maíz.

3.3.6. Análisis químico de la roca

Se realizó un análisis de la roca esquisto micáceo para determinar la composición de los elementos, para lo cual este análisis se evaluó en los laboratorios de la Empresa SGS del Perú S.A.C.

3.4. Tratamientos en estudio

Tabla 4. Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Nivel de K en ppm	Tamaño de grano
1	200	0,50 mm
2	400	0,50 mm
3	600	0,50 mm
4	800	0,50 mm
5	200	1,18mm
6	400	1,18mm
7	600	1,18mm
8	800	1,18mm
9	200	2 mm
10	400	2 mm
11	600	2 mm
12	800	2 mm
13	200	4,75 mm
14	400	4,75 mm
15	600	4,75 mm
16	800	4,75 mm
17	Testigo	Testigo

Fuente: Elaboración propia

3.5. Diseño experimental

De acuerdo al modelo propuesto, el diseño experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial 4x4 más un testigo. Siendo los factores niveles de ppm de K y tamaño de partícula, resultando 17 tratamientos. Se consideró tres bloques o repeticiones. La Tabla 5 muestra el modelo estadístico y el Análisis de Varianza a emplear.

Tabla 5. Esquema del análisis de variancia del modelo estadístico propuesto.

Fuentes de variación		Grado de libertad	
Bloque	(r-1)	(3-1)	2
Nivel (A)	(a-1)	(4-1)	3
Tamaño patícula(B)	(b-1)	(4-1)	3
A x B	(a-1)(b-1)	(4-1) (4-1)	9
A x B vs. Testigo	(Contraste Ax B -1)	(2-1)	1
Error	GL Total-[Σ GL FV]	50-[18]	32
Total	[(r)(a)(b) + r]-1	(3-1)(3-1)	50

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar los elementos que componen la roca esquistosa

Tabla 6. Análisis químico del esquistoso micáceo.

Elementos	Símbolo	Unidad	Proporción
Plata	Ag	Ppm	<0,2
Aluminio	Al	%	7,47
Arsenio	As	Ppm	8
Bario	Ba	Ppm	528
Berilio	Be	Ppm	2,4
Calcio	Ca	%	0,38
Cadmio	Cd	Ppm	2
Cobalto	Co	Ppm	17
Cromo	Cr	Ppm	81
Cobre	Cu	Ppm	35,7
Hierro	Fe	%	3,78
Galio	Ga	Ppm	12
Potasio	K	%	2,58
Lantano	La	Ppm	24,1
Litio	Li	Ppm	55
Magnesio	Mg	Ppm	0,75
Manganeso	Mn	Ppm	493
Molibdeno	Mo	Ppm	7
Sodio	Na	%	1,11
Niobio	Nb	Ppm	10
Níquel	Ni	Ppm	33
Fósforo	P	%	0,05
Plomo	Pb	Ppm	25
Azufre	S	%	0,17
Antimonio	Sb	Ppm	5
Escandio	Sc	Ppm	10,6
Estaño	Sn	Ppm	<10
Estroncio	Sr	Ppm	112,3
Titanio	Ti	%	0,14
Talio	Tl	Ppm	3
Vanadio	V	Ppm	84
Itrio	Y	Ppm	10,6
Zinc	Zn	Ppm	83,3
Circonio	Zr	Ppm	86,3

Fuente: Elaboración propia a partir de los análisis realizadas en la Empresa SGS del Perú S.A.C.

La Tabla 6, muestra los resultados del análisis químico del esquisto micáceo; según dicha Tabla, la muestra contiene gran variedad de elementos entre ellos: al Ca, hierro, K, Na, P, S que son expresados en %, los otros elementos expresados en ppm son el Cu, Mg, Mn, Mo, Cd y Zn. La roca esquisto debería tener una composición promedio cercana a la corteza terrestre (Mortvedt, 2000).

Tabla 7. Elementos de la corteza terrestre en comparación con el análisis de la roca esquisto micáceo.

Elementos en la corteza terrestre	Autores			Análisis de roca esquisto micáceo de la SGS
	Besoain	Tisdale	Fassbender	
Al	8,13 %	----	----	7,47 %
K	2,59 %	2,40 %	2,50 %	2,58 %
Mg	2,09 %	1,93 %	----	0,00 %
Fe	5 %	----	3,10 - 3,7 %	3,78 %
Ca	3,60 %	----	3,60 %	0,38 %
Na	2,83 %	2,63 %	----	1,11 %
Zn roca sedimentaria	----	----	10 y 100 ppm	83,3 ppm
Cu roca sedimentaria	----	----	5y 45 ppm	35,7 ppm
Mn Cambiable	----	----	7 y 22,3 ppm	493 ppm

Fuente: Adaptado por Besoain (1985); Tisdale (1988); Fassbender (1982). Análisis de roca en la S.G.S S.A.c.

Por lo tanto, si tomamos como referencia a 3,6 % como el contenido de Ca en la corteza terrestre, dato reportado por Fassbender (1982) y Besoain (1985), lo comparamos con el resultado del contenido de Ca del esquisto micáceo (0,38 %), siendo menor, podemos indicar que el Ca no es un elemento principal ni accesorio de los minerales del esquisto micáceo. Se tiene como referencia que el Mg de la corteza terrestre, dato reportado por Tisdale (1988) y Besoain (1985) es de 1,93 % y 2,09 %. Estos datos al compararlo con el resultado de Mg obtenido del esquisto micáceo (0,75 ppm) nos indica que este elemento está presente en el esquisto micáceo, pero no dentro del rango reportado por Fassbender y Besoain.

El contenido de K total (2,58 %) determinado en el esquisto micáceo se asemeja con el contenido del K de la corteza terrestre (2,4 % determinado por Tisdale (1988), 2,5 % por Fassbender (1982) y 2,59 % por Besoain (1985). Este resultado estaría ratificando que los minerales componentes del esquisto micáceo son la biotita y la moscovita ya que ambas deben contener cantidades apreciables de K.

El Na en la roca analizada es 1,11 % estos son relativamente bajos cuando se compara con el reporte de Tisdale (1993) y Besoain (1985), quienes mencionan que el contenido de Na en la corteza terrestres es de 2,63 % y 2,83 % respectivamente. Demostrando una vez más que esta roca contiene biotita y moscovita ya que en ellas no contiene el Na como elemento principal ni accesorio.

Los resultados del Mn de la roca son 493 ppm, las cuales no están cercanos al rango propuestos por Fassbender (1982), en los suelos que varían entre 7 y 22,3 ppm. Este resultado nos estaría indicando la presencia de cantidades apreciables del Mn en el esquisto, convirtiéndose en un argumento más, para mencionar que la roca analizada contiene biotita y este mineral es componente del esquisto micáceo.

El contenido promedio de Zn de la roca es 83,3 ppm. El promedio del Zn total del esquisto micáceo se encuentra dentro del rango propuesto por Fassbender (1982) quien manifiesta que el valor del Zn en las rocas varía de 10 a 100 ppm. Ratificando que la muestra analizada contiene biotita.

El Fe analizado en la roca es de 3,78 %. Si tomamos como referencia en los primeros kilómetros de la corteza terrestre de 3,10 y 3,7 % de hierro Fassbender (1982) y 5 % por Besoain (1985). El resultado obtenido del esquisto micáceo se encuentra al mismo nivel de los rangos reportados por Fassbender (1982) y Besoain (1985).

El contenido de Cu en la roca es de 35,7 ppm. El promedio del Cu del esquisto micáceo se encuentra dentro del rango propuesto por Fassbender (1982) quien manifiesta que el valor del Cu en las rocas varía de 5 a 45 ppm. El aluminio es un elemento principal del esquisto micáceo contiene 7,47 % que también está presente en la biotita como en la moscovita; según el dato reportado por Besoain 1985 la corteza terrestre contiene 8,13 % de aluminio.

El P que muestra el análisis de la roca es 0,05 %, si tomamos como referencia el de la corteza terrestre de 0,1 % de P (ECURED, 2015). El resultado obtenido de la roca se encuentra en pocas concentraciones.

El S se encuentra en pocas cantidades en la roca de 0,17 % si este lo comparamos con la corteza terrestre que es de 0,052 % (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2012). Nos damos cuenta de que el S presente en el esquisto micáceo es mayor al que se encuentre en la corteza terrestre.

4.2. Liberación de los elementos solubles del esquisto

Tabla 8. Análisis de varianza. Resumen de las características de los elementos del Suelo sobre diferentes niveles de potasio y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo.

F.V.	Cuadrados Medios									
	P		K ₂ O		Ca		Mg		Al	
Bloque	0,92	Ns	441,92	Ns	0,31	Ns	0,20	Ns	0,46	Ns
Nivel	10,57	*	416,24	Ns	0,12	Ns	0,13	Ns	0,28	Ns
Tamaño (A)	0,46	Ns	873,14	Ns	0,33	Ns	0,04	Ns	0,03	Ns
Nivel*Tamaño (B)	7,33	Ns	351,65	Ns	0,22	Ns	0,08	Ns	0,32	Ns
A x B vs. Testigo	0,67	Ns	170,57	Ns	0,13	Ns	0,05	Ns	0,15	Ns
Error	3,33		512,13		0,57		0,13		0,21	
CV (%)	38,65		22,50		48,58		33,93		33,57	

*** Significativo al 1 y 5 % por la prueba de F. Ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación

Los resultados que muestra en la Tabla 8, indican que utilizando la roca esquisto micáceo en diferentes niveles en base al contenido de K (ppm) resulta una clara influencia significativa sobre el P disponible del suelo. En las demás variables no se encontró diferencia alguna en ninguna de las fuentes de variación, probablemente por la poca concentración de los elementos presentes en la roca (Tabla 6).

