



**EVALUACIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO MEJORADO CON ROCA FOSFÓRICA Y
MICROORGANISMOS PARA LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA DEL MAÍZ (*Zea Mays*)**

PRESENTADO POR:

**FELIPE PINEDA VELANDIA
ALAN VERGARA CALDAS**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE EIDENAR
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2020**



**EVALUACIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO MEJORADO CON ROCA FOSFÓRICA Y
MICROORGANISMOS PARA LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA DEL MAÍZ (*Zea Mays*)**

PRESENTADO POR:

**FELIPE PINEDA VELANDIA
ALAN VERGARA CALDAS**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

DIRECTORA:

**MARTHA CONSTANZA DAZA TORRES
INGENIERA AGRÍCOLA M. Sc., Ph.D. EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE EIDENAR
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2020**

DEDICATORIA

A mis padres y hermano, quienes son el motor de mi vida. Gracias por guiarme, comprenderme y apoyarme constante e incondicionalmente a lo largo de mi desarrollo académico y vida en general. Este logro hace un poco de justicia a su incansable esfuerzo por guiarme hacia un mejor futuro. Gratitud infinita.

FELIPE PINEDA

Dedico este trabajo a mis padres y familiares, quienes con su esfuerzo han contribuido en mi proceso de formación. Especialmente agradezco a mi mamá y a mi abuela quienes de manera sobredimensionada se han esforzado para que sea posible lograr mi título universitario.

ALAN VERGARA

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a nuestra tutora y guía a lo largo de este proyecto, la profesora Martha Daza. Quien nos brindó sus conocimientos y sabiduría desde el primer momento.

A Catherine Gómez, por su disposición y apoyo durante la fase experimental y analítica en laboratorio.

Al programa de Ingeniería Agrícola, por formarnos como excelentes profesionales y permitirnos ser personas útiles a la sociedad.

TABLA DE CONTENIDO

1.0 INTRODUCCIÓN	1
2.0 OBJETIVOS	2
3.0 JUSTIFICACION.....	2
4.0 MARCO TEÓRICO	4
5.0 EXPERIENCIAS RELACIONADAS CON LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA TANTO QUÍMICA COMO BIOLÓGICA.....	11
6.0 METODOLOGÍA.....	14
7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES	19
8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
9.0 BIBLIOGRAFÍA.....	29
11.0 ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Principales fertilizantes fosfóricos usados en la agricultura.....	8
TABLA 2. Requerimientos nutricionales del maíz	10
TABLA 3. Métodos usados para análisis fisicoquímico del suelo (IGAC, 2006)	14
TABLA 4. Ficha técnica Lombrisol	15
TABLA 5. Ficha técnica de la roca fosfórica.....	15
TABLA 6. Ficha técnica de las micorrizas	15
TABLA 7. Requerimiento de P en el cultivo de maíz.....	17
TABLA 8. Variables agronómicas	17
TABLA 9. Covariables medidas en el experimento (IGAC, 2006)	17
TABLA 10. Porcentajes de micorrización	23

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Relaciones entre el ciclo del fósforo y los comportamientos orgánicos y minerales	4
FIGURA 2. Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de P. INTAGRI (2017a)	6
FIGURA 3. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la longitud de raíz....	20
FIGURA 4. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la altura de la planta y el diámetro del tallo	21
FIGURA 5. Efecto de un abono compuesto por RF+HMA+HL en la masa fresca (aérea) de un suelo ácido	22
FIGURA 6. Efecto de un abono compuesto por RF+HMA+HL en el rendimiento seco de biomasa...	23
FIGURA 7. Efecto de la aplicación del abono mejorado compuesto por RF+HMA+HL en el P foliar de un suelo ácido	24
FIGURA 8. Efecto de la aplicación del abono compuesto de RF+HMA+HL en el fósforo disponible de un suelo ácido	25
FIGURA 9. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en el pH de un suelo ácido	26
FIGURA 10. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la conductividad eléctrica de un suelo ácido	26
FIGURA 11. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la Materia Orgánica (%) de un suelo ácido	27

PALABRAS CLAVES: maíz, micorriza, fósforo, nutriente, fijación, fertilizante, raíz, tratamiento.

RESUMEN: Se llevó a cabo una investigación para analizar un abono orgánico mejorado para la fertilización fosfórica del maíz (*Zea mays*) tres tratamientos, la investigación se llevó a cabo en la granja experimental del laboratorio de aguas y suelos agrícolas de la universidad del valle, sede Meléndez, Cali, Colombia. Se analizaron 3 tratamientos con cuatro repeticiones en materia: T1: tratamiento químico (DAP) T2: abono orgánico mejorado (abono orgánico, roca fosfórica y microorganismos) T3: tratamiento testigo, se encontró que en las variables masa fresca y masa seca el mejor desempeño lo obtuvo el T1. En la variable eficiencia de micorrización el mejor resultado lo obtuvo la repetición 1 del T3. Se encontró que las variables fósforo foliar, eficiencia de fertilización y conductividad eléctrica no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre el T1 y T2. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre T1 y T2, y entre T2 y T3 para la variable materia orgánica. Al terminar la investigación el mayor valor de pH se presentó en el T1.

1.0 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea Mays*) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas y se cree que tuvo su origen en el antiguo territorio mexicano, puesto que una de las evidencias más remotas, de 7000 años de antigüedad, se halló en el valle de Tehuacán (México). El proceso de crecimiento de este cereal se divide en dos fases: vegetativa y de reproducción. En la primera fase, se lleva a cabo el desarrollo de los tejidos hasta que emergen las estructuras florales; además, en ella se dan el primer y segundo ciclo, en los cuales se forman las primeras hojas y se desarrollan los órganos de reproducción, respectivamente. La fase de reproducción o segunda fase inicia cuando se fertilizan las estructuras femeninas, en la primera etapa de esta, se lleva a cabo la ganancia de peso a nivel foliar y estructuras florales y, en la segunda etapa sucede la ganancia de peso en los granos.

El maíz es un cereal ampliamente difundido en el mundo, con una producción total anual mundial de 1,147 millones de toneladas en 2018, la mayor entre todos los cereales (FAO, 2018). Es un alimento básico en muchos países y tiene múltiples aplicaciones como alimento animal y usos industriales. El territorio nacional colombiano se caracteriza por ser un importante productor agrícola de la región latinoamericana, aportando gran variedad de cultivos, entre ellos el maíz (forrajero, tradicional y tecnificado), que ocupa un área cosechada de 653,184 hectáreas en 2017 (MADR, 2017a). Por tal razón, gran parte de la gastronomía tradicional gira en torno a este grupo de cereales, es así como se pueden encontrar platos típicos elaborados a base de maíz como la mazorca asada, la arepa, el envuelto de choclo y el mote, entre muchos otros.

Uno de los problemas a los que se ven enfrentados los agricultores es la baja disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo, razón por la cual la gran mayoría opta por aplicar tratamientos químicos con el fin de suplir los requerimientos de sus cultivos, pero esta práctica genera un aumento de los costos y la degradación del suelo, es entonces cuando se hace necesario replantear el modelo actual empleado en la producción agrícola.

Desde un enfoque agroecológico surgen alternativas para dar un mejor manejo a los cultivos, un ejemplo son las enmiendas orgánicas, las cuales aportan nutrientes a los cultivos a la vez que contribuyen a recuperar las propiedades del suelo. En este trabajo, se llevará a cabo la evaluación de un abono orgánico mejorado con roca fosfórica y microorganismos para la fertilización fosfórica del maíz (*Zea mays*) para determinar la eficiencia de dicha enmienda.

2.0 OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar un abono orgánico mejorado con roca fosfórica y microorganismos para la fertilización fosfórica del maíz (*Zea mays*).

Objetivos Específicos:

Determinar la eficiencia de un abono orgánico mejorado con roca fosfórica y microorganismos para la fertilización fosfórica del maíz (*Zea mays*).

Determinar propiedades químicas y biológicas del suelo después de la cosecha de maíz fertilizado con un abono orgánico mejorado.

3.0 JUSTIFICACION

El fósforo (P) es uno de los tres macronutrientes esenciales para las plantas, debido a su participación en procesos metabólicos de vital importancia como la fotosíntesis, el transporte de energía, la síntesis y degradación de carbohidratos; el P también participa en funciones estructurales en las macromoléculas como los ácidos nucleicos, razón por la que las plantas lo requieren en grandes cantidades: 0.1% - 0.5 % (Múnera y Meza, 2014). Las plantas absorben el P mayoritariamente durante su etapa de crecimiento mediante el sistema radicular, consecutivamente este es transportado a los frutos y demás estructuras vegetales. Debido a esto, cuando hay ausencia de fósforo, existen marcadas diferencias en el desarrollo de las plantas, en las que se incluyen bajos tanto desarrollo foliar como el crecimiento del tallo. En algunas especies se presenta coloración morada, escaso tamaño de frutos, entre otras.

El contenido de P en los suelos es bajo, puesto que este elemento procede sólo de la descomposición de la roca madre durante la meteorización, y representa aproximadamente un 0.1% de la corteza terrestre (Alzate y Campiño, 2014). La industria que comercializa fertilizantes fosfóricos usa como materia prima la roca fosfórica, la cual no es renovable; los depósitos que cuentan con la mayor producción mundial de roca fosfórica se hallan en Marruecos y otros países de África, en los Estados Unidos de América, en el Cercano Oriente y en China (Zapata y Roy, 2007).

Uno de los aspectos relevantes en un cultivo es la fertilización fosfórica, ya que un mal manejo de la dosis a aplicar puede llevar a bajos rendimientos y pérdidas económicas. Cuando se lleva a cabo la fertilización fosfórica, gran parte del fertilizante aplicado no cumple su objetivo (servir de alimento a la planta), ya que su componente principal, el fósforo (P), fácilmente reacciona con los demás elementos presentes en la solución del suelo (ácido o cálcico) lo que genera procesos de precipitación, óxido-reducción o fijación. Una vez generados estos procesos, el P toma formas químicas no asimilables por las plantas, como el ion ortofosfato trivalente. Estas reacciones reducen la eficiencia del uso del fertilizante, y por tanto los rendimientos y la rentabilidad de los cultivos se ven afectados.

Por otro lado, la población mundial era de 7600 millones de personas en el año 2017, y podría llegar a los 9800 millones para el año 2050 (ONU, 2017). Esto tiene repercusiones importantes, debido a que se requiere mayor productividad agrícola, por ende, se genera una mayor demanda de fertilizantes

fosfóricos, y debido a la naturaleza del fósforo se hace necesario aumentar la eficiencia de la fertilización. Sumado a lo anterior, las fuentes fosfóricas son escasas y han llegado a un punto de agotamiento de la roca fosfórica, materia prima de los fertilizantes fosforados.

Si se tiene en cuenta la complejidad en el manejo del P y técnicas ancestrales, como las prácticas agroecológicas, se podría llegar a reducir la dosis de fertilización fosfórica, al utilizar como alternativas los abonos orgánicos, como compost, vermicompost, gallinaza, entre otros. El uso de estas enmiendas reduciría la tasa de contaminación respecto a los compuestos químicos que tienen los abonos convencionales. Sin embargo, estos abonos tienen bajos contenidos de P, que difícilmente podrían satisfacer completamente los requerimientos de los cultivos de alto rendimiento.

Una alternativa favorable es acompañar los abonos orgánicos con otras estrategias que permitan aumentar y optimizar su eficiencia, como el uso de fertilizantes minerales y microorganismos (Escudero y Arias, 2012). Cada una de estas estrategias han sido estudiadas por separado y se han obtenido buenos resultados (Báez y Marín, 2015), pero existen pocos estudios de su combinación en cultivos de cereales como el maíz, planta de gran envergadura, por ser junto al trigo y el arroz, uno de los tres cultivos que aporta el 50 % del alimento consumido por la humanidad.