Tabla 9. Valores promedios y su respectiva desviación estándar en los elementos del suelo para los niveles de potasio.

Variable	Nivel de K (ppm)					Promedios
	0	200	400	600	800	
P (ppm)	4,26	4,058	4,408	4,023	6,018	4,626
K₂O (kg/ha)	93,28	98,04	101,29	95,69	109,18	101,05
Ca (Cmol(+)/kg)	1,94	2,97	3,25	2,21	3,25	2,92
Mg (Cmol(+)/kg)	0,93	1,04	1,2	1,01	0,97	1,055
Al (Cmol(+)/kg)	1,15	1,46	1,41	1,15	1,49	1,3775

De manera general los niveles de esquistos micáceo-aplicados al suelo en función al contenido de K aportaron elementos como el K, Ca, Mg y Al, con una diferencia numérica entre los niveles, describiendo una tendencia lineal, indicándonos que, a mayor cantidad de la roca aplicada al suelo, mas es la liberación de los elementos. Sin embargo, esto no ocurrió con la MO ni con el N, la tendencia fue inversa, es decir a mayor cantidad de roca aplicada menor liberación de MO y de N como respuesta a la composición de la roca que no presenta compuesto orgánico alguno, por consiguiente, como no hay aporte de la MO y el N, la disminución de su contenido en el suelo obedecería a la mineralización de la MO y al consumo de N por el maíz.

En consecuencia, el aporte de los nutrientes se debe a la meteorización del esquistos micáceo, porque esta constituidas por láminas que generan espacios de mayor superficie de contacto frente a la meteorización a pesar de contener minerales resistentes (Velez, 2008). El agua juega un papel determinante en la meteorización, que al penetrar a los intersticios del mineral producen la disolución, hidratación e hidrólisis del mineral. Los ácidos producidos por la descomposición de la materia orgánica aceleran los procesos de meteorización química. Los animales y organismos que viven bajo tierra favorecen la erosión de los suelos, la mezcla de sus componentes y la permeabilidad del suelo (Duque, 2017). Por otro lado, las fuerzas físicas producen la ruptura de las rocas sin modificar su composición química o mineralógica y estas se dan en presencia de agua y controlados por la temperatura (Suarez, 2007), que son condiciones propias del lugar donde se realizó el experimento.

Tabla 10. Valores promedios y su respectiva desviación estándar en las características químicas del suelo para el tamaño de la partícula de la roca esquisto micáceo.

Variable	Nivel de K (ppm)					Promedios
	0,00	0,50	1,18	2,00	4,75	
P (ppm)	4,26	4,82	4,73	4,96	4,5	4,753
K₂O (kg/ha)	93,28	96,29	97,43	113,82	96,65	101,048
Ca (Cmol(+)/kg)	1,94	3,54	2,69	2,29	3,17	2,923
Mg (Cmol(+)/kg)	0,93	1,03	1,06	1	1,13	1,055
Al (Cmol(+)/kg)	1,15	1,33	1,35	1,45	1,39	1,38

El tamaño de las partículas de la roca esquisto micáceo tuvo una influencia numérica en las variables analizadas del suelo así: para el caso de la materia orgánica y N estos disminuyen a medida que se incrementa el tamaño de partícula de la roca; para el caso del P hay un incremento del elemento disponible al tamaño de 2 mm de la roca aproximadamente, a partir de este valor tiende a disminuir siempre superando al testigo; en relación al Ca, Mg y aluminio la tendencia es de incrementar el contenido en el suelo a medida que se incrementa el tamaño de la roca. Estos resultados no responden a la lógica de la solubilidad, se supone que cuanto menor sean las partículas, tienen más superficie específica de contacto para una mayor solubilidad. En un intento de probar las razones que explican este proceso serían: la primera, obedecería a las oscilaciones térmica (Vidal, 2010) que es un agente potencial de meteorización a través de los esfuerzos generados por diferencias de temperatura, o acumulación de calor, dilatación y contracción sucesivas que dan lugar a la fracturación de las mismas (Rice, 1976; Smith, 1977, Gómez, 2008), además esta propiedad térmica de la roca a mayor cantidad de roca existe mayor acumulación de calor (Hall, 2003; Gómez, 2006). Que indirectamente favorecería tanto a la actividad microbiana (Robinson, 1989) como a las raíces de las plantas que en su crecimiento penetran y generan grietas que contribuyen a la fragmentación del material. Lo mismo se puede decir de los microorganismos. (Esbert, 1997). El O en su defecto esta propiedad térmica también aceleraría la velocidad de reacción química de los minerales; en segundo lugar, podría ser a la avidez de los organismos incluido a las raíces de las plantas que, ante la escasez de los elementos nutritivos en el suelo, estarían creando mecanismos para acelerar el proceso de meteorización. Un tercer aspecto sería al régimen del clima (Vidal, 2010) que favorece la

pérdida de los elementos solubilizados por efecto de la lixiviación, propios de materiales de alta solubilidad, y que generalmente son de menor tamaño.

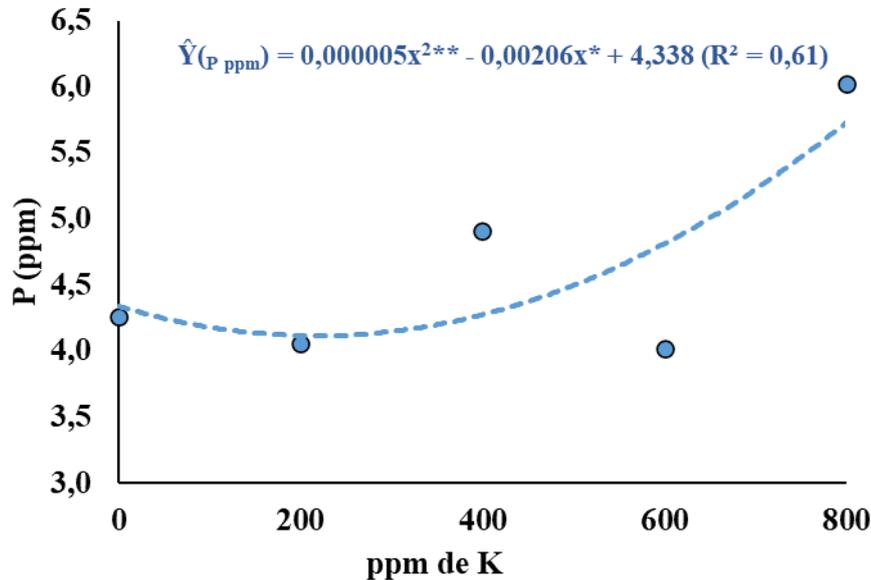


Figura 2. Curva de disponibilidad de fósforo en el suelo en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio por la roca esquisto micáceo en el cultivo de maíz.

La aplicación de diferentes niveles de K derivados de la roca esquisto micáceo influyó en los incrementos de los valores de P (ppm) en el suelo, observándose un ajuste del tipo cuadrático significativo (Figura 2); donde el incremento es observado a partir de la dosis calculada de 249,10 ppm de K con un valor mínimo de 3,90 ppm de P hasta alcanzar el valor de 6,02 ppm de P al nivel de 800 ppm de K.

El incremento del P estaría obedeciendo a la liberación de la roca por efecto de la solubilidad, acelerada por los cambios térmicos producido en las rocas (Khasawneh, 1980). Además de la desorción causada por la producción y liberación de ácidos orgánicos por algunos microorganismos del suelo. (Richardson, 2011). Una vez liberada el P en el suelo, está a diferencia de los cationes se mueve por difusión, de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración. Entonces como este elemento en el suelo tiene lenta movilidad, y al no ser absorbido por las plantas la cantidad en el suelo tiene a ser alto en comparación a los otros elementos nutritivos (Cabeza, 2011).

4.3. Cuantificar la absorción de nutrientes por el cultivar maíz en el experimento

Tabla 11. Análisis de varianza resumen del contenido químico en la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo para el fósforo, potasio, magnesio, sodio y calcio.

F.V.	Cuadrados Medios									
	P		K		Mg		Na		Ca	
	----- % -----									
Bloque	0,08	*	0,07	Ns	0,09	*	0,02	Ns	0,03	*
Nivel	0,03	Ns	0,66	**	0,1	**	0,04	*	0,03	*
Tamaño (A)	0,01	Ns	0,94	Ns	0,03	Ns	0,01	Ns	0,01	Ns
Nivel*Tamaño (B)	0,02	Ns	0,32	Ns	0,02	Ns	0,01	Ns	0,01	Ns
A x B vs. Testigo	0,02	Ns	0,29	Ns	0	Ns	0,03	Ns	0,001	Ns
Error	0,02		0,08		0,02		0,01		0,005	
CV (%)	32,24		30,31		15		30,76		7,46	

Tabla 12. Análisis de varianza resumen del contenido químico en la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm y diferentes tamaños de partículas de la roca esquisto micáceo para el hierro, manganeso, cadmio, zinc, cobre.

F.V.	Cuadrados Medios									
	Fe		Mn		Cd		Zn		Cu	
	----- ppm -----									
Bloque	331167	*	1032	Ns	0,08	Ns	0,14	Ns	0,9	Ns
Nivel	90290	Ns	5195	*	1,98	**	2,23	Ns	0,3	Ns
Tamaño (A)	703001	Ns	6944	Ns	2,18	Ns	2,81	Ns	1,54	Ns
Nivel*Tamaño (B)	268564	Ns	2599	Ns	2,61	Ns	2,85	Ns	1,5	Ns
A x B vs. Testigo	9606	Ns	1263	Ns	0,46	**	0,41	Ns	0,01	Ns
Error	75907		1613		0,06		1,68		0,62	
CV (%)	29,96		31,42		5,65		18,15		20,3	

En la Tabla 11 y 12 se observa que: existe diferencia significativa en el contenido de Ca, Na, Mn y Cd por efecto de niveles de la roca esquisto micáceo; mientras que para el caso del contenido de K y Mg la diferencia por efecto de los niveles de roca es altamente significativo y finalmente el contenido de Cd en la planta fue diferente altamente significativo en la fuente de variación del testigo versus los tratamientos. Las diferencias estadísticas posiblemente son como consecuencia de la liberación de los nutrientes explicados anteriormente.

Tabla 13. Valores promedios y su respectiva desviación estándar de la planta del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de potasio en ppm aplicados con la roca esquisto micáceo.

Variable	Nivel de K					Promedios
	0	200	400	600	800	
	----- ppm de K -----					
P (%)	0,49	0,35	0,44	0,36	0,43	0,395
K (%)	0,65	0,72	0,89	0,98	1,28	0,9675
Mg (%)	0,43	0,27	0,29	0,36	0,4	0,33
Na (%)	0,01	0,02	0,03	0,03	0,09	0,0425
Ca (%)	0,88	0,75	0,78	0,92	0,92	0,8425
Fe (ppm)	864,84	927,61	1 028,16	815,82	921,08	923,1675
Mn (%)	0,43	0,27	0,29	0,36	0,4	0,33
Cd (%)	4,62	4,615	4,86	4,587	3,8025	4,466125
Zn (ppm)	46,06	66,15	47	47,44	52,38	53,2425
Cu (ppm)	14,73	15,54	15,24	13,96	18,74	15,87

El incremento de los nutrientes en el suelo mostrados en la tabla 8 se traducen en una mayor absorción de los elementos nutritivos por el cultivo de maíz, es por ello que en la Tabla 12 observamos que a mayor nivel de la roca mayor será la absorción de los nutrientes por el maíz, hasta un rango que varía para cada nutriente, a partir de este rango tienden a descender. Cada uno de estos elementos absorbidos por el cultivo, cumplen una función particular, ya sea como compuestos orgánicos, precursores enzimáticos u otras funciones; todos ellos contribuyen al crecimiento del cultivo.

Las plantas absorben los elementos nutritivos en ciertas proporciones, es importante que los nutrientes se mantengan balanceados en el suelo, para la satisfacer las necesidades individuales de los cultivos, (Graetz, 1990). Así el N, Interviene en la multiplicación celular y se considera factor de crecimiento y desarrollo (Navarro, 2013), para el caso del P, se considera como factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración también estimula el desarrollo de las raíces. (Lazcano, 2000), mientras que el K, es el factor de calidad. Por qué tiene un papel múltiple. Mejora la actividad fotosintética; aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades favoreciendo la rigidez y estructura de las plantas; a la vez que participa en la formación de proteínas (Kass, 1998). Así mismo el Mg Forma parte de la molécula de clorofila, siendo por tanto esencial para la fotosíntesis y para la formación de otros pigmentos. Favorece el transporte y acumulación de azúcares en los órganos de reserva y el del P hacia el grano. Influye en los procesos de óxido-reducción (García, 2005), por otro lado, en caso del Ca, necesario en la división y crecimiento de la célula. Es el elemento estructural de paredes y membranas celulares, y es básico para la absorción de elementos nutritivos. Participa junto con el Mg en la activación de las enzimas del metabolismo de glúcidos y proteínas (Kass, 1998). En cambio, el hierro, interviene en la síntesis de la clorofila y en la captación y transferencia de energía en la fotosíntesis y en la respiración. Actúa en reacciones de óxido-reducción, como la reducción de nitratos (Ramos, 2002). Seguidamente el Mn, está ligado al hierro en la formación de clorofila. Además, participa en el metabolismo de los hidratos de carbono (ECURED, 2015). Para el Zn, es fundamental en la formación de auxinas, que son las hormonas del crecimiento. Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C (García, 2005), en el caso del Cu, participa en la fotosíntesis y en el metabolismo de las proteínas (Velez, 2008). Considerando al N que no es un elemento esencial para las plantas, pero puede usarse en pequeñas cantidades como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila (León 2004), en consecuencia, el Cd no es considerado como un elemento esencial para los procesos metabólicos (Cuenca, 2012).

Tabla 14. Valores promedios y su respectiva desviación estándar de la planta del cultivo de maíz sobre diferentes tamaños de las partículas de la roca esquistó micáceo.

Variable	Tamaño de partícula de la roca esquistó micáceo					Promedios
	0,00	0,50	1,18	2,00	4,75	
	----- mm -----					
P (%)	0,49	0,41	0,43	0,39	0,35	0,395
K (%)	0,65	0,77	0,87	0,85	1,38	0,9675
Mg (%)	0,43	0,31	0,32	0,31	0,38	0,33
Na (%)	0,01	0,06	0,02	0,03	0,06	0,0425
Ca (%)	0,88	0,8	0,84	0,82	0,9	0,84
Fe (ppm)	864,84	766,23	829,6	812,84	1 283,99	923,165
Mn (ppm)	147,71	153,19	134,63	95,8	122,63	126,5625
Cd (ppm)	4,62	4,31	4,63	4,31	3,62	4,2175
Zn (ppm)	46,06	55,71	46,13	46,56	64,57	53,2425
Cu (ppm)	14,73	15,34	21,3	13,31	13,54	15,8725

Los diferentes tamaños de las partículas de la roca muestran una influencia diferenciada en el contenido de los nutrientes en la planta de maíz (Tabla 12). Así: para el caso del N, K, Zn y Cu la tendencia es que a mayor tamaño de partícula mayor será la absorción; mientras que, para P, Mg, Ca, Fe, Mn Cd y Cu la tendencia es inversa. Tres aspectos explicarían estos resultados: primero el efecto de las rocas sobre la textura del suelo, que influye poderosamente sobre la estructura y ambas rigen todo el comportamiento físico del suelo (INTAGRI 2017; Vidal, 2010); segundo la solubilidad de cada elemento, siendo el pH el principal factor que controla la liberación de los nutrientes contenidos en la roca también a los ácidos orgánicos producidos por las plantas y microorganismos, así como por la biomasa en descomposición que se encuentra en el suelo. Al ser un proceso ecológico directamente relacionado con la actividad biológica (Zapata, 2006). La solubilidad de la mayoría de los fertilizantes aumenta con la temperatura del agua (Bartolini, 1989). Estos compuestos se disocian en el agua del suelo en iones positivos (cationes) y negativos (aniones), y bajo estas formas son asimilados por las plantas (INTAGRI, 2017). Y el tercero vendría a ser la lixiviación de los elementos que es el desplazamiento de sustancias solubles o dispersables, proceso característico en los climas húmedos. Esto provoca que las capas superiores del suelo pierdan sus compuestos nutritivos, arrastrados por el agua (Havlin, 2014).

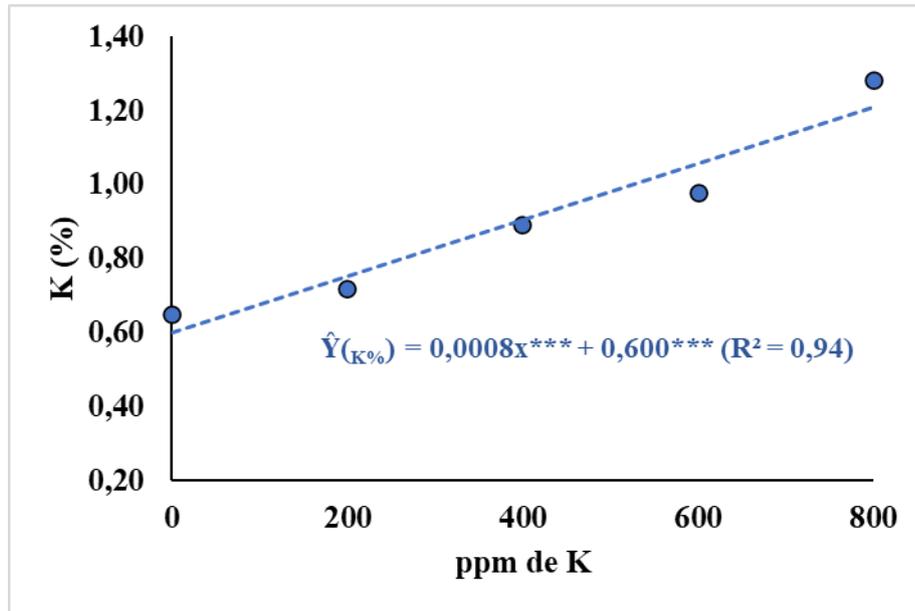


Figura 3. Absorción de potasio (%) en los contenidos de la planta del cultivo de maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio a partir de la roca esquistó micáceo.