En el 2016, el área cosechada de maíz tradicional en territorio colombiano fue de 336.602 ha y su rendimiento fue de 1,45 t/ha (MADR, 2016), donde los departamentos de Bolívar, Córdoba y Antioquia son los de mayor producción. De ahí la importancia de aportar un fertilizante que supla las deficiencias que se generan en el suelo en cuanto a cantidad y disponibilidad de P, pues no basta con que esté presente en el suelo, también es necesario que esté en formas químicas disponibles para las plantas, como el ion fosfato primario ($H_2 PO_4$) y secundario (HPO_4^{2-}) (Múnera y Meza, 2014).

La producción de roca fosfórica para el 2014 fue de 30,000 Ton (ANM, 2014), y esta cifra va en aumento debido a la demanda para la producción de fertilizantes en el país. Para el año 2012, Colombia se ubicó en el tercer puesto en América del Sur como productor de roca fosfórica, con 75,000 Ton anuales (ANM, 2014). A nivel nacional las fuentes de roca fosfórica provienen de arenitas fosfóricas ubicadas a lo largo de la Cordillera Oriental y el contenido de P_2O_5 en estas arenitas varía entre el 20% y el 30% (ANM, 2014). Para el año 2014, la producción de roca fosfórica por departamento fue representada por Boyacá, Huila, Norte de Santander y Cauca, con valores de 21.541 Ton, 6.802 Ton, 2.000 Ton y 53 Ton, respectivamente (ANM, 2014).

Sin embargo, el uso de abonos orgánicos mejorados, es decir, combinados con roca fosfórica y micorrizas, no se ha estudiado lo suficiente en Colombia, esta situación ofrece la oportunidad de llegar a una posible reducción en costos de fertilización, menor contaminación, enriquecimiento del suelo por efecto residual, entre otras. Debido a esto, el objetivo de este proyecto es evaluar un abono orgánico mejorado con roca fosfórica y microorganismos para la fertilización fosfórica del maíz (*Zea mays*).

4.0 MARCO TEÓRICO

4.1 CICLO DEL FÓSFORO

El fósforo en su estado natural proviene de la apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) y de los depósitos naturales de fosfatos; a partir de allí, procesos como la erosión, lixiviación, meteorización y la extracción humana contribuyen a su esparcimiento.

Gran parte del P presente en los ecosistemas se ubica en el suelo y su contenido fluctúa entre 100 a 3000 mg /kg de P. Entre un 15% y un 80% de dicho contenido se encuentra en formas orgánicas (Po), lo que depende de la naturaleza del material parental, el grado de precipitación y las pérdidas de este entre otros (Cerón y Aristizábal, 2012).

Los fosfatos liberados por las apatitas son absorbidos por las plantas y la biomasa microbiana, posteriormente se incorpora en la materia orgánica de los suelos y sedimentos y nuevamente se deposita en minerales poco solubles (Cerón y Aristizábal, 2012). Allí se da un proceso de “reciclado del nutriente”, el cual está impulsado por los procesos de mineralización y de esta manera el P se transforma a las formas HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- . En este punto, el fósforo es usado por organismos autótrofos, heterótrofos y descomponedores que permiten la secuencia del “reciclado” (Figura 1).

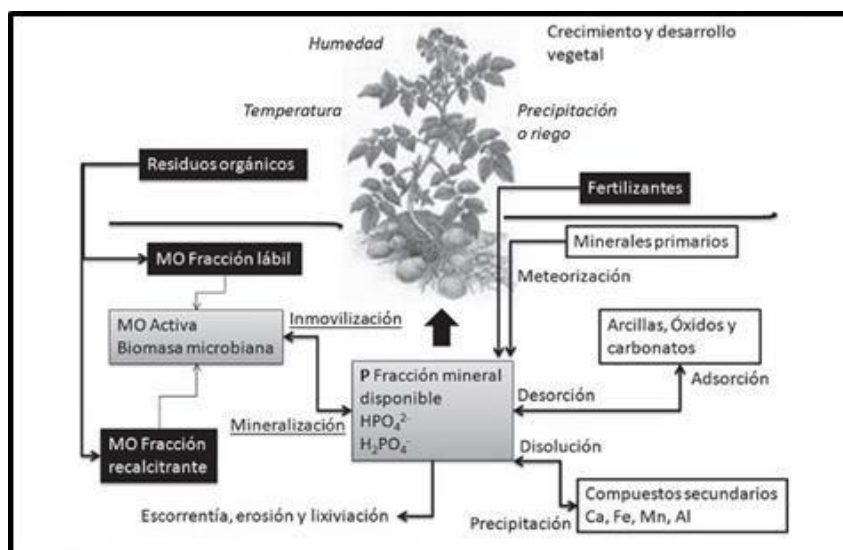


FIGURA 1. Relaciones entre el ciclo del fósforo y los comportamientos orgánicos y minerales.
Tomada de: Cerón y Aristizábal, 2012.

4.2 FÓSFORO EN EL SUELO

Uno de los lugares donde se puede encontrar el P es en el suelo, en el cual ocurren interacciones químicas con otros elementos y diversas especies animales y vegetales. A su vez este elemento puede estar presente de forma orgánica e inorgánica, esta última consiste primordialmente de fosfato, de hierro y aluminio y fosfatos ocluidos relativamente insolubles, en los cuales el fósforo se encuentra asociado con el hierro y aluminio; además, las formas del fósforo inorgánico presentes en un suelo están relacionadas con el grado de meteorización química que haya tenido lugar (Múnera y Meza, 2014). La fracción orgánica se puede presentar como restos de plantas, humus, excreciones animales y biomasa microbiana entre otros.

La clasificación del fósforo en suelo se puede hacer con base a su disponibilidad: soluble, insoluble e intercambiable. El P soluble es aquel que se encuentra en formas asimilables para las plantas. El P insoluble es aquel que no está disponible para la planta debido a que forma parte de minerales primarios y secundarios, por lo cual es imposible de absorber por las raíces. Por último, el P intercambiable hace referencia a la fracción de elemento cuya disposición es más retardada que la del P soluble y se encuentra en el complejo de cambio de las arcillas. En general, la movilidad y concentración del fósforo en los suelos es muy baja si se compara con la de otros nutrientes; se presentan coeficientes de difusión del fosfato en el suelo de $0,3-3,3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ y su concentración en la solución del suelo es de 0,02 mg/kg (Beltrán, 2014). Debido a esto, se presenta la necesidad de aplicación de fertilizantes fosfóricos para suplir la demanda del nutriente en los cultivos.

4.3 FIJACIÓN DEL FÓSFORO

Se denomina fijación al proceso que se encarga de transformar al fósforo de su estado asimilable a su estado no asimilable; esta transformación, entre otros factores, está gobernada por las variaciones de pH (Figura 2); en el caso de suelos ácidos este proceso se lleva a cabo por las reacciones de este elemento con otros, como el hierro (Fe) y el aluminio (Al), lo que significa que, a mayor concentración de estos elementos, mayor será la fijación de P. En los suelos ácidos y alcalinos es muy común que el fósforo lleve a cabo reacciones de precipitación que resulta en compuestos fosforados de baja solubilidad. El fósforo inorgánico (Pi) se presenta generalmente fuertemente fijado en forma de fosfatos de Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} y Al^{3+} , especialmente en arcillas del grupo de las caolinitas y ocluido en los óxidos de hierro y aluminio (Cerón y Aristizabal, 2012).

En el caso de suelos ácidos dominados por arcillas de carga permanente (montmorillonita, vermiculita, illita, etc.) el siguiente paso es la formación de fosfatos de hierro y aluminio. En estos suelos la reducción en pH (incremento en acidez) permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia se liberan Al y Fe que reaccionan con el fosfato para formar compuestos bastante insolubles (Fixen, 2014).

Cuando se lleva a cabo la fertilización fosfórica de un cultivo, es normal que sucedan reacciones químicas que tendrán como resultado la fijación del fósforo y por ende se limita su disponibilidad para las plantas, en consecuencia, a medida que pasa el tiempo las reacciones químicas seguirán teniendo lugar en el suelo y el fósforo seguirá generando compuestos fosfatados insolubles y no asimilables para las plantas; La fracción de P lábil disminuye a través de la extracción de los cultivos y praderas y, por su transformación a formas de P no lábiles inorgánicas (etapa de reacción lenta con la fase sólida del suelo, ya que a través del tiempo una menor fracción del P aplicado al suelo permanece en el pool lábil) u orgánicas (inmovilización) (Vistoso *et al*, 2017).

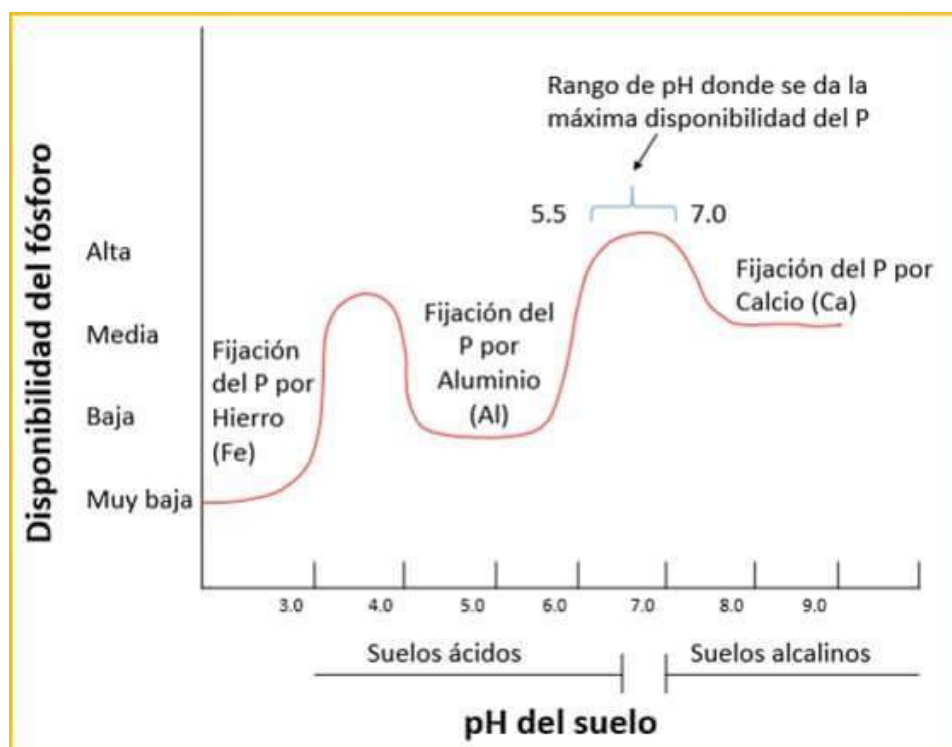


FIGURA 2. Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de P. INTAGRI (2017a).

Tomada de: <https://www.intagri.com/index.php/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>

4.4 ADSORCIÓN DE FOSFATO

Otro proceso en el cual los fosfatos participan es la adsorción, en la cual las formas ionizadas del P son atrapadas o retenidas en una superficie, en este caso la del suelo. La capacidad del suelo de retener cationes y aniones solubles para la planta depende de la carga del ion. En general, existe una relación directa entre la valencia del ion y la fuerza con que es retenido por los sitios de intercambio; en este sentido, los cationes trivalentes se adsorben más firmemente que los bivalentes, y éstos a su vez son retenidos con más fuerza que los monovalentes (Sadeghian y Zapata, 2012). La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una propiedad que representa las cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y hace referencia a la cantidad de cationes que la superficie pueda retener. La CIC indica la capacidad del suelo de retener cationes y nutrientes disponibles para la planta; un suelo con baja CIC representa un suelo con poca capacidad de retención de cationes y nutrientes disponibles para la planta y es usualmente propia de suelos arenosos. Un suelo con textura arcillosa es el suelo ideal para esta propiedad, ya que tiene carga neta negativa. A su vez, la materia orgánica favorece a la retención de cationes, lo cual se puede corroborar en los resultados de investigación obtenidos por Sadeghian y Zapata (2012), donde se concluye que: en suelos de carga variable, la CIC presenta una alta dependencia del carbono orgánico (más no es una medida de la capacidad real del suelo para retener cationes de cambio), además de que en suelos con $CO < 5\%$, la fracción arcilla puede ser un buen indicador de la retención de los cationes intercambiables.