La absorción de K (%), presenta un incremento con ajuste lineal positiva conforme se incrementan los niveles de k más allá de los 0,6 ppm de K a razón de 0,0008 % hasta el valor de la máxima dosis de 800 ppm de K. con 1,28 % de K en las plantas de maíz (Figura 3) en respuesta al contenido de este elemento (Tabla 1) presente en la roca y su rápida solubilidad.

De lo presentado y comentado se desprende que el esquistó micáceo constituye una alternativa para su uso en la agricultura, sobre todo en la zona tropical, ya que es muy notorio tanto el aporte del K, así como los demás elementos nutritivos.

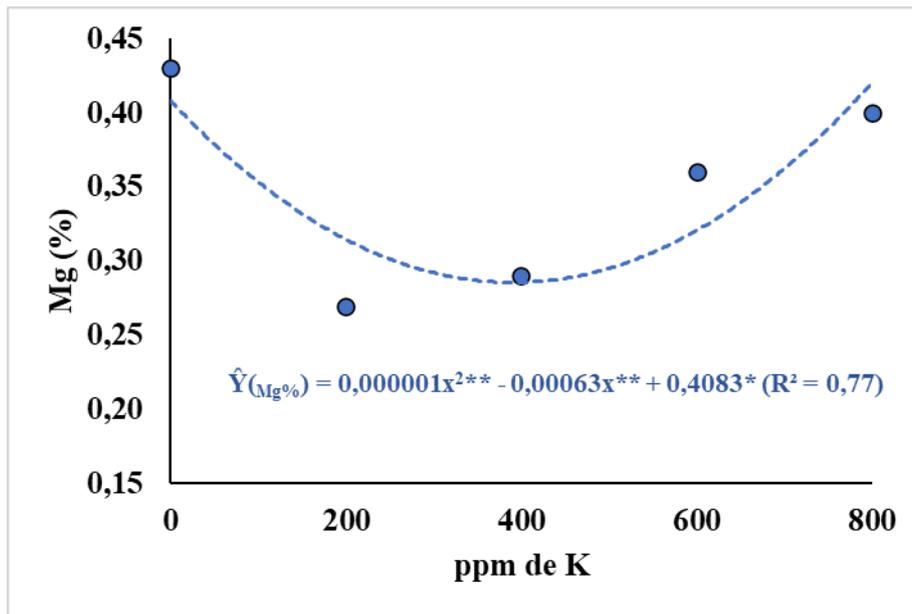


Figura 4. Curva de absorción de magnesio (%) en la planta del cultivo de maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.

Los valores porcentuales de Mg en las plantas del cultivo de maíz, muestran que la absorción de este elemento presenta un efecto de ajuste cuadrático significativo (Figura 4), siendo que la mayor absorción de Mg (%) se evidenció al nivel de 314,0 ppm de K/ha representado en el ajuste un valor mínimo de 0,31 % de Mg. Denotándose que al incrementar los niveles más allá de los 314,0 ppm de K/ha, la tendencia es a presentar incrementos del porcentual de Mg en la biomasa del cultivo, alcanzando un valor de 0,40 % al nivel de 800 ppm de K/ha.

Esta misma tendencia es evidente en los niveles de Ca (%), donde se observa que la mayor absorción es estimada a 302,0 ppm de K (Kg/ha), obteniéndose el valor mínimo de 0,79 % de Ca en las plantas del cultivo de maíz (Figura 5). Incrementos de Ca (%) más allá del valor de ajuste, muestra que la biomasa del maíz puede obtener valores de hasta 0,92 % de Ca al nivel de 800 ppm de K.

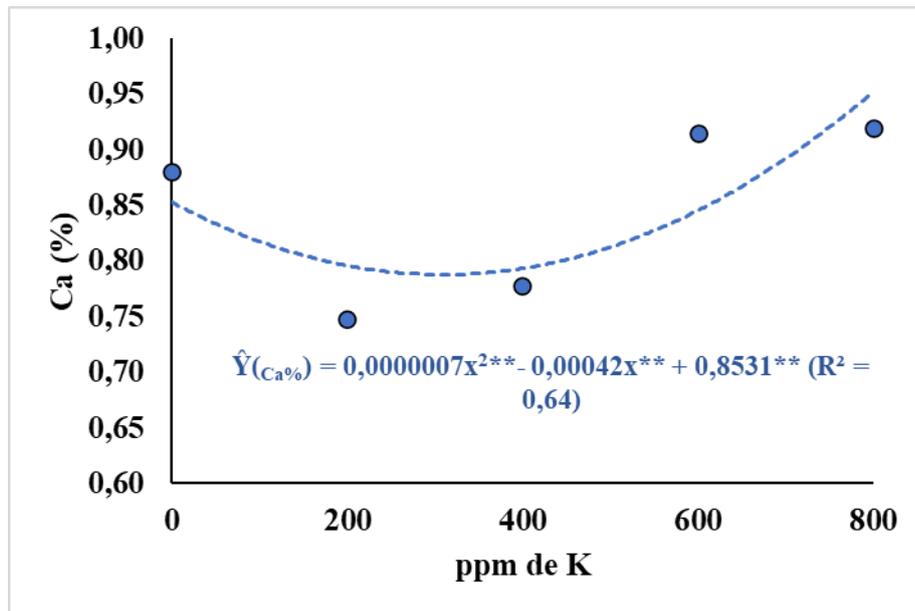


Figura 5. Curva de absorción de calcio (%) en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.

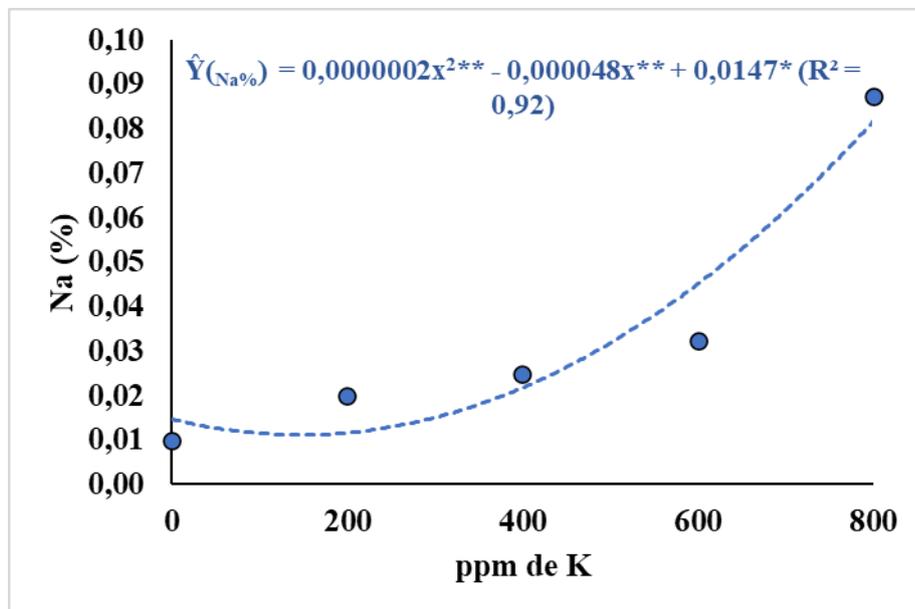


Figura 6. Curva de absorción de sodio (%) en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio.

Los niveles de absorción del elemento Na (%), muestra una tendencia cuadrática positiva, mostrando aumentos a partir del nivel de 121,0 ppm de K ppm con valor mínimo de

0,01 % de Na en las plantas del cultivo de maíz. Al incrementar los niveles de K en ppm, el valor porcentual de Na alcanzó un valor de 0,09 % en las fracciones de la biomasa del cultivo de maíz (Figura 6).

Los resultados mostrados en las Figuras 4, 5 y 6, con tendencias similares, es como respuesta a la liberación de los nutrientes por el efecto de los niveles de K (Tabla 12). Es una respuesta lógica donde a mayor contenido de nutrientes en el suelo mayor será su absorción por el cultivo de maíz.

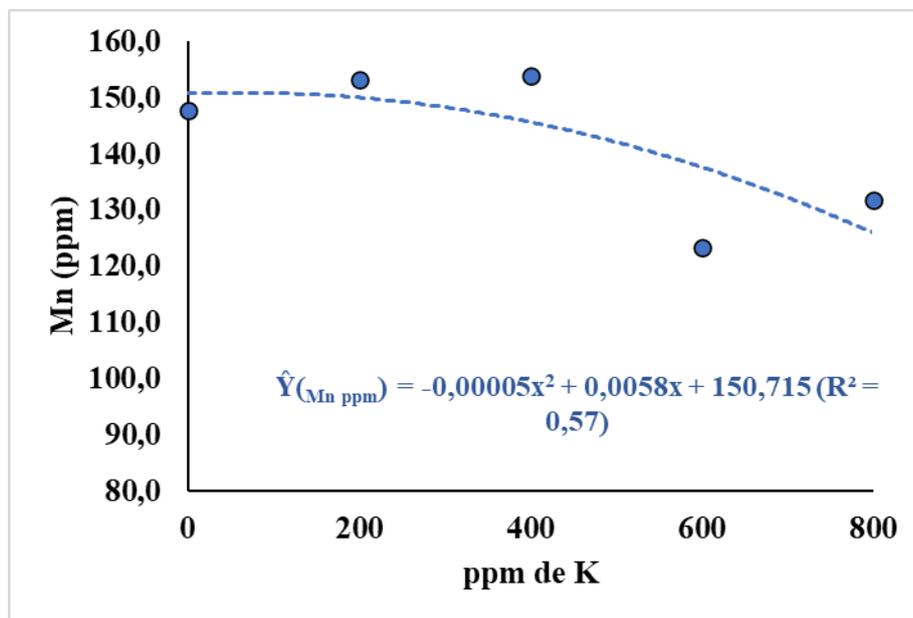


Figura 7. Curva de absorción de manganeso (ppm) en la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio aplicado por la roca esquistó micáceo.

Los porcentuales de Mn en la planta del maíz se ajustaron a un modelo cuadrático negativo, disminuyendo conforme incrementamos los niveles de K. Donde se observa que el máximo porcentual de Mn se expresó al nivel de 151,0 ppm de K con 58,0 % de Mn, más allá de ese valor los valores porcentuales de Mn son menores (Figura 7). Es sabido que el Ca tiene efectos antagónicos con el Mn, por lo tanto, la presencia de Ca (Figura 5). Inhibieron la absorción del Mn. Donde un exceso de Ca puede dar lugar a carencias en Mn, aunque éste se halle en cantidad suficiente (Tisdale, 1993).

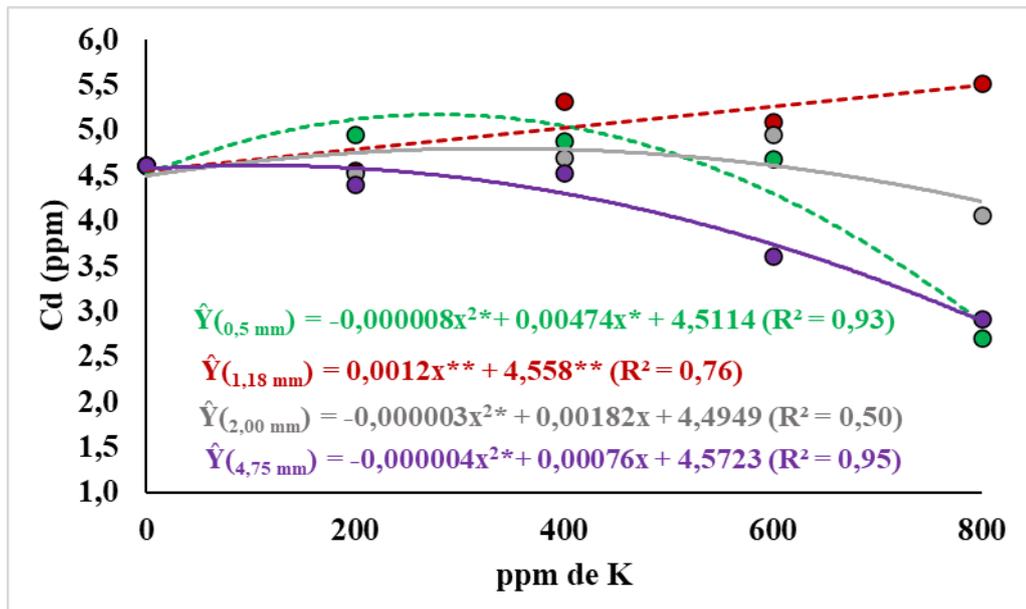


Figura 8. Curva de absorción del cadmio (ppm) del tamaño de partícula de la roca esquistosa micácea en los contenidos de la planta del maíz en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de potasio en el cultivo indicador de maíz.

El resumen del análisis de varianza evidencia la respuesta del tamaño y de los niveles del esquistoso en el contenido del Cd en el cultivo de maíz, por lo tanto, el tamaño de partícula de la roca esquistosa micácea dentro de los niveles de K aplicados en las fracciones foliares, del tallo y las raíces del maíz, evidencian ajustes con tendencia lineal para el tamaño de grano de 1,18 mm y cuadrático para las de 0,50, 2,00 y 4,75 mm (Figura 8). Las partículas de esquistoso micácea de 1,18 mm mostraron un incremento de Cd en la biomasa de los tejidos del maíz al nivel de 800 ppm de K.

Así tenemos de manera general que a mayor nivel de la roca el contenido de Cd en la planta tiende a disminuir. Por otro lado, la aplicación de las partículas de tamaños 0,50 y 2,00 mm de esquistoso al sustrato muestran un máximo de acumulación de Cd en la biomasa de los tejidos del maíz de 4,96 ppm y 4,95 ppm a los niveles de 200 y 600 ppm. Y con la aplicación de partículas del tamaño mayor (4,75 mm) se observó una eficiente disminución de acúmulo de los valores de Cd en los tejidos del cultivo de maíz, siendo que rápidamente esta muestra una tendencia a disminuir a partir de los 4,6 ppm de Cd al nivel K aplicado por la roca de 94,6 ppm/ha, indicando que a mayor tamaño de partícula de la roca esquistosa micácea el elemento Cd disminuye su presencia en los tejidos del cultivo.

Estas reacciones se ven influenciadas por la alimentación balanceada, echo que impide la absorción del Cd gracias al aporte de los nutrientes que proporciona la roca y por qué el maíz se comporta como una planta exclusora o estabilizadora (Gonzales, 2017), condicionadas por determinados componentes del suelo como, por ejemplo, la materia orgánica, las arcillas, o los carbonatos, y algunas características y propiedades del suelo tales como el pH, el potencial redox o la capacidad de intercambio catiónico (Lindsay, 1979; Alloway, 1990; Mclean, 1992; Jopony, 1994; Ritchie, 1995; Mcbride, 1997; Mortvedt 2000 y Kabata, 2004).

El Cd generalmente presente en los horizontes superficiales, será más disponible que el proveniente de la meteorización de las rocas, pero su absorción por las plantas depende de factores del suelo y del cultivo. Aquellos factores y condiciones del suelo que favorezcan la movilidad del elemento también facilitarían la absorción por las plantas (Pardo, 1995. Naidu, 1997 y Pardo, 1997).

Siendo el proceso de inmovilización más frecuente para reducir la absorción haciendo uso de antagonismo con el Zn debido a que ambos elementos tienen una estructura iónica similar, de modo que la proporción Zn/Cd tanto en la roca es relativamente constante (Smilde, 1992; Oliver, 1994; Welch, 1999, Cakmak, 2000 y Fontes, 2000).

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados indican que estamos utilizando una roca metamórfica de esquistos micáceo y que existe la posibilidad de usar en la agricultura en forma general.
2. La composición mineralógica del esquistos micáceo fue: para el Ca 0,38 %, Cd 2 ppm, Cu 35,7 ppm Hierro 3,78 %, K 2,58 %, Mg 0,75 ppm, Mn 493 ppm, Na 1,11%, P 0,05%, S 0,17 % y Zn 83,3 ppm, entre otros elementos.
3. A partir del esquistos micáceo se liberaron al suelo por efecto de niveles el P (4,626 ppm) y numéricamente los siguientes elementos en promedios: K₂O 101,05 (kg/ha); Ca 2,92 (cmol(+)/kg); Al 1,3775(cmol(+)/kg); Mg 1,055(cmol(+)/kg). Para el tamaño de grano fueron el P (ppm) 4,753; K₂O 101,048 (kg/ha); Ca 2,923 (cmol(+)/kg); Al 1,38 (cmol(+)/kg); Mg 1,055(cmol(+)/kg).
4. El maíz a los dos meses de estudio logra absorber los siguientes nutrientes por efecto de niveles: K (0,9675 %), Mg (0,33 %), Ca (0,8425 %), Na (0,0425 %), Mn (0,33 %), Cd (4,466 %).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Para obtener mayor precisión en la composición mineralógica y química del esquisto es necesario repetir los análisis de la roca esquistosa con varias muestras y en diferentes laboratorios.
2. Realizar otras pruebas en el cultivo de Maíz u otras especies para así poder determinar el nivel y la granulometría adecuada en la liberación de los elementos disponibles para la planta de la roca esquistosa.
3. Hacer estudios en cultivos como el frejol, maíz, arroz, entre otros que son considerados con mayor extracción de nutrientes para así cuantificar la absorción de estos y corroborar la liberación de la roca esquistosa.
4. Hacer estudios con la aplicación de roca esquistosa en suelos que estén contaminados en especial de Cd ya que al parecer las propiedades de la roca esquistosa es retener la absorción del metal por las plantas.