En complemento a la CIC, la capacidad de intercambio aniónico CIA es a la aptitud que tiene el suelo para retener los aniones (con carga negativa); algunas de las moléculas que contribuyen al intercambio aniónico son los oxihidróxidos de hierro y las moléculas de aluminio, debido a que estas poseen carga negativa; de igual manera, este proceso es desempeñado por los minerales de carga variable, un

ejemplo de estos es la caolinita, misma que en un medio ácido tiende a ceder parte de sus oxidrilos con el fin de neutralizar la acidez y en un medio alcalino tenderá a perder sus protones; esto significa que cuando la solución del suelo posee un pH ácido la arcilla actúa como intercambiadora de aniones y en presencia de un pH básico actúa como intercambiadora de cationes. Esta capacidad de intercambio se conoce con el nombre de carga variable.

4.5 FÓSFORO EN LA PLANTA

El P incide en procesos de suma importancia como son el almacenamiento y la transferencia de energía; es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos (Fernández, 2007). A diferencia de lo que sucede con el nitrógeno y el azufre, el P no se encuentra en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato, ya sea en forma libre o como compuestos orgánicos, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos de alta energía, como es el caso del ATP o del ADP (Recatume, 2016).

Por tanto, cuando una planta puede obtener las cantidades óptimas de este elemento, crecerá de manera apropiada y los tiempos de maduración serán más cortos en comparación con otras plantas de su especie que carecen de éste valioso nutriente. En el caso contrario, en el que la planta no pueda suplir su demanda de P, esta deficiencia se manifestará con un crecimiento lento, raquitismo, escasez de frutos y floración, y en algunas variedades el tono de sus hojas más viejas puede tornarse de color morado.

4.6 FERTILIZANTES FOSFÓRICOS DE SÍNTESIS INDUSTRIAL

Ante la baja disponibilidad de fósforo y su difícil manejo, se hace necesario utilizar agroquímicos para suplir la demanda de los cultivos. Estos fertilizantes de síntesis industrial se originan en la Revolución Verde, donde se empiezan a utilizar elementos químicos nocivos, tanto para las plantas como para los seres humanos, que provenían de recursos remanentes de la guerra (Chilón, 2017).

Los fertilizantes de síntesis industrial se han convertido en una opción para los agricultores hoy en día debido a sus altas concentraciones de elementos, los cuales, en ocasiones, no están disponibles de forma natural ni en las cantidades requeridas por las plantas, un ejemplo de ello son los fertilizantes fosforados, que en el año 2012 alcanzaron una importación equivalente a 70.000 toneladas en el territorio nacional (Marín, 2013).

Los fertilizantes fosforados son elaborados a partir de las rocas fosfóricas (se conoce a este nombre a los minerales que en su estructura química poseen gran cantidad de fósforo), las cuales son un recurso natural no renovable. Comercialmente se pueden encontrar fertilizantes fosforados como el superfosfato triple, superfosfato simple, superfosfato concentrado, fertilizantes compuestos, entre otros; estos productos varían en la concentración de sus nutrientes (Tabla 1).

Cabe aclarar que el contenido de un determinado nutriente presente en un fertilizante determinará el grado del fertilizante, es decir, el número que aparece en la parte frontal del producto indica la cantidad de nutriente disponible. Por ejemplo, un bulto de fertilizante de 50 kg que en su etiqueta indique los números 15-30-15 indicará que contiene 15% de su peso en nitrógeno disponible, 30% de su peso en fósforo disponible (P_2O_5) y otro 15% de su peso en potasio disponible (K_2O).

TABLA 1. Principales fertilizantes fosfóricos usados en la agricultura

FERTILIZANTE	N-P-K
Superfosfato de Calcio Triple	00-46-00
Fosfato Monoamónico (MAP)	11-52-00
Fosfato Diamónico (DAP)	18-46-00
Superfosfato de Calcio Simple	00-20-00
Polifosfato de Amonio	11-37-00
Triple 17	17-17-17

Tomada de: INTAGRI (2017b). <https://www.intagri.com/index.php/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>

4.7 ABONOS ORGÁNICOS Y EL FÓSFORO

Contrario a los fertilizantes químicos, las enmiendas orgánicas no son tan nocivas para el suelo ni para los seres vivos, ya que provienen de la degradación de residuos orgánicos (vegetales o animales). Además, estas enmiendas tienen una ventaja económica y ambiental ya que, al ser elaborados a partir de desechos animales, vegetales o mixtos, están a disposición del agricultor y, por otro lado, hay baja contaminación residual.

Sumado a lo anteriormente dicho, los abonos orgánicos aportan nutrientes al suelo, además de aumentar la oxigenación, intercambio de gases, población microbiana y humedad entre otros, lo que promueve la estructura del suelo y a recuperarlo en caso de presentar degradación. Según Castro *et al* (2009), las concentraciones totales de nutrientes para abonos orgánicos (vermicompost, cachaza de caña de azúcar, broza de café y pulpa de naranja) oscilan entre 0.90%-2.12% para N, 0.36%-3.02% para P y 0.94%-2.21% para K.

La disponibilidad de nutrientes que los abonos orgánicos aportan al suelo es usualmente baja, debido a que su totalidad no es completamente mineralizada. En el caso del P, su disponibilidad depende de la mineralización que tenga el abono orgánico al momento de la aplicación, además de los diversos caminos que puede tomar al entrar en contacto con el suelo (fijación, adsorción, precipitación, etc.).

En general los abonos y compostas son buenas fuentes de fósforo, con una alta disponibilidad para las plantas. A pesar de que los abonos y compostas son fuentes orgánicas de nutrientes la mayoría del fósforo es inorgánico (del 75 al 90 % del P presente), por ello es fácilmente disponible para los cultivos. Estudios han demostrado que los cultivos absorben cantidades similares o mayores de fósforo al aplicar abonos y compostas, comparado con fertilizantes comerciales convencionales. La concentración de fósforo dependerá del origen de los abonos o materias primas que componen la composta (INTAGRI, 2017a).

4.8 MICROORGANISMOS (BACTERIAS, MICORRIZAS)

En el suelo se encuentran distintos microorganismos que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y la mineralización, además de servir como solubilizadores de fosfato inorgánico, transformando el P insoluble en formas asimilables para las plantas. Los microorganismos que más se destacan, son las bacterias solubilizadoras de fosfatos y los hongos micorrízicos. En el caso de las bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF), existen una gran cantidad y variedad de ellas y, estas contribuyen a solubilizar tanto el P orgánico como el inorgánico. La efectividad y el desempeño óptimo de las BSF depende tanto de la capacidad de aislamiento de colonizar la rizosfera y mantener su

actividad biológica (Restrepo-Franco *et al*, 2015), como también del pH y conductividad térmica del suelo, entre otras propiedades.

Las bacterias transforman los fosfatos insolubles a solubles mediante acciones directas e indirectas, entre ellas se destacan: la acción de ácidos orgánicos producidos por microorganismos (Loganathan y Nair, 2004), quelación de los elementos responsables de la insolubilidad de los fosfatos presentes (Paredes y Espinosa, 2010) y asimilación directa de fosfatos insolubles por microorganismos que lo acumulan en sus células y los liberan posteriormente (Puente *et al*, 2009).

Otros organismos que contribuyen con la fertilización fosfórica son los hongos, cuya función es crear una simbiosis entre las raíces de las plantas y sus hifas, a esta asociación se le conoce como micorriza. En esta asociación, la planta le proporciona al hongo carbohidratos y un microhábitat para su supervivencia y el hongo por su parte contribuye a una mejor captación de agua y nutrientes de baja disponibilidad en el suelo (principalmente el P); además, algunos hongos sirven como defensa contra patógenos externos y regulan la población de otro tipo de hongos no benéficos para la planta.

La inoculación con hongos micorrízicos en cultivos aumenta la absorción de nutrientes y agua, mejora su rendimiento y disminuye las dosis de fertilizantes que se deben aplicar, mediante la utilización de especies adecuadas para determinado suelo y planta. Un ejemplo de esto, se evidencia en los resultados hallados por Montejo *et al* (2018), donde el uso de microorganismos simbióticos como hongos micorrízicos arbusculares HMA (*Rhizophagus intraradices*), bacterias (*Azospirillum brasilense*) y la adición de fertilizantes químicos en dosis medias favoreció la producción de materia seca de la parte aérea y radical, así como el crecimiento foliar y de raíces de plantas de maíz, en comparación con los tratamientos de fertilización química (DAP) y biológica (bacterias+HMA).

4.9 EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA

La fertilización fosfórica es una actividad que puede representar grandes beneficios para un cultivo si se hace de manera adecuada y si se tienen en cuenta los factores que inciden en la eficiencia de la fertilización, como: propiedades y tipo de fertilizante, tipo de cultivo, propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, disponibilidad de fósforo, textura, cantidad de materia orgánica) y porcentaje de micorrización, entre otros.

Es conocido el hecho de que del total de la dosis aplicada de los fertilizantes fosforados las plantas absorben una cantidad relativamente pequeña, es decir, solo entre el 20% y el 30% del P es realmente beneficioso para el cultivo y más del 80% del fertilizante aplicado se transforma en formas insolubles (INTAGRI, 2017) y es fijado gracias a la presencia de otros elementos, coayudados por factores adicionales como el pH, temperatura y humedad del suelo.

La eficiencia de absorción de fósforo de los fertilizantes por los cultivos es baja debido a que el fósforo puede cambiar a formas menos disponibles al entrar en contacto con el suelo (INTAGRI, 2017).

Una manera de determinar la eficiencia es con el método de la diferencia (Baligar *et al.*, 2001) como lo muestra la siguiente ecuación:

$$ERF(\%) = \left(\frac{NF-NC}{NR} \right) * 100 \dots \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

NF: nutriente absorbido por la planta del tratamiento con fertilizante (kg/ha).

NC: nutriente absorbido por la planta del tratamiento testigo (kg/ha).

NR: cantidad de nutriente aplicado con el fertilizante (kg/ha).

ERF (%): Eficiencia de recuperación de P

Otra ecuación para estimar la eficiencia es con el método de Pinochet (2005):

$$\text{eficiencia de fertilización} = \frac{\text{demanda} - \text{suministro}}{\text{dosis a aplicar}} \dots \text{Ecuación 2.}$$

Donde se considera las interacciones del sistema suelo-cultivo-clima-fertilizante: la demanda de nutrientes del cultivo (Demanda), el suministro del suelo que pueden absorber los cultivos (Suministro) y la eficiencia de recuperación de los fertilizantes aplicados (Eficiencia de fertilización). De esta forma, la estimación de la dosis de fertilización (Dosis a aplicar) puede ser representada matemáticamente como se observa en la Ecuación 2 (Pinochet, 2005).

Según Pinochet (2005), la demanda de nutrientes se refiere a la cantidad de nutrientes que es requerida para que el cultivo exprese determinado potencial productivo, denominado rendimiento alcanzable en el agroecosistema. Además, desde el año 2001, es usual que se expresen los parámetros que determinan la adecuada utilización de un nutriente en un sólo parámetro denominado factor de demanda (fDem). Este factor de Demanda integra, en un solo parámetro, a los parámetros requerimiento interno de nutriente, el índice de cosecha y la humedad de cosecha. Así, Pinochet indica que la demanda se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda} = \text{RendAlcanzar} * f\text{Dem} \dots \text{Ecuación 3.}$$

4.10 CULTIVO DE MAÍZ

El maíz (*Zea mays*) es una especie vegetal originaria de México que se ha extendido por todo el mundo y se ha llegado a posicionar como uno de los cultivos más importantes. En Colombia la producción de maíz tradicional ha ido en aumento pues se pasó de 532,327.60 ton en 2014 a 580,273.27 ton en 2017 (MADR, 2017b).