VII. REFERENCIAS

- Alloway, B.J. 1990. Metales pesados en suelos. Blackie y Son Ltd., Londres. p. 368.
- ASOCAE ONGD, A. E. 10 de febrero de 2010. *ASOCAE ONGD*, Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación. Obtenido de Geología, Rocas endógenas metamórficas - 3ª parte: <http://www.naturaeduca.com/geol.mineral-materia2php>
- Almeraya, V. E. V.; Sánchez, Q. E. 2015. Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono. *Revista Ciencia*, 72-79.
- Bartolini, C., 1989. La fertilidad de los suelos. Libros Mundi-Prensa. Madrid.
- Cabeza, R. 2011. Degradación del suelo y sus efectos en la dinámica del fósforo. 174 p. Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N° 24. p. 107-112.
- Cakmak, I., R.M. Welch; B. Erenoglu; V. Romheld; W.A. Norvell Y L.V. Kochian 2000. Influencia del suministro variado de zinc en la redistribución de cadmio (¹⁰⁹Cd) y rubidio (⁸⁶Rb) aplicados en hojas maduras de plántulas de trigo duro. *Suelo vegetal* 219:279-284.
- Cornelius, S.; Hurlbut, JR.; Cornelis, Klein. 1992. Manual de mineralogía de Dana. Barcelona, España.
- Cuenca Cuenca, E. W. 04 de mayo de 2012. Agencia Agraria de Noticias. Obtenido de MATERIA ORGÁNICA Y CALCIO REDUCIRÍAN EFECTOS DEL CADMIO EN EL MAÍZ: <http://agraria.pe/noticias/materia-organica-y-calcio-reducirian-efectos-del-cadmio-en-e-2951>
- Deer, W. A.; Howier, R. A.; Zussman, J. 1963. Formación mineralógica de las rocas.
- Dunja Marta, B. 2000. Fertilización del cultivo maíz. *Revista de difusión de tecnología agrícola y pesquera del FONAIAP* , 65 pág.
- Duque Escobar, Gonzalo 2017 Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Manizales, Colombia
- ECURED. 15 de diciembre de 2015. Enciclopedia Cubana ECURED.
- Eduardo Besoain 1985 mineralogía de arcillas de suelos.

- Esbert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. Y Montoto, M. 1997. Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos.
- Fassbender, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de America Latina. Turrialba, Costa Rica: IICA.
- Fontes, M. P. F.; A.T. De Matos; L.M. Da Costa Y J.C.L. Neves. 2000. Adsorción competitiva de zinc, cadmio, cobre y plomo en tres suelos brasileños altamente degradados. *Commun. Sci. De suelo. Planta anal.* 31:2939-2958.
- García, O. Fernando. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. *IPNI*, 6 pág.
- Gómez-Heras, M., Smith, B.J., Fort, R., 2008, Influence of surface heterogeneities of building granite on its thermal response and its potential for the generation of thermoclasty: *Environmental Geology* 56 (3-4), 547–560.
- González Chávez, M.C.A.; Carrillo González, R.; Sánchez López, A.S. 2017. Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitorremediación de suelos. *Agroproductividad* 10(4): 3-7.
- Graetz, A. 1990. Suelos y Fertilización. Suelos y Agua. 2da Edición Trillas. México. 80 p.
- Hall, K., André, M.F., 2003, Rock thermal data at the grain scale: applicability to granular disintegration in cold environments: *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 823–836.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D. Fertilidad del suelo y fertilizantes: una introducción al manejo de nutrientes. 8 ed. Nuevo Jersey (USA): Pearson, 2014. 516 p.
- INEC. (2012). INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS - *ECUADOR*. Obtenido de Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclaturas (SIN): http://www.inec.gob.ec/estadisticas/SIN/ficha_pa.php
- INTAGRI. 2017. Los Factores de Formación del Suelo. Serie Suelos. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

- Jopony, M. Y Young, S.D. 1994. La solución sólida equilibra el plomo y el cadmio en suelos contaminados. *Revista Europea de Ciencia del Suelo*, 45(1), 59-70.
- Jungenheimer, W. R. (1988). *Varietades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas*. S.A. México D.F.: Limusa.
- Kabata-Pendias, A. 2004. Transferencia suelo-planta de oligoelementos: un problema ambiental. *Geoderma*, 122(2):143-149.
- Kass, D. C. 1998. *Fertilidad de los suelos*. Costa Rica: EUNED.
- Khasawneh, F. E. 1980. *El papel del fósforo en la agricultura*. Sociedad Americana de Agronomía, Inc. Crop Science of America, Inc. Sociedad de Ciencias del Suelo de America, Inc.
- Lazcano Ferral, I. marzo de 2000. La interacción del fósforo y otros nutrientes. *Informaciones Agronómicas INPOFOS/PPI/ PPIC*.
- León F., J., Viteri D., P., & Mejia C., A. (2004). *Guía Para la Determinación de Deficiencias Nutricionales en Babaco*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Lindsay, W.L. 1979. *Equilibrios químicos en suelos*. John Wiley and Sons Ltda.
- Lorente Herrera, Juan B. (1998). *Biblioteca de la agricultura*. Idea Books.
- Mcbride, M. B. (1997). *Química ambiental de suelos*. Oxford Univ. Prensa. ESTADOS UNIDOS. 416.
- McClean, J. E. y Bledsoe, B. E. (1992). *Comportamiento de metales en suelos*. Washington, Estados Unidos. Agencia de Protección Ambiental (EPA). Emisión de agua subterránea, EPA 540-S-92-018, 25.
- Mortvedt, J.J. (2000). Biodisponibilidad de micronutrientes. *Manual de ciencia del suelo*. Ed. en jefe ME Sumner. CRC Press LLC, Boca Ratón, FL. D71 – D86.
- Mottana, A. (1977). *Minerales y Rocas*. Barcelona, España: Grijalbo.
- Naidu, R.; R.S. Kookana; M.E. Sumner; R.D. Harter Y K.G. Tiller. 1997. Sorción y transporte de cadmio en suelos de carga variable: una revisión. *J. Environ. Qual.* 26:602-607.

- Navarro García, G., y Navarro García, S. (2013). *Química agrícola química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (Tercera Edición ed.). Madrid, España: MUNDIPRENSA.
- Oliver, D.P.; K.G. Hannan; K.G. Tiller; N.S. Wilhem; R. H. Merry Y G.D. Cozens. 1994. El efecto de la fertilización con zinc sobre la concentración de cadmio en el grano de trigo. *J. Environ. Qual.* 23:705-711
- Pardo, M.T. 1997. Influencia del electrolito en la interacción de cadmio con andisoles y alfisoles seleccionados. *Sci. De suelo.* 162:733-740.
- Pardo, M.T. y M.E. Guadalix. 1995. absorción de cadmio por dos suelos ácidos afectados por la limpieza y el cultivo. *Com. Sci. De suelo. Planta anual* 26:289-302.
- Poehlman, M. I. (1969). *Mejoramiento Genético de las Cosechas*. Editorial LIMUSA. Weley S.A. México. México: LIMUSA. Weley S.A.
- Ramos Miras, J. J. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos de invernadero de poniente almeriense. Almería.
- Rice, A., 1976, Insolación calentada: *geología*, 4, 61–62
- Richardson, A; Simpson, R. 2011. Microorganismos del suelo que median la disponibilidad de fósforo. *Fisiología de las plantas*.
- Ritchie, G.S.P., Sposito, G. (1995). Especiación en suelos. *Especiación química en el medio ambiente*, A.M. Ure, C.M. Davidson (Eds.). Blackie Academic & Professional, Glasgow. 201-233
- Robinson, D.A., Williams, R.B.G., 1989, Grietas poligonales de arenisca en Fontainebleu, Francia: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33, 59–72.
- Samuel L. Tisdale 1988. *fertilidad de los suelos y fertilización* primera edición.
- Smilde K.W.; B. Van Luit Y W. Van Driel. 1992. La extracción por tierra y la absorción por las plantas de zinc y cadmio aplicados. *Suelo vegetal* 143:233-238.
- Smith, B.J., 1977, Mediciones de la temperatura de las rocas del Sahara noroeste y sus implicaciones para la meteorización de las rocas: *Catena*, 4 (1-2), 41–63.
- Suarez. (2007). *Conservación de Suelos*. Costa Rica.

- Thompson, L. M., y Troeh, F. R. (1988). Los suelos y su fertilidad. Barcelona, España: REVERTÉ S.A.
- Tisdale S.L., Werner L. Nelson., James D. Beaton., Jhon L. Havlin. 1993. Fertilidad del suelo y sus fertilizantes. McMillan Publishing Company, Nueva York.
- Varela, R. (2014). Manual de Geología. La Plata, Buenos Aires, Argentina: INSUGEO.
- Velez Moreno, L. M. (2008). Materiales industriales teoría y aplicaciones. Medellin: Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM.
- Vidal Romani, J.R., Twidale, C.R., 2010, Control estructural o climático en formaciones de granito. El desarrollo de la estructura laminar, foliación, boudinage y características relacionadas: Cadernos do Laboratorio Xeológico de Laxe, 35, 189–208.
- Welch, R.M.; J.J. Hart; W.A. Norvell; L.A. Sullivan y L.V. Kochian. 1999. Efectos de la actividad del zinc en la solución nutritiva sobre la absorción neta, la translocación y la exportación de raíces de cadmio y zinc por secciones separadas de trigo duro intacto (*Triticum turgidum* L. var durum plántulas raíces. Suelo vegetal 208:243-250.
- Zapata, H. R. 2006. Química de los Procesos Pedogenéticos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 358 p.

ANEXOS



Figura 9. Recolección de tierra agrícola.



Figura 10. Molienda y tamizado de la roca esquisto.



Figura 11. Mezcla de la roca esquisto con la tierra agrícola.