En los requerimientos del cultivo de maíz están los suelos con texturas preferiblemente medias, con buen drenaje, pH entre 5.5 y 6.5, suelos con contenidos de materia orgánica al 4% y cuya pendiente no sea mayor al 30%. En lo que respecta a la densidad de siembra, esta debe estar en 60.000 plantas por hectárea (Corrales *et al.*, 2004). Los rendimientos esperados y cantidad de nutrientes absorbidos se muestran en la tabla 2.

TABLA 2. Requerimientos nutricionales del maíz.

RENDIMIENTO Ton/ha	KILOGRAMOS POR HECTÁREA					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
4	100	40	120	25	18	14
6	120	50	160	30	40	25
8	200	80	224	35	52	32

Tomada de: Corrales *et al* (2004). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3827/1/029.pdf>

El P es un elemento esencial para el maíz, al cual se le atribuyen efectos como el incremento del crecimiento aéreo y radicular, aumento de la relación tallo/raíz, mayor tolerancia a estrés y menor incidencia y severidad de enfermedades. Ha sido ampliamente mencionada su participación en procesos fisiológicos importantes como la síntesis de ATP y transporte de energía por la planta, la formación de ácidos nucleicos (ADN y ARN) y el metabolismo de los hidratos de carbono (Ferraris *et al*, 2010).

Además de favorecer el crecimiento, produce efectos agronómicos deseables como la uniformidad y precocidad en la maduración de los granos. Su carencia se identifica por la aparición de hojas inferiores verde oscuras, que tornan a violáceas desde los márgenes, también pueden aparecer tonos rojizos de la punta a la base en el caso de deficiencia extrema, con plantas de tamaño pequeño y desuniforme (Ferraris *et al*, 2010).

5.0 ESTUDIOS RELACIONADAS CON LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA TANTO QUÍMICA COMO BIOLÓGICA

AUTOR/AÑO	CULTIVO/LUGAR	MÉTODO	RESUL TADO
Flores (2019)	Maíz Ecuador	Los tratamientos estuvieron compuestos por micorrizas (Mycor) en dosis de 0.5 y 1 L/ha, más ácidos húmicos (Humus 12 %, Humus 27 % y Ihumix XD) en dosis de 2, 3 L/ha y 30, 40 Kg/ha; más un testigo absoluto sin aplicación de productos antes mencionados. Se aplicó el diseño experimental de Diseños Factoriales AXBXC+1 con trece tratamientos y tres repeticiones. La comparación de las medias se la efectuó con la prueba de Tukey 5% de probabilidad	La mayor altura de planta se presentó con la aplicación de la interacción de Mycor y Humus 12 % en dosis de 0,5 y 3 L/ha respectivamente con una media de 226.47 cm; el rendimiento obtuvo a la interacción de Mycor y Humus 12 % a una dosis de 1 y 2 L/ha presentaron una media de 6491 lo que lo convierte en el valor más alto.
Arroyo <i>et al</i> (2019)	Maíz Colombia	El maíz de la variedad comercial (ICA V 109) se plantó a 0,5 x 0,8 m, con distintas dosis de P ₂ O ₅ (0, 25, 50, 75 y 100 kg/ha) y para cada una se tenía maíz micorrizado y no micorrizado. Se evaluaron los parámetros de rendimiento y fisiológicos.	El uso de micorrizas y dosis bajas de fósforo, se obtuvieron los mismos resultados que con dosis altas y sin micorrizas. La mejor dosis de P aplicada al suelo en presencia de micorrizas fue 50 kg / ha.
Montejo <i>et al</i> (2018)	Maíz Costa Rica	Se estableció un cultivo de maíz, en cuatro tratamientos: micorriza y Azospirillum (MA), micorriza y Azospirillum + fertilizante químico 50% (MA + FQ50%), fertilizante químico 100% (FQ100%) en dosis de 142–70–00 kg/ha y un testigo. Se midió la altura y diámetro del tallo de las plantas.	Los tratamientos de FQ100% y MA+FQ50% presentaron mayor altura total y diámetro del tallo de las plantas. Estos mostraron el mayor número y longitud de raíces finas, en comparación con los demás tratamientos. No obstante, el tratamiento con MA+FQ50% mantuvo la mayor cantidad de biomasa al final del cultivo.

Sanclemente <i>et al</i> (2018)	Maíz/Soya Colombia	En 2011-II se sembró maíz, cuyos residuos vegetales se usaron como abono verde (AV) o acolchado orgánico (AO). En 2012-I, se sembró en rotación maíz- soya con (AV, AO) y barbecho natural (BA. Se usó compost, fertilizante NPK (15-15-15) y un control sin fertilización, en subparcelas. En floración, se evaluó la longitud micelial de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en la raíz, y su aporte de P a la planta.	Se observó que el AO incrementó significativamente ($p<0,05$) la actividad de HMA (29,7%) y el rendimiento en soya, por liberación gradual de nutrientes. El uso de NPK en subparcelas redujo la actividad de HMA comparado con el manejo sin fertilización adicional, afectando la disponibilidad de P en el intercultivo por esta vía simbiótica. El análisis de componentes indicó que el uso de AO, con o sin compost, benefició tanto la actividad
---------------------------------------	-----------------------	--	---

			micorrízica como la productividad del intercultivo maíz-soya. Estos resultados muestran las bondades del uso de prácticas agroecológicas sobre la sostenibilidad del recurso suelo y la productividad de cultivos tradicionales.
Gordon <i>et al</i> (2016)	Maíz Panamá	Se evaluaron en la parcela principal se aplicó P al voleo en dosis de 0, 25, 50, 75 y 100 kg P/ha (aplicado sólo el primer año), en las subparcelas se aplicó durante diez años, P en banda junto al N y K en dosis de 0, 10, 20 y 30 kg P/ha. La duración del experimento fue de 2004- 2013.	El efecto residual de las aplicaciones de 0 y 25 kg P/ha al voleo presentaron un rendimiento relativo por debajo del 80%. El tratamiento de 50 kg P/ha se mantuvo en 82%, mientras que el de 75 disminuyó a partir del año 2007 a un valor cercano al 80%. El tratamiento de 100 kg P/ha al voleo presentó un rendimiento relativo cercano al 100%. La aplicación al voleo de más de 50 kg P/ha no difirió de la respuesta obtenida con aplicaciones anuales de 30 P/ha en los primeros cinco años.
Martín Alonso <i>et al</i> (2013)	Maíz Cuba	Se realizó un experimento en condiciones de microparcels, donde se evaluó la aplicación de micorrizas y abono verde con tres testigos. Previo a la siembra del maíz, a los tratamientos con inoculación micorrízica se les aplicó la especie de HMA <i>Glomus cubense</i> . La inoculación se realizó por el método del recubrimiento de las semillas. En los tratamientos con abono verde se empleó la especie <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) D.C., que se incorporó en el surco de siembra, bien mezclado y tapado con el suelo. El abono verde se encontraba seco y finamente desmenuzado. Se evaluaron los contenidos de N, P, K.	Las plantas que crecieron en presencia de canavalia tuvieron las mayores extracciones de P y K. Sin embargo, los tratamientos que no recibieron canavalia tuvieron un comportamiento inferior, excepto la absorción de P, que fue semejante a los tratamientos con aplicación de canavalia.
Álvares <i>et al</i> (2010)	Maíz México	El experimento se realizó en condiciones de temporal en Teopisca. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con un arreglo factorial (2x4) de tratamientos: dosis de fertilización (60 – 30 y 120 – 60 de N –P), y abonos orgánicos (sin abono o testigo, composta, bocashi y humus de lombriz; dosis, 6 t/ha).	En el crecimiento vegetativo la fosfatasa alcalina fue 74.5% más alta con humus de lombriz, mientras que la fosfatasa ácida fue 41.9% más alta con composta, ambas en relación con el testigo. En la floración disminuyó 46.2% la actividad ureasa con la dosis alta de fertilización. El porcentaje de colonización micorrízica fue 1.3 veces más alto con bocashi que sin abono.
Rakshit y Bhadoria (2010)	Maíz India	En experimentos en macetas, el maíz se cultivó en suelo esterilizado con baja fertilidad de P (P ₂ O ₅ = 6.2 mg/100g de suelo). Las plantas se inocularon con HMA. Se midieron los pesos secos de las plantas enteras, la longitud de las raíces y las frutas. Se midió la concentración de P y el nivel de P en los tejidos vegetales.	Como HMA se utilizó <i>Glomus mosseae</i> . En ambos tratamientos (con micorriza y sin ella) se aplicó fosfato ferroso (FePO ₄ ·4H ₂ O). La producción de MS de maíz fue mayor cuando se aplicaron el hongo + la fuente de P. La cantidad de P en el suelo con este tratamiento fue menor que en el suelo fertilizado, pero sin aplicación del hongo. En las hojas, las mayores concentraciones de P se observaron igualmente en el tratamiento micorriza + aplicación de fertilizante.

Roveda y Polo (2007)	Maíz Colombia	La investigación se realizó bajo condiciones controladas en los laboratorios del Corpoica. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con seis tratamientos y seis repeticiones: tres tratamientos con 1,	La mayor área foliar y acumulación de materia seca, en hojas y en raíz ocurre en plantas bajo la mayor concentración de fósforo disponible en el suelo (100mg/kg). Como mecanismos de adaptación a las deficiencias de P, las plántulas translocan
-------------------------	---------------	--	--

		40 y 100 mg·kg ⁻¹ de P disponible en suelo y tres tratamientos con las anteriores concentraciones de fósforo en el suelo, más la aplicación de micorrizas arbusculares del género <i>Glomus</i> spp.	carbohidratos a la raíz en detrimento de las hojas, esto modifica el balance de la materia seca. Este mecanismo fue evidente 10 días después del estrés
Uribe y Dzib (2006)	Maíz México	Se evaluaron ocho tratamientos más un testigo absoluto. El análisis de los resultados obtenidos se realizó en un arreglo factorial considerando años y tratamientos. Los tratamientos relacionados con la fertilización fosfórica fueron: 1) M*+A**+13-33-00 (N-P-K). 2) M+A+26-66-00 (N-P-K). 3) B***+26-66-00. 4) B+40-100-00 (N-P-K). 5) Fertilización química 40-100-00 (N-P-K). * Micorrizas **Azospirillum ***Brasinoesteroide	Los días a floración masculina fue la única característica que mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos con la inoculación de micorriza y <i>Azospirillum</i> produjeron rendimiento similar al obtenido con el testigo absoluto sin fertilización química. Así mismo, el tratamiento con Brasinoesteroide + 26-66-00 kg ha ⁻¹ (N- P-K) produjo el rendimiento máximo (3.24 t/ha), el cual superó en 5.86% al tratamiento 40-100-00 kg ha ⁻¹ (N-P-K) y en 12.65% al testigo absoluto.
González <i>et al</i> (2015)	Pastizales Cuba	En cada suelo se evaluó el efecto de la inoculación de las cepas de HMA <i>Glomus cubense</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> y <i>Rhizoglyphus intraradices</i> , más un testigo sin inocular. Se evaluaron dosis de inoculante micorrízico, que aportaron desde 0 hasta 10 x 10 ⁵ esporas/ha de la cepa de HMA, eficiente para cada tipo de suelo, en <i>B. decumbens</i> cultivada en suelo ferralítico rojo lixiviado y en <i>P. maximum</i> cultivado en suelo gley nodular ferruginoso.	Se encontró que la introducción, a escala de producción, de sistemas de fertilización basados en la inoculación de una cepa eficiente de hongos micorrízicos junto con la aplicación de fertilizantes minerales u orgánicos, contribuyó a un ahorro hasta del 50% de la dosis de fertilizantes balanceados que se recomiendan para estos cultivos, sin reducir el rendimiento ni el valor nutritivo de la biomasa.
Díaz Franco <i>et al</i> (2014)	Sorgo México	El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones. La siembra fue mecanizada, con humedad residual. Los tratamientos fueron: 1) Inoculación con micorriza arbuscular <i>R. intraradices</i> 2) Testigo con fertilización inorgánica en presembrado, 60-20-00 (N-P-K).	El rendimiento del grano inoculado con RI superó en 17.7% la relación beneficio-costos con relación a FI. Por el contrario, la biomasa radical, el número de esporas de HMA en el suelo y la emisión de CO ₂ del suelo se incrementaron con la micorrización. El impacto de <i>R. intraradices</i> manifestó mayores rentabilidades de la producción de sorgo y actividad biológica en el suelo. El contenido de clorofila, altura de planta, biomasa, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, P y K no presentaron significancia estadística entre los dos tratamientos.