Figura 12. Ubicación de los tratamientos en estudio y siembra del maíz.



Figura 13. Crecimiento de las semillas.



Figura 14. Crecimiento de maíz a los 60 días.



Figura 15. Cosecha de las plantas para el análisis foliar por tratamientos.



Figura 16. Visita de los jurados al vivero.



Figura 17. Sistema radicular del maíz.

Tabla 15. Análisis de suelo.

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS							
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES		
									1:1	%	%
T ₁	200	0,50	I	4,1 7	1,32615385	0,05967692	4,22369122	90,3846154	2,82	1	1,7975
	200	0,50	II	4,4 1	2,12184615	0,09548308	8,74907467	112,8	2,27	1,03333333	1,1504
	200	0,50	III	4,1	1,59138462	0,07161231	2,77556852	71,5846154	10,78	1,7	1,83345
T ₂	400	0,50	I	4,3 6	2,38707692	0,10741846	3,62030676	102,676923	1,515	0,91666667	0,7909
	400	0,50	II	4,5 3	2,38707692	0,10741846	4,52538345	125,092308	2,175	1,075	0,8628
	400	0,50	III	4,4 4	2,12184615	0,09548308	4,52538345	83,8769231	2,075	0,95	1,2942
T ₃	600	0,50	I	4,3	1,85661538	0,08354769	2,47387629	89,6615385	1,24	0,73333333	1,61775
	600	0,50	II	4,5	1,85661538	0,08354769	3,8013221	101,230769	2,63	1,15833333	0,719
	600	0,50	III	4,4 5	2,12184615	0,09548308	3,25827608	85,3230769	1,945	0,86666667	1,33015

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS							
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES		
									1:1	%	%
T ₄	800	0,50	I	4,5	1,06092308	0,04774154	6,57689062	84,6	2,03	1,108333333	1,0785
	800	0,50	II	4,5 8	1,06092308	0,04774154	5,61147548	78,0923077	12,55	1,141666667	1,5099
	800	0,50	III	4,1 8	0,79569231	0,03580615	7,72332109	130,153846	0,385	0,608333333	1,9413
T ₅	200	1,18	I	4,3 6	2,12184615	0,09548308	4,28402967	110,630769	1,09	0,758333333	1,1504
	200	1,18	II	4,5 9	1,06092308	0,04774154	2,83590696	88,9384615	3,31	1,083333333	1,2942
	200	1,18	III	4,4 9	1,59138462	0,07161231	3,13759919	75,9230769	0,92	0,708333333	1,3661
T ₆	400	1,18	I	4,4 1	1,59138462	0,07161231	3,19793764	73,0307692	10,21	2,225	1,7256
	400	1,18	II	4,2 6	1,59138462	0,07161231	4,88741413	92,5538462	0,68	0,825	1,3661
	400	1,18	III	4,1	1,85661538	0,08354769	3,25827608	103,4	0,575	0,675	1,9413

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS								
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES Cmol(+)/kg			
				1:1	%	%	Ppm	kg/ha	Ca	Mg	Al	
				1								
	600	1,18	I	4,6 1	1,85661538	0,08354769	4,94775257	104,123077	2,41	1,19166667	0,5033	
T ₇	600	1,18	II	4,3 5	0,53046154	0,02387077	3,68064521	67,9692308	1,3	0,925	0,9347	
	600	1,18	III	4,3 9	1,59138462	0,07161231	3,31861453	86,0461538	4,365	1,31666667	1,11445	
	800	1,18	I	4,3 2	1,59138462	0,07161231	10,1368589	130,153846	1,08	0,84166667	1,3661	
T ₈	800	1,18	II	4,1 7	1,59138462	0,07161231	3,43929142	111,353846	4,67	1,35833333	1,73279	
	800	1,18	III	4,1 3	1,85661538	0,08354769	9,65415136	125,092308	1,595	0,81666667	1,7256	
	200	2	I	4,0 3	1,85661538	0,08354769	5,00809102	158,353846	0,865	0,65833333	2,2289	
T ₉	200	2	II	4,2	1,59138462	0,07161231	4,70639879	82,4307692	0,925	0,66666667	2,157	

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS							
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES Cmol(+)/kg		
				1:1	%	%	Ppm	kg/ha	Ca	Mg	Al
T ₁₀	200	2	III	4,2 8	1,32615385	0,05967692	3,49962987	91,8307692	3,375	1,39166667	1,47395
	400	2	I	4,4 5	1,59138462	0,07161231	11,9470123	130,876923	7,39	1,65	1,04255
	400	2	II	4,2 1	2,65230769	0,11935385	5,67181393	94	1,225	0,74166667	2,157
	400	2	III	4,3	1,85661538	0,08354769	5,30978325	158,353846	0,715	0,96666667	0,719
	600	2	I	4,4 7	1,32615385	0,05967692	5,2494448	102,676923	2,255	1,125	0,68305
T ₁₁	600	2	II	4,1 6	2,65230769	0,11935385	2,77556852	81,7076923	0,72	0,66666667	1,7975
	600	2	III	4,3	1,59138462	0,07161231	3,49962987	127,984615	1,08	0,95	1,0066
	800	2	I	4,3 2	2,38707692	0,10741846	3,74098365	84,6	5,765	1,36666667	1,25825
T ₁₂	800	2	II	4,1	2,12184615	0,09548308	3,92199899	104,846154	0,45	0,64166667	1,7975
	800	2	III	4,4	1,32615385	0,05967692	4,16335277	148,230769	2,615	1,13333333	1,0066

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS								
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES Cmol(+)/kg			
				1:1	%	%	Ppm	kg/ha	Ca	Mg	Al	
				7								
	200	4,75	I	4,6 3	1,59138462	0,07161231	2,29286095	95,4461538	2,87	1,14166667	0,6471	
T ₁₃	200	4,75	II	4,3 4	2,38707692	0,10741846	3,13759919	111,353846	4,165	1,5	1,0785	
	200	4,75	III	4,3 4	2,12184615	0,09548308	4,04267588	86,7692308	2,175	0,8	1,3661	
	400	4,75	I	4,6 3	1,59138462	0,07161231	4,5857219	86,0461538	2,505	1,775	0,68305	
T ₁₄	400	4,75	II	4,3 4	1,59138462	0,07161231	3,49962987	75,9230769	4,775	1,36666667	1,9413	
	400	4,75	III	4,4 3	1,06092308	0,04774154	3,86166054	89,6615385	5,085	1,24166667	2,33675	
	600	4,75	I	4,3	2,12184615	0,09548308	5,61147548	80,9846154	4,715	1,35	1,15759	
T ₁₅	600	4,75	II	4,4 4	1,59138462	0,07161231	3,74098365	121,476923	3,33	1,16666667	0,82685	

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	SUELOS							
				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES		
									1:1	%	%
	600	4,75	III	4,2 3	2,38707692	0,10741846	5,91316771	99,0615385	0,535	0,65	2,157
	800	4,75	I	4,4 4	1,59138462	0,07161231	3,31861453	100,507692	2,545	1,1	0,8628
T ₁₆	800	4,75	II	4,1 3	2,38707692	0,10741846	5,73215237	75,2	4,375	0,7	1,8694
	800	4,75	III	4,1 3	1,59138462	0,07161231	8,20602866	137,384615	0,945	0,76666667	1,68965
	0	0	I	4,3 5	1,59138462	0,07161231	3,19793764	93,2769231	1,065	0,88333333	1,438
T ₁₇	0	0	II	4,3 8	2,38707692	0,10741846	5,79249082	94,7230769	3,265	1,14166667	0,97065
	0	0	III	4,2 9	2,65230769	0,11935385	3,8013221	91,8307692	1,475	0,75833333	1,04255

Tabla 16. Análisis foliar.

Tratamie ntos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloq ue	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
T ₁	200	0,50	I	1,50358	0,40922	0,88350	0,36726	0,02276	0,83178	664,183	140,285	64,3492	23,2774	4,96585
				143	202	921	671	019	15	737	537	655	674	971
	200	0,50	II	1,32203	0,49733	0,41248	0,16733	0,03853	0,60607	524,453	160,347	64,8842	16,2704	4,72943
				691	112	861	99	629	054	434	121	211	385	095
	200	0,50	III	1,63913	0,41415	0,76255	0,30379	0,01546	0,66586	1410,87	159,030	87,6109	20,4116	5,17301
				163	99	138	547	958	39	392	646	741	574	171
T ₂	400	0,50	I	1,86206	0,48007	0,31648	0,21125	0,00899	0,65588	1059,77	185,538	49,0880	15,1286	4,80442
				897	867	621	541	993	288	039	095	932	702	457
	400	0,50	II	1,86998	0,29214	0,80348	0,46256	0,00923	0,97101	250,709	179,204	48,6032	16,1991	4,92671
				71	415	848	256	286	446	157	898	282	026	908
	400	0,50	III	1,86391	0,38895	0,38495	0,16625	0,00911	0,61087	1260,00	206,357	47,7962	15,5620	4,91661
				438	901	433	162	126	694	962	953	178	687	694
T ₃	600	0,50	I	1,81569	0,48596	0,58366	0,40769	0,00836	0,99305	1038,65	177,380	43,3172	15,9809	4,54408