Toro <i>et al</i> (2008)	Sorgo-Venezuela	Se aplicaron prácticas conservacionistas, siembra de abonos verdes y fertilización química con roca fosfórica de lenta solubilidad en un sistema agrícola. Se utilizó como indicadores a microorganismos tipo biofertilizante: hongos de micorriza arbuscular (Glomales) y bacterias solubilizadoras de fosfato cálcico; se evaluó su presencia en la rizosfera de <i>Sorghum bicolor</i> como cultivo tipo en 2 períodos separados por 3 años de manejo. Las parcelas de los tratamientos SR, RG, RL y RN recibieron la siguiente fertilización inorgánica: T1: N+K+0P; T2: N+K+P (Roca Fosfórica Riecito); T3: N+K+P (Roca Fosfórica Acidulada) y T4: N+K+P (Fosfato	La micorriza del sorgo (MS) mostró valores bajos durante el primer año de medición. A 3 años de manejo incrementó la proporción de bacterias solubilizadoras de fosfato cálcico en la rizosfera del sorgo en presencia de las leguminosas. En este caso, se considera que los tratamientos de fertilización fosforada pudieron afectar el establecimiento de la MA en el sorgo, lo cual en combinación con la intensidad de manejo agronómico aplicado habría incidido en el bajo % de colonización por MA (2-8% LRM durante el primer año de medición) y la disminución del número de esporas (hasta 121 esporas/ g suelo, en el tratamiento T1 con residuo de gramíneas).
---------------------------------	------------------------	---	--

		Diamónico). SR: Sin residuos; RG: Residuos de gramínea; RL: Residuos de leguminosa; RN: Residuos naturales	
--	--	--	--

6.0 METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN

Esta investigación se desarrolló en la granja experimental del Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas LASA de la Universidad del Valle. La zona cuenta con una precipitación promedio anual de 909 mm y una temperatura promedio anual de 25°C. El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero.

6.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

El suelo provino de la finca Agroecológica “El Oasis”, ubicada en la vereda El Turco, Mondomo, departamento del Cauca, localizada a 2°53'28.9" N 76°29'19.5" W, con una altura aproximada de 1550 msnm. Según la clasificación taxonómica del IGAC (SF), en la zona se encuentran los suelos oxisoles, con texturas medias a moderadamente finas, además de tender a ser fuertes a ligeramente ácidos, con alta saturación de aluminio y baja fertilidad. Además, la zona cuenta con una precipitación promedio anual de 1200 mm y temperatura promedio de 23°C. Se realizó una caracterización inicial del suelo, siguiendo los parámetros establecidos por el IGAC (2006), la cual se muestra en la tabla 3.

TABLA 3. Métodos usados para análisis fisicoquímico del suelo (IGAC, 2006).

Variables	Método	Resultado
Textura	Bouyoucos modificado	Arcilloso
Densidad aparente (g/cm ³)	Terrón parafinado	1.15
pH	Potenciómetro relación 1:1	4.3
Conductividad eléctrica (dS/m)	Conductímetro.5:1	0.0617
M.O (%)	Walkley-Black y espectrometría	4.03
P disponible (ppm)	Bray - II modificado y espectrometría	2.82
Bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) (ppm)	Extracción con acetato de amonio 1 N pH neutro y cuantificación por absorción-emisión atómica.	Ca: 0.57; Mg:0.1; K:0.37; Na:0.56
Acidez intercambiable (meq/100g)	Extracción con KCl y titulación con NaOH	0.07

6.3 COMPOSICIÓN DE LA ENMIENDA UTILIZADA

El abono orgánico que se aplicó al cultivo de maíz fue Humus Lombrisol líquido, cuya ficha técnica se muestra en la tabla 4. Además, el abono orgánico se mezcló con roca fosfórica y hongos micorrízicos.

TABLA 4. Ficha técnica Lombrisol

Beneficios	Efectividad
Tipo	Fertilizantes genéricos
Contenido	100 mL
Características	Fertilizante líquido, elaborado a partir de una composición equilibrada rica en nutrientes.
Material	Nitrógeno, fósforo, potasio, carbono orgánico, pH.
Uso	Proporciona al suelo múltiples beneficios, fertilizante líquido para aplicación al suelo.

Tomada de: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/211653/humus-lombrisol-liquido-x-100-cc>

Para la roca fosfórica, se utilizó Fosforita Huila, cuyas composiciones principales son: P_2O_5 (30%) y CaO (40%)

Además de fósforo (P_2O_5) y Calcio (CaO), contiene Sílice (SiO_2), Flúor (F) y otros elementos a nivel de trazas. La solubilidad de la roca fosfórica de Media Luna en citrato de Amonio Neutro (NAC) es del 3,1% y su humedad es máximo el 5% de su peso.

Por último, se utilizaron micorrizas cuya presentación viene en suelo desinfectado libre de otros microorganismos y su ficha técnica se muestra en la tabla 5. La dosificación de las micorrizas fue de 20 g/sitio y se aplicó al momento de la siembra.

TABLA 5. Ficha técnica de las micorrizas

COMPOSICIÓN	
ESPECIES	<i>Glomus fasciculatum</i> , <i>Scutellospora heterogama</i> , <i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus manihotis</i> , <i>Acaulospora rugosa</i> y <i>Entrophospora colombiana</i> .
SUSTRATO	Suelo desinfectado libre de microorganismos patógenos
pH	5,0 – 6,0
HUMEDAD GRAVIMÉTRICA	Máximo 15%
% RAÍCES COLONIZADAS	Mínimo 70%
CONCENTRACIÓN DE ESPORAS	300 esporas/gramo
ÍNDICE DE DIVERSIDAD PROMEDIO	6
VIDA ÚTIL	2 años, conservado en un ambiente fresco y seco, protegido de los rayos directos del sol
PRESENTACIÓN	Bulto de 10 y 50 kilogramos

Tomada de: SAFER MICORRIZAS. <http://safer.com.co/producto/micorrizas/>

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad del Valle (LASA), bajo condiciones controladas; desde 01 de septiembre del 2019 hasta el 20 de diciembre de 2019.

En el experimento se usó siembra directa en materia con 16 kg de suelo ácido y textura arcillosa. Se tuvo 3 tratamientos con 4 repeticiones. El tratamiento 1 (T1) consistió en la aplicación de Roca fosfórica (RF), micorrizas y abono orgánico (humus líquido). El tratamiento 2 (T2) fue manejado con fertilizante industrial (DAP). Por último, el tratamiento 3 (T3) fue un testigo, sin ninguna aplicación de fertilizante.

Las dosis aplicadas a cada materia fueron las siguientes: para el T1 se aplicaron en cada materia 12,3 g de roca fosfórica (0.35 g P_2O_5) con base a lo descrito por Zapata y Roy (2007), 20 g de micorrizas, según lo indicado por el productor, y humus líquido en concentración de 5 mL/L de agua. En el T2 se aplicó 0,7 g de fosfato diamónico (DAP) que corresponde a una dosis de 0.32 g de P_2O_5 .

La aplicación de RF y DAP se realizó 15 días antes de la siembra, con objeto de permitir una mayor solubilización de los fertilizantes. La aplicación de las micorrizas se realizó al momento de la siembra, impregnando las semillas de estas y esparciéndose sobre la superficie de cada materia.

Se instaló un sistema de riego por goteo, y se usó de goteros autocompensados con caudal de 4 L/h. Para mantener el suelo a capacidad de campo, la lámina a aplicar se determinó con base a la humedad del suelo, medida mediante el sensor TDR. Se siguieron los siguientes pasos para determinar el tiempo de riego, y se tuvo en cuenta los siguientes datos:

- Una lámina de 1 mm equivale a 1 L de agua en 1 m²
- Capacidad de Campo C.C (%) del suelo = 42%
- Profundidad del perfil del suelo (mm) = 300
- Área de cada materia (m²) = 0.07065
- Caudal del gotero (previamente aforado)= 4 L/h
- La lectura del TDR está expresada en humedad volumétrica (%)

$$1) \text{ Humedad necesaria HN para C. C} = \frac{C.C (\%) - \text{Lectura TDR} (\%)}{100} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$2) \text{ Lámina necesaria LN para C. C (mm)} = HN * \text{Profundidad del perfil del suelo} \quad \dots$$

Ecuación 5

El resultado anterior en mm equivale a ese mismo valor en L/m², debido a que 1 mm equivale a 1L/m², el cual se denotará como β

$$3) \text{ Volumen de agua a aplicar por materia} = \beta * \text{área de materia} \quad \dots \quad \text{Ecuación 6}$$

Finalmente, el tiempo de riego se determinó por la siguiente ecuación:

$$4) \text{ Tiempo de riego (minutos)} = \left(\frac{\text{Volumen de agua a aplicar}}{4} \right) * 60 \dots \quad \text{Ecuación 7}$$

La dosificación de los diferentes fertilizantes se determinó a partir de los requerimientos de P en el cultivo de maíz, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 7. Requerimiento de P en el cultivo de maíz

TRATAMIENTO	DOSIS P_2O_5 (kg/ha)
Testigo	0
DAP	100
Roca fosfórica	50*

*Arroyo *et al* (2019)

6.5 VARIABLES DE RESPUESTA

Para determinar la eficiencia del abono orgánico mejorado, se midieron las variables de respuesta y covariables siguiendo los lineamientos del IGAC (2006) que se muestran en la tabla 8 y 9.

TABLA 8. Variables agronómicas.

Variable agronómica	Método	Frecuencia
Altura	Medición manual mediante un metro a partir de la superficie del suelo hasta el ápice	1°, 2° y 4° mes
Diámetro de tallo	Medición manual con metro a 20 cm del suelo.	1°, 2° y 4° mes
P foliar*	Calcinación y dilución con HCl y colorimetría con nitro-vanado molibdato	Final del experimento
Rendimiento biomasa seca	Medición a partir de MF y MS	Final del experimento
Masa seca	Medición manual mediante horno y báscula	Final del experimento
Masa fresca (aérea)	Medición manual con báscula	Final del experimento
Longitud de la raíz	Medición manual mediante un metro	Final del experimento
Porcentaje de micorrización (%)	Tinción de raíces con azul páarker de Vierheilig <i>et al.</i> (1998)	Final del experimento
Eficiencia de fertilización	Baligar <i>et al.</i> (2001)	Final del experimento

*Sadzawka *et al* (2007).

TABLA 9. Covariables medidas en el experimento (IGAC, 2006)

Propiedad del suelo	Método	Frecuencia
P disponible	Bray - II modificado.	Inicio y final del experimento
pH	Potenciómetro relación 1:1	Inicio y final del experimento.
CE	Conductímetro 2.5:1	Inicio y final del experimento
M.O (%)	Walkley-Black y espectrometría	Inicio y final del experimento.

Se tomaron muestras de todas las materas de cada tratamiento para el análisis, a una profundidad promedio de 25-30 cm y se pesaron mediante báscula.