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				431	91	531	325	918	362	116	218	981	832	014
	600	0,50	II	1,92112	0,50122	0,55985	0,24135	0,00855	0,75938	988,345	132,997	73,5512	15,8191	4,84182
				937	325	707	511	123	611	304	407	789	08	017
	600	0,50	III	1,90919	0,39864	0,48059	0,15084	0,00925	0,66061	106,111	76,9759	45,9836	12,0680	4,68166
				931	04	206	51	95	46	297	328	256	754	979
	800	0,50	I	1,88009	0,44229	1,29047	0,46771	0,06483	1,09486	688,708	174,006	58,2488	11,9043	2,76356
				401	048	572	783	595	269	205	123	895	557	037
T ₄	800	0,50	II	1,21236	0,32518	1,04603	0,38274	0,40398	0,82026	217,269	104,092	39,4056	9,07113	2,54116
				733	981	59	889	072	656	82	082	42	316	578
	800	0,50	III	1,71995	0,27901	1,75434	0,35498	0,07513	0,87859	985,696	142,097	45,6224	12,3692	2,81747
				398	266	501	89	264	673	24	411	385	102	415
	200	1,18	I	1,52338	0,40650	0,86432	0,42969	0,00829	1,02446	1080,86	139,489	38,4190	12,2338	4,66877
T ₅				277	436	252	795	373	098	238	704	154	938	562
	200	1,18	II	1,77642	0,19681	0,41202	0,13149	0,01346	0,56953	698,802	44,5145	24,8491	9,93936	4,45263

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				255	124	308	957	077	511	8	513	598	797	251
	200	1,18	III	1,52628	0,30098	0,32621	0,17843	0,01272	0,67781	666,986	49,1413	26,2414	14,2614	4,56272
				765	673	357	975	52	753	666	02	764	482	761
	400	1,18	I	1,97693	0,94683	0,80705	0,14350	0,00853	0,72930	680,207	187,647	62,3533	17,0615	5,40967
				351	017	733	401	046	541	014	111	214	71	933
T ₆	400	1,18	II	1,45387	0,41382	1,01575	0,17308	0,04316	0,62691	712,943	141,926	43,5478	28,6893	5,22566
				465	533	838	447	375	523	908	409	827	837	53
	400	1,18	III	1,79093	0,27126	0,66161	0,23640	0,00932	0,65946	534,355	185,014	48,2196	16,2284	5,33986
					316	473	307	735	819	216	542	307	804	043
	600	1,18	I	1,83406	0,40136	1,02421	0,49009	0,04245	1,17003	1225,41	140,536	53,2829	13,0543	3,00422
				458	997	103	336	82	537	638	407	903	341	533
T ₇	600	1,18	II	1,83877	0,36830	1,55295	0,47642	0,03944	0,98089	522,847	127,303	43,9307	12,3511	3,11348
				958	641	591	955	789	81	259	277	67	644	771
	600	1,18	III	1,88905	0,34942	1,38985	0,36762	0,04019	0,82561	1207,91	161,547	40,1575	14,8489	3,19277

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				547	426	177	258	8	854	188	545	786	641	748
T ₈	800	1,18	I	1,87042	0,53711	0,96335	0,46210	0,01026	1,09142	1181,17	171,082	43,5317	78,5186	6,15811
				198	11	874	246	95	292	177	146	91	836	735
	800	1,18	II	1,65334	0,41753	0,78562	0,37310	0,00952	0,87397	561,641	153,633	58,7579	16,6057	5,28391
				855	013	034	522	944	826	487	459	355	94	683
	800	1,18	III	1,86533	0,48534	0,62417	0,39260	0,00920	0,86446	882,092	113,680	70,2840	21,7565	5,11516
				013	427	109	004	764	577	802	323	037	142	175
T ₉	200	2	I	1,73387	0,10708	0,16405	0,10314	0,01491	0,55978	403,640	11,7781	67,1781	12,3296	4,29399
				5	886	776	375	568	939	849	514	918	961	235
	200	2	II	1,71562	0,28822	0,45472	0,23673	0,01459	0,69033	327,436	84,2691	53,8023	10,5319	4,58819
				54	658	073	253	767	07	158	361	534	566	98
	200	2	III	1,76620	0,46914	0,47544	0,26959	0,02089	0,73354	420,062	66,4576	49,9477	12,4346	4,70219
				191	42	41	248	864	232	696	803	534	917	436
T ₁₀	400	2	I	2,19503	0,47112	1,61150	0,36063	0,03527	0,82608	1343,20	143,372	44,1701	15,8614	3,63205

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				747	846	503	084	561	56	848	976	408	226	464
	400	2	II	1,80429	0,32674	0,96773	0,30249	0,08404	0,73999	1125,16	144,084	35,5289	10,7132	3,64420
				075	715	062	41	873	646	966	088	133	121	466
	400	2	III	2,27275	0,59419	0,96095	0,32422	0,03616	0,73686	1262,93	126,953	55,4461	11,9954	3,83016
				937	141	819	273	674	97	703	214	364	035	912
	600	2	I	2,03306	0,58086	1,16885	0,41883	0,00925	1,03172	669,611	120,816	53,4083	13,6603	5,13674
				704	532	308	535	003	816	722	341	022	544	919
T ₁₁	600	2	II	2,05096	0,07801	0,09463	0,10589	0,00945	0,97305	290,131	7,36537	33,8934	5,92007	4,88277
				8	198	541	157	933	432	692	78	193	021	607
	600	2	III	2,09081	0,27145	0,49926	0,33332	0,01028	0,83209	556,499	93,6537	44,1348	29,2040	4,83197
				093	511	056	268	288	156	572	718	647	371	064
	800	2	I	1,79684	0,71335	1,32690	0,35027	0,03873	0,85880	1306,58	110,324	40,7953	13,5479	4,07154
T ₁₂				722	266	4	209	041	113	286	689	355	328	713
	800	2	II	1,33448	0,41050	1,01235	0,52618	0,02488	1,03211	1053,99	146,450	38,6790	11,4929	4,03145

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				478	223	172	385	051	9	345	196	352	146	087
	800	2	III	1,85204	0,31463	1,51101	0,37478	0,03233	0,84393	994,818	94,0670	41,7406	12,0061	4,07404
				281	998	026	455	36	566	297	196	813	878	951
	200	4,75	I	2,35374	0,40302	1,67584	0,38043	0,03938	0,94672	1738,47	122,368	49,4458	15,7263	3,62811
				393	98	574	833	378	385	603	774	225	927	621
T ₁₃	200	4,75	II	2,53826	0,30909	1,05335	0,29498	0,02901	0,79421	1828,86	259,662	218,594	24,8467	3,83344
				178	822	89	343	267	165	959	209	256	005	412
	200	4,75	III	1,95365	0,32531	1,19241	0,37885	0,03318	0,86342	1366,64	78,2121	48,4689	14,2119	4,56641
				609	029	465	011	563	048	502	891	845	969	44
	400	4,75	I	1,63892	0,42740	0,94491	0,38069	0,01657	1,00062	1294,80	114,630	42,2177	11,2979	4,25072
				097	337	309	992	781	559	722	332	558	515	507
T ₁₄	400	4,75	II	2,21943	0,30404	1,43499	0,34601	0,01657	0,87437	1390,62	131,586	43,7537	11,5280	4,56804
				132	255	575	24	535	004	802	871	129	147	789
	400	4,75	III	1,81241	0,33794	0,82106	0,39454	0,01142	0,88020	1423,20	100,151	43,2734	12,6548	4,77244

Tratamientos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloque	FOLIAR										
				RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				302	223	161	59	524	784	399	137	191	178	31
T ₁₅	600	4,75	I	1,98545	0,40863	1,73009	0,41731	0,06812	0,89133	1313,42	126,482	55,0471	13,1060	2,89019
				6	715	956	292	047	379	506	841	065	48	423
	600	4,75	II	1,49959	0,28832	1,35928	0,64461	0,06162	1,23059	796,071	107,405	44,2151	10,1312	3,02625
				995	166	185	764	781	313	664	093	133	511	858
	600	4,75	III	1,25701	0,20190	1,30726	0,24137	0,07599	0,67962	1074,77	60,3721	38,3615	11,3348	3,12089
				527	87	776	726	968	69	177	426	028	211	545
T ₁₆	800	4,75	I	1,86392	0,38012	1,30575	0,41629	0,14207	0,95261	1099,80	116,523	67,3326	13,6619	2,80836
				257	763	649	157	811	828	632	264	375	674	366
	800	4,75	II	1,42791	0,41660	1,81856	0,29347	0,14994	0,79085	1124,13	106,441	50,3203	10,5922	2,91961
				792	305	455	205	055	841	916	854	126	76	534
	800	4,75	III	1,72618	0,43854	1,96219	0,38599	0,10050	0,96412	957,057	147,729	73,8096	13,3686	3,02277
				207	058	291	141	007	829	994	002	836	848	711
T ₁₇	0	0	I	1,87417	0,46901	0,72865	0,50553	0,00819	0,99653	1157,32	103,386	46,5560	15,6548	5,02012

FOLIAR

Tratamie ntos	Nivel (K)	Tamaño (mm)	Bloq ue	RAIZ - TALLO - HOJA										
				N (%)	P %	K %	Mg (%)	Na (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
				443	72	348	499	69	223	738	824	597	467	042