6.6 PRÁCTICAS CULTURALES

Para la realización del experimento, se procedió manualmente a:

Preparación del suelo y materas: Se realizaron las adecuaciones de las materas, lavándolas con jabón libre de fosfatos y abriendo 3 orificios en la parte inferior para drenaje. Se tamizó el suelo por tamiz de 2 mm de apertura y se le agregó a cada matera 16 kg de este, se saturaron y se dejaron drenar por 24 horas (este procedimiento se realizó 2 veces) para intentar estabilizar nuevamente una estructura del suelo.

Inocular: Se siguió la recomendación de la aplicación del comerciante al momento de la siembra, se recubrió cada semilla con las micorrizas y se aplicó un poco en sus alrededores, teniendo en cuenta que la dosis fue de 20 g/sitio.

Sembrar: Para la siembra manual, se colocaron 3 semillas espaciadas uniformemente en la superficie del suelo y a una profundidad de 4 cm. La roca fosfórica y el DAP se aplicaron dos semanas antes de la siembra para una adecuada solubilización.

Regar: En el invernadero se implementó un sistema de riego, con 2 goteros autocompensables (4 L/h) por matera. Todos los tratamientos se mantuvieron a capacidad de campo, utilizando el valor de humedad a C.C. y el sensor TDR para las lecturas.

Manejo de plagas y enfermedades: Las plagas y hongos se controlaron con un manejo agroecológico, se fumigó con agentes biológicos y naturales, y se siguió las recomendaciones locales. Además, se realizó una limpieza de los arvenses cada 15 días.

6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se verificó la distribución normal de los datos obtenidos y la homogeneidad de la varianza mediante ANOVA unifactorial. Debido a que se presentaron diferencias entre las medias de algunas variables, se determinó cuáles difieren mediante una prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Esto se realizó mediante el programa SPSS.

7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 VARIABLES FISIOLÓGICAS (DIÁMETRO Y ALTURA, LONGITUD DE RAÍZ, MASA FRESCA, MASA SECA Y RENDIMIENTO DE BIOMASA SECA)

7.1.1 LONGITUD DE RAÍZ

Los resultados obtenidos indicaron que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1 y T2 los cuales reportaron valores de 92,52 cm y 79 cm respectivamente. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1 y T3 y entre T2 y T3. El tratamiento testigo reportó un valor de 43,25 cm. Según Fernández (2007) la inhibición de la elongación celular en las raíces puede ser resultado de los efectos tóxicos causados por el aluminio y los efectos de la acidez; adicionalmente la toxicidad por aluminio puede modificar la densidad aparente del suelo lo que trae como resultado una disminución en los niveles de oxígeno disponible y por ende una menor longitud de raíz. Los bajos valores obtenidos en las variables altura de planta, diámetro de tallo, y longitud de raíz pueden deberse a la producción de fitohormonas (hormonas vegetales que promueven o inhiben el crecimiento) como las citoquininas y las auxinas las cuales influyen en la división celular y definen en buena medida el desarrollo (Díaz, 2017). Estas hormonas influyen en el desarrollo de la planta y se producen mediante vías sintéticas, la regulación de estas vías es dependiente de factores bióticos y abióticos (externos) como cantidad de brillo solar, disponibilidad de agua y cantidad de nutrientes a disposición, por lo que si uno de estos factores se ve afectado lo mismo sucederá con la producción hormonal (Garay *et al*, 2014). Además, Espinosa y Molina (1999) exponen que el exceso de aluminio interfiere en la división celular en las raíces de la planta y esta es la razón por la que el sistema radicular de plantas que crece en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado. La presencia de altas concentraciones de aluminio en la solución del suelo inhibe también la absorción de calcio y magnesio por parte de las plantas.

INTAGRI (2016) afirma que el óxido de aluminio (Al_2O_3) de la corteza terrestre en condiciones neutras o alcalinas es poco soluble y por tanto no alcanza concentraciones tóxicas para los vegetales; sin embargo, con la reducción del pH del suelo se incrementa su solubilidad, llegando a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico en el suelo, y posiblemente esta haya sido una de las causas de poco desarrollo radicular para el tratamiento testigo, donde su valor de pH fue de 4.3. Teniendo en cuenta lo que exponen Molina y Meléndez (2002) en su cuadro de interpretación de análisis de suelos, el valor de acidez intercambiable en este estudio se encuentra en el rango medio, pero cerca a la concentración crítica donde sería tóxico para las plantas. En plantas sensibles al aluminio, se acumula fósforo y aluminio en los espacios libres entre las células de la raíz, lo que trae como consecuencia una baja disponibilidad de fósforo para los procesos metabólicos en los que interfiere. Además, en un suelo inoculado con micorrizas, se favorece y se incrementa la absorción de fósforo y se disminuye la de aluminio, conllevando a su vez a unas suficiencias nutrimentales de las bases (Ca, Mg y K) intercambiables.

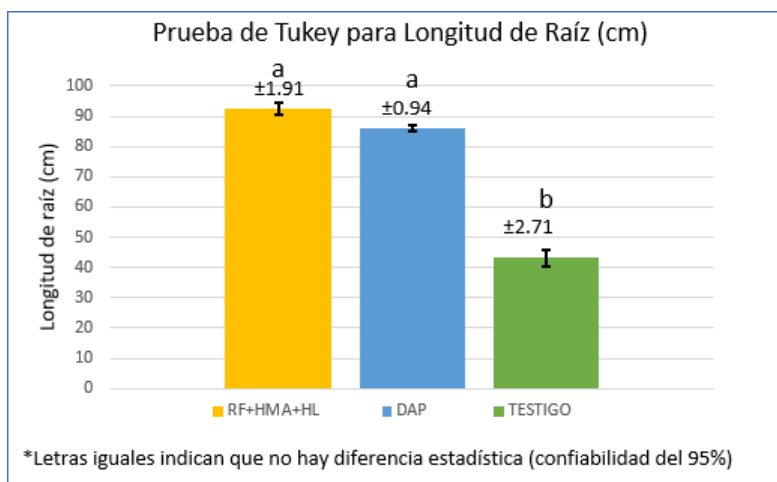


FIGURA 3. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la longitud de raíz. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar.

RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.1.2 ALTURA DE PLANTA Y DIÁMETRO DE TALLO

La variable *altura de planta* reportó los siguientes valores para los tratamientos: T1: 92,3 cm; T2: 99.78 cm; T3: 72, 68 cm; los valores reportados por el T1 son inferiores a los reportados por el T2, pero la diferencia entre estos fue suficientemente pequeña para indicar igualdad estadística. Los resultados obtenidos en la altura de planta se pueden explicar porque el tratamiento testigo se manejó sin ningún tipo de fertilizante, esto aunado al hecho de que el suelo que se usó en el experimento tuvo un pH bajo contribuyó a una baja disponibilidad de iones fosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) los cuales interactúan con otros elementos como hierro y aluminio y forman compuestos insolubles lo que reduce su disponibilidad y provoca deficiencias de fósforo dentro de la planta. (INTAGRI, 2018). El T2 obtuvo los mejores resultados debido a que el fosfato diamónico, aunque es un compuesto fosforado, en su fórmula química $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ está presente el nitrógeno, lo cual desarrolla un efecto sinérgico que favorece el aprovechamiento del fósforo. Este efecto se lleva a cabo debido a que el amonio (NH_4^+) influye significativamente sobre la disponibilidad y adsorción de fósforo; además el amonio en altas concentraciones reduce las reacciones de fijación del fósforo volviéndolo disponible para la planta (EcuRed, 2019).

Según lo que expresa Torrente (2014) en lo que respecta al buen desempeño de la roca fosfórica como fertilizante, se encontró relación a los resultados obtenidos en este experimento. Torrente (2014) evaluó el efecto de la roca fosfórica en la producción de maíz con seis tratamientos con roca fosfórica y un tratamiento testigo manejado sin fósforo. En la variable altura de planta obtuvo una altura máxima de 110 cm y una altura mínima de 95 cm para sus tratamientos con roca fosfórica, cuyos valores son similares a los reportados en este experimento para el T1 donde se alcanzaron alturas de 92,3 cm.

En la variable diámetro del tallo se reportaron valores de T1: 1,9 cm; T2: 2,2 cm; T3: 0,95 cm; se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre T1-T3 y entre T2-T3. Esto pudo deberse a que el T1 contenía HMA las cuales desarrollan simbiosis con las raíces de las plantas, lo que permite una mayor absorción de agua y nutrientes y obtiene beneficios para ambas especies (Cabral et al, 2016; Garzón, 2016). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el T2 y el T3. El

desempeño del tratamiento testigo puede atribuirse a las reacciones de adsorción y precipitación que tienen como consecuencia la fijación de este elemento (Díaz y Sadeghian, 2018), además de los bajos niveles iniciales de P disponible presentados por este suelo y presentados en la caracterización inicial del suelo, la ausencia de hongos micorrízicos es un factor que contribuyó al pobre desempeño del tratamiento en cuanto al crecimiento de la plantas y desarrollo en general ya que se cohibió la acción simbiótica que estas desarrollan con las plantas. Se encontró relación entre los resultados encontrados en el tratamiento testigo y la literatura. Fernández (2007) señala que la falta de fósforo repercute en el alargamiento del tallo de las plantas, lo que produce plantas enanas, y provoca un retardo de la maduración, bajo rendimiento, mala calidad y elevada humedad del grano. Por lo tanto, ya que el fósforo es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Díaz y Sadeghian, 2018) y debido a que el tratamiento testigo no tuvo suficiente disponibilidad de este nutriente las plantas tuvieron el menor crecimiento reportado.

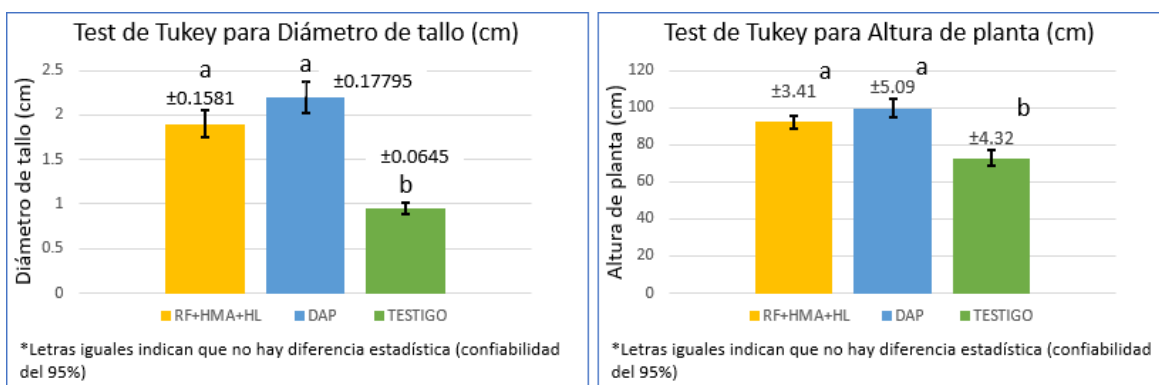


FIGURA 4. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la altura de la planta y el diámetro del tallo, para un promedio de las 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar.
RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.1.3 MASA FRESCA

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos, donde el tratamiento con fertilizante de síntesis industrial (T2) mostró mayor cantidad de masa fresca en comparación con lo demás tratamientos, alcanzando un valor de 224,6 g. El T1 reportó un valor de 179,37 g y el T3 obtuvo un valor de 74,38 g. Este resultado tiene como fundamento el hecho de que el fósforo es un macronutriente y cuando este no es absorbido en las cantidades suficientes la planta tendrá un crecimiento lento y menor, ya que éste interviene en procesos fisiológicos como el desarrollo de la masa radicular, la cual mientras más pequeña sea menor cantidad de agua y nutrientes podrá transportar a la planta; también interviene en la formación de azúcares, los cuales la planta usa como alimento, participa en la glucólisis, interviene en la respiración, hace parte de las membranas celulares, y contribuye a la síntesis de ácidos grasos (Fernández, 2007; Echeverri, 2018). Roveda y Polo (2007) en su estudio realizado con maíz y diferentes niveles de P disponible encontraron resultados similares: reportaron una disminución en el área foliar, la cual está intrínsecamente relacionada con la acumulación de fósforo en hojas y raíces, esta disminución se debió a la condición de estrés por falta de fósforo, adicionalmente encontraron que la mayor expresión para la variable de área foliar y acumulación de materia seca tuvo lugar en las plantas que tuvieron mayor disponibilidad de fósforo.

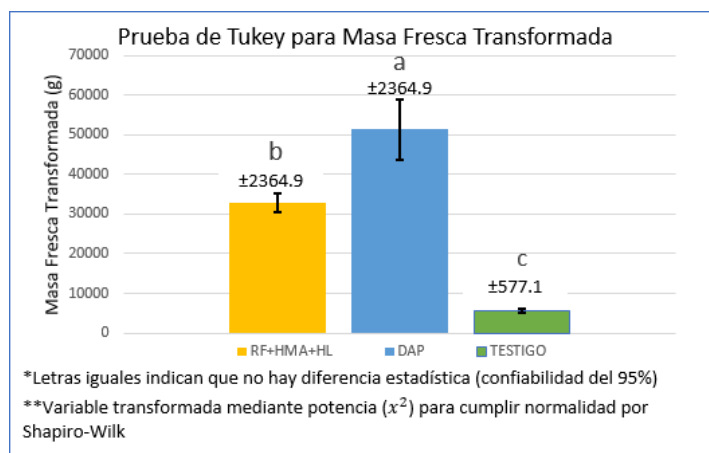


FIGURA 5. Efecto de un abono compuesto por RF+HMA+HL en la masa fresca (aérea) de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar. RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.1.4 MASA SECA Y RENDIMIENTO DE BIOMASA

Consecutivamente la masa seca presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos donde el T2, manejado con DAP, obtuvo la mayor cantidad de masa seca (81,57 g). Los demás resultados fueron T1: 63 g y T3: 42,21 g. Mediante los valores de masa fresca y masa seca se obtuvo el rendimiento seco de biomasa donde hubo diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos donde el T2 fue el que consiguió mayor rendimiento con un valor de 1153,99 g/m². El T1 y el T3 obtuvieron valores de 891,34 g/m² y 597,25 g/m², respectivamente. Resultados semejantes en cuanto al buen desempeño del tratamiento con micorrizas y su relación con la producción de biomasa fueron reportados por Roveda y Polo (2007), cuyos resultados reportaron que la asociación de las plantas de maíz con micorrizas arbusculares muestra mayores índices de crecimiento en plantas, expresados en biomasa (materia seca y área foliar), como consecuencia de una mejor nutrición mineral, especialmente relacionada con el fósforo. A pesar de que la inoculación fue baja para el T1, es posible asumir que el éxito de este tratamiento respecto al testigo pudo deberse a la aplicación de la roca fosfórica, como lo expresa Torrente (2014) en su tabla de resultados para la variable de Masa Seca, donde su tratamiento con roca fosfórica (Fosforita 30P) obtuvo mejores resultados que su tratamiento testigo. Estos resultados se pudieron evidenciar durante la etapa de crecimiento de las plantas para T3, donde las plantas del tratamiento testigo demostraron escaso desarrollo físico, además de presentar coloramiento morado en tallos y hojas por falta de fósforo.

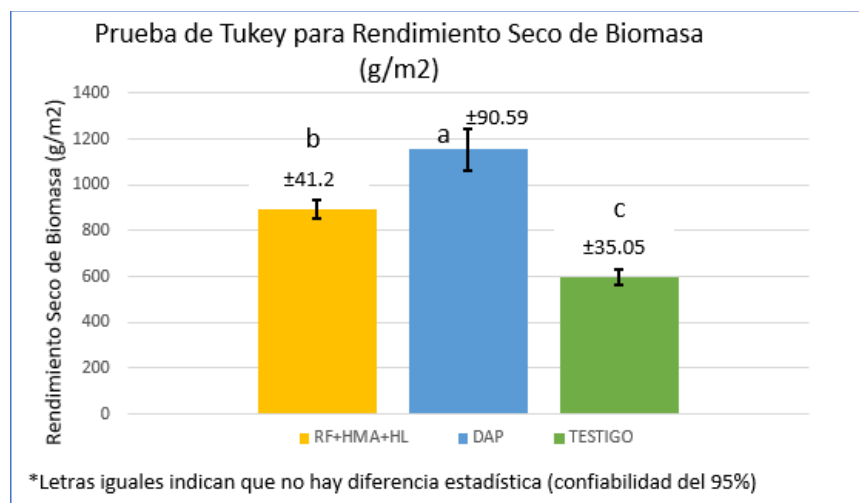


FIGURA 6. Efecto de un abono compuesto por RF+HMA+HL en el rendimiento seco de biomasa. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar. RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.2 PORCENTAJE DE MICORRIZACIÓN

Los valores de porcentaje de micorrización fueron suministrados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), cuya prueba fue realizada al finalizar el experimento mediante el método de la tinción de raíces de Vierheilig. La inoculación de micorrizas solo fue realizada en el tratamiento 1, los porcentajes de micorrización se muestran en la tabla 10.

TABLA 10. Porcentajes de micorrización

Repetición	1	2	3	4
% Micorrización	6.15	2.67	5.1	0

Los valores de porcentaje de micorrización fueron muy bajos en comparación con otros autores, como lo reportado por Serralde y Ramírez (2004), cuyo valor promedio de 6 tratamientos inoculados fue de 89.71%. Estos bajos valores de porcentaje de micorrización pudieron deberse a la alta dosis de P aplicado al suelo. Esta misma hipótesis la reporta Toro *et al* (2008) en su experimento con sorgo, donde concluyó que el manejo y la fertilización química disminuyó el potencial infectivo de micorrizas en el suelo, donde en el primer año de estudio el porcentaje de micorrización varió entre 2%-8%, valores similares a los reportados en el presente experimento.

7.3 FÓSFORO FOLIAR

La absorción de fósforo foliar no mostró diferencias estadísticas significativas (confiabilidad del 95%) entre las concentraciones de las plantas del tratamiento 1 (RF+HMA+HL) y el tratamiento 2 (DAP), pero la figura 7 muestra que el tratamiento 2 tuvo una ligera mayor absorción de P foliar. El tratamiento 3 (testigo) presentó diferencia estadística significativa respecto a los demás tratamientos, donde su concentración más alta fue de 0.06 g/kg. Estos valores de P foliar difieren con la literatura, ya que según Meléndez y Molina (2002) en su tabla de interpretación de análisis foliar en maíz, presenta las concentraciones de suficiencia en maíz, cuyo rango se encuentra entre 2.5-4 g/kg. En ese mismo sentido, Rakshit y Bhadoria (2010) concluyeron en su experimento, que su tratamiento sin inoculación

de micorrizas y su tratamiento con fertilización fosfórica (FePO_4) presentaron valores de P foliar aproximados de 0.05 g/kg - 0.1 g/kg, los cuales son similares a los de los tratamientos con RF+HMA+HL y DAP, reportados en la figura 3. También se debe considerar el pH del suelo como factor limitante, ya que para absorción del fósforo en maíz el pH del suelo debe estar entre 5.5 y 7.0, donde se da la máxima disponibilidad de P y en este caso, el pH inicial del suelo era 4.3. Además, estas bajas concentraciones de P foliar en el tratamiento 1 (RF+HMA+HL), pueden deberse al bajo porcentaje de micorrización alcanzado, como se verá más adelante, ya que Arroyo *et al* (2019) concluyeron que la colonización micorrízica aumenta con dosis de fósforo de hasta 0.17 g P_2O_5 /materia, difiriendo de la dosis aplicada en este experimento que fue de 0.35 g P_2O_5 /materia y según lo reportado por estos mismos autores, la inoculación micorrízica es una alternativa para aumentar la producción del cultivo de maíz en suelos con baja oferta nutricional, como es el caso de estudio. Además, cabe mencionar que las plantas de los tratamientos 1 y 2 no presentaron evidencia física de la deficiencia por fósforo (coloración morada), a diferencia del tratamiento 3 (testigo), que desde el inicio del experimento presentó claras deficiencias de este nutriente, con poco desarrollo vegetativo y coloración morada en tallo y hojas (ver anexos).

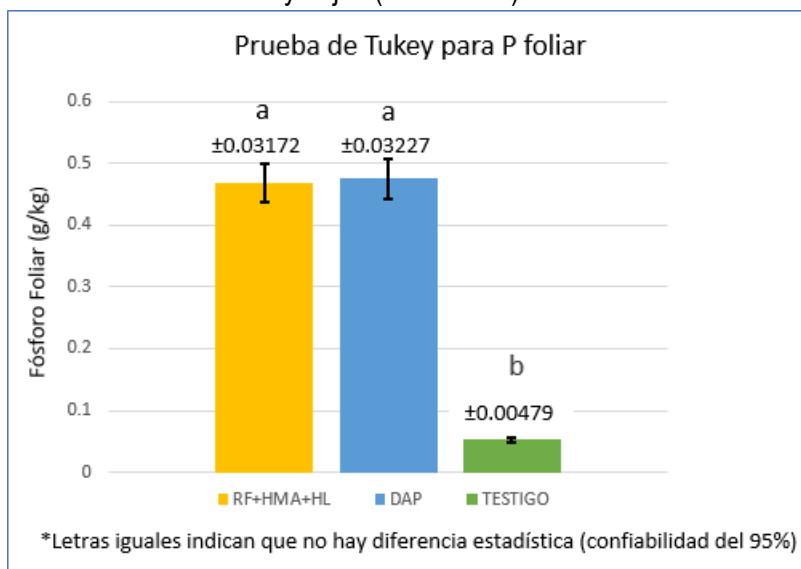


FIGURA 7. Efecto de la aplicación del abono mejorado compuesto por RF+HMA+HL en el P foliar de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar. RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.4 FÓSFORO DISPONIBLE EN SUELO Y EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN

El análisis estadístico mediante el test de Tukey no arrojó diferencias significativas (confiabilidad del 95%) en el P disponible del suelo entre los tratamientos 1 (RF+HMA+HL) y 2 (DAP), pero se aprecia una ligera mayor concentración de P para el T1 (Figura 8); por el contrario, se encontró diferencias entre el tratamiento 3 (testigo) y los demás, el cual presentó una concentración promedio de 3.55 ppm, similar al valor reportado en las pruebas iniciales del suelo antes de la siembra (2.82 ppm).

Se encontró un aumento en las concentraciones de P disponible en suelo al final del experimento para todos los tratamientos. Las plantas de los tratamientos T1 y T2 no fueron capaces de absorber gran parte del P disponible en suelo, como se vio evidenciado en los valores del fósforo foliar; estos resultados pueden tener coherencia con Fontanetto *et al* (2010) quienes reportaron en su experimento

con maíz que, en suelos con valores de P por encima de los 20 ppm, no se encuentran respuestas a las fertilizaciones fosfóricas, como en este caso de los T1 y T2.

En este orden de ideas, mediante el método descrito por Baligar *et al* (2001) se calculó la eficiencia de fertilización fosfórica para los T1 y T2, arrojando valores promedio de 10.52% y 37.17% estadísticamente diferentes, los cuales no superaron siquiera el 50% de eficiencia, por lo que se deben realizar estudios para el manejo de las dosis de P a aplicar dependiendo las concentraciones de P disponible en suelos ácidos.

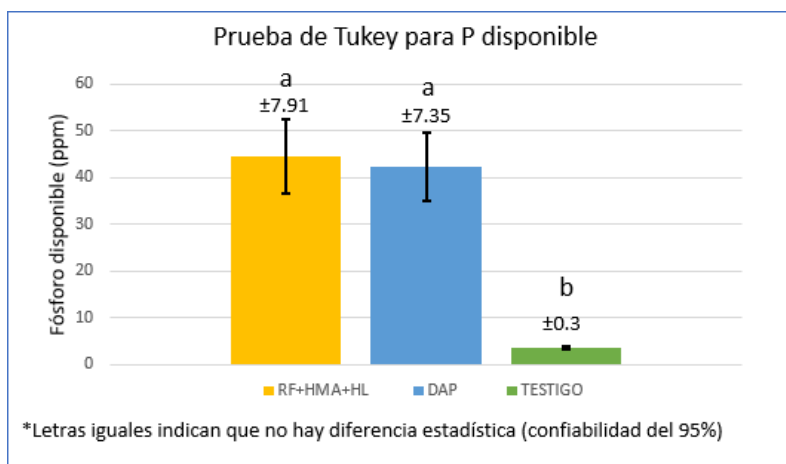


FIGURA 8. Efecto de la aplicación del abono compuesto de RF+HMA+HL en el fósforo disponible de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar. RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.5 pH

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas (confiabilidad del 95%) entre los tratamientos 2 (DAP) y 3 (testigo), por el contrario, el tratamiento 1 arrojó diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos. Los 3 tratamientos registraron una disminución en el pH del suelo, según el valor inicial de este antes de la siembra (pH = 4.3), lo cual se puede deber a la predominancia del aluminio intercambiable Al^{3+} (propiedad de suelos minerales con pH<4.5) que afecta directamente a la acidez del suelo (Jaramillo, 2002). Los valores de pH presentados en la figura 9, se pueden correlacionar con el P disponible para las plantas, ya que los valores de pH por debajo a 6.5 afectan la disponibilidad de este nutriente debido a que elementos como el hierro y el aluminio se encuentran más solubilizados y provocan la precipitación del fósforo (Navarro y Navarro, 2003). Así mismo, Jaramillo (2002) afirma que la disponibilidad de P en suelos ácidos es muy baja, por lo que la alta fijación de este elemento lo lleva a formar compuestos completamente insolubles. Como lo explica Sadeguián (2016), entre las causas generadoras de la acidificación del suelo se puede encontrar la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes compuestos, bien sea los complejos granulados o aquellos que se obtienen mediante mezclas físicas, que también generan acidez, y esto debido a contener en su formulación nitrato de amonio, como en el DAP utilizado en el tratamiento 2. Adicional a esto, Castellanos (2014) explica que al descomponerse la materia orgánica del suelo por acción de los microorganismos, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonato, esta reacción libera hidrógeno que acidifica el suelo.

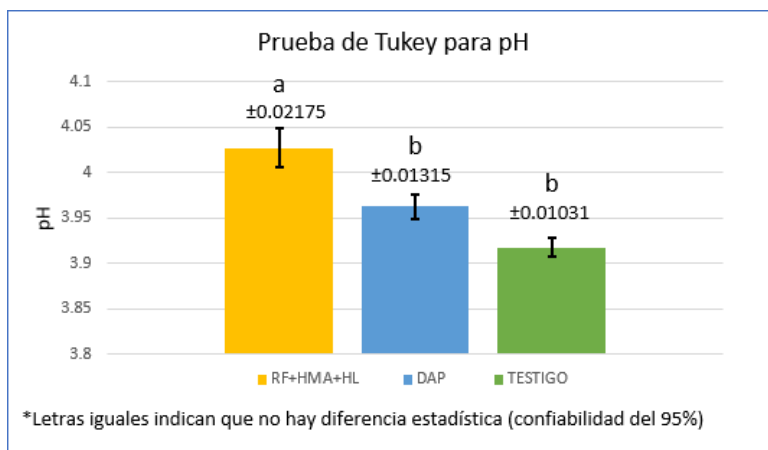


FIGURA 9. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en el pH de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar.

RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.6 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas (confiabilidad del 95%) entre los tratamientos 1 y 2, pero se logra notar en la figura un ligero aumento de la CE para el tratamiento con RF+HMA+HL; por el contrario, el tratamiento testigo presentó diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos. Los 3 tratamientos presentaron un aumento de la CE según el valor inicial del suelo antes de la siembra (0.0617 dS/m). Una posible explicación de este comportamiento es que en este experimento se aplicó una dosis alta de P_2O_5 respecto a las recomendaciones de otros autores, por lo que posiblemente el exceso de este fertilizante inorgánico produjo un aumento de sales en el suelo. Además, se debe considerar que posiblemente el drenaje implementado no fue suficiente y por ende se presentó concentración de sales en el suelo. INTAGRI (2013) expresa que un suelo con valores menores a 1 dS/m se considera un suelo libre de sales y por tanto no existen restricciones para ningún cultivo por esta variable.

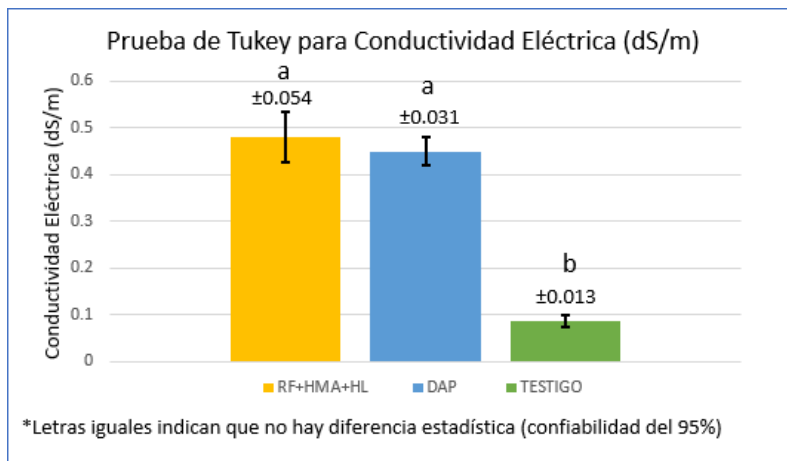


FIGURA 10. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la conductividad eléctrica de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar.

RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

7.7 MATERIA ORGÁNICA (M.O)

Los resultados obtenidos mostraron que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1 -T2 ; T1-T3 ; contrario a ello se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento T2 y T3. Los valores obtenidos por los tratamientos fueron T1: 5,98% - T2: 5,59% - T3:6,79%. Según Andrades y Martínez (2014) los datos encontrados hacen referencia a altos valores de carbono orgánico en suelo. Medina *et al* (2017) reportaron valores de M.O en un suelo arcilloso muy similares a los encontrados en este estudio, mediante un modelo de regresión determinaron que este factor afectó positivamente el desarrollo del cultivo. Es posible afirmar que probablemente el suelo usado en este experimento contaba con compuestos fácilmente degradables como almidón, celulosa, hemicelulosa, y proteínas sencillas y las condiciones dadas durante el desarrollo del experimento condujeron a obtener esos valores de materia orgánica en un periodo de tiempo relativamente corto.

Según Navarro y Navarro (2003) la temperatura es uno de los factores que afecta el contenido de M.O debido a que en climas cálidos los microorganismos encuentran temperaturas más apropiadas para su desarrollo y actuación por lo que al aumentar la temperatura disminuye el contenido de M.O, esto va en contravía a los resultados encontrados ya que el valor de la M.O al final del experimento obtuvo un incremento en comparación con los valores iniciales. La humedad es otro de los factores que afecta la presencia de M.O, pues a medida que aumenta la humedad también aumenta el contenido de M.O debido a la acción microbiana; se encuentra concordancia en este aspecto debido a que en el experimento el suelo se mantuvo a capacidad de campo. En adición a lo anterior, el citado autor expresa que la textura del suelo también interviene en el contenido de carbono orgánico ya que su capacidad de retención de humedad y poca aireación influyen en el valor de esta propiedad.

Flores (2019) expone que las sustancias húmicas cumplen un papel fundamental en la fertilidad y calidad del suelo, ya que ejerce influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Además, en comparación con otras materias orgánicas, los ácidos húmicos ofrecen más eficacia a largo plazo que no se disipa tan pronto como el estiércol, compost o turba. A su vez, Sánchez (2016) explica que el suelo secuestra más carbono a medida que se le añaden más insumos orgánicos, que se descomponen y aumentan el contenido de materia orgánica.

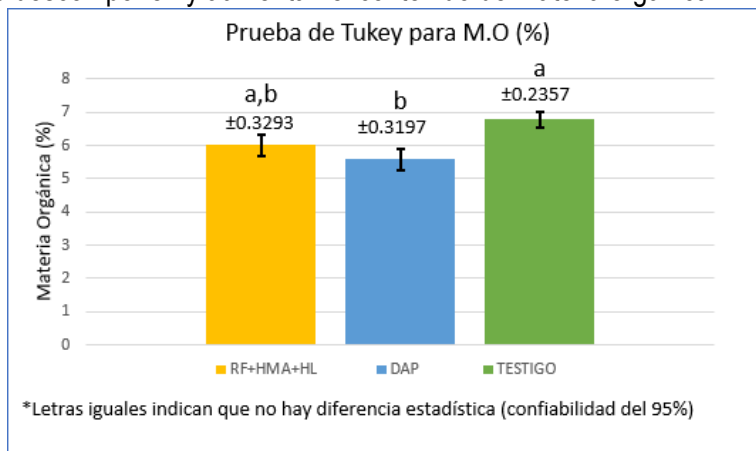


FIGURA 11. Efecto de la aplicación del abono compuesto por RF+HMA+HL en la Materia Orgánica (%) de un suelo ácido. Cada tratamiento representa el promedio de sus 4 repeticiones. Las barras indican el error estándar.

RF: Roca fosfórica – HMA: Hongos micorrízicos arbusculares – HL: Humus Líquido.

8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la evaluación del abono orgánico mejorado se concluyó que la enmienda se debe mejorar en la dosis de P_2O_5 proveniente de la roca fosfórica para mejorar el porcentaje de micorrización. Se encontró que la eficiencia de fertilización fosfórica fue mayor en el tratamiento químico (DAP) respecto al tratamiento con el abono orgánico mejorado (RF+HMA+HL), pero de igual manera se demostró que la enmienda propuesta es una buena alternativa para mejorar el rendimiento de los cultivos, compitiendo con los abonos fosforados, y esta competitividad posiblemente se debió a que la roca fosfórica junto al humus líquido demostraron ser una ayuda eficaz para el manejo de la fertilización fosfórica del cultivo, dado que los análisis estadísticos indicaron que no se encontraron diferencias entre los tratamientos con RF+HMA+HL y DAP para varias de las variables analizadas.

Además, se recomienda el uso del Humus líquido Lombrisol, ya que ayuda al aumento de la materia orgánica del suelo, volviéndolo más fértil y mejorando las condiciones de la planta. Se encontró, además, que las plantas presentaron concentraciones muy bajas de P foliar (deficiencia), pero en los tratamientos 1 y 2 no se evidenciaron síntomas de dicha deficiencia; por el contrario, el tratamiento testigo presentó deficiencias visibles desde el inicio del experimento.

Es conveniente señalar que esta investigación tuvo que interrumpirse antes de la fecha inicialmente propuesta en el cronograma, debido a varios factores externos a la investigación. Por tanto, el cultivo no llegó a la etapa de producción, por ende, los valores de masa seca son más bajos a los encontrados en la literatura general de estudios similares.

9.0 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Solís, J. D.; Gómez Velasco, D. A.; León Martínez, N. S. & Gutiérrez Miceli, F. A. (2010). MANEJO INTEGRADO DE FERTILIZANTES Y ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ. *Agrociencia*, vol. 44, no. 5, p. 575-586.

Alzate Ramírez, J.D; & Campiño Arias, D. (2014). ACTIVIDAD MICROBIANA DE SUELOS CON MANEJO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL. Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Andrades, M. & Martínez, M. E. (2014). FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN. Material didáctico. Agricultura y Alimentación 3ra Edición, 29 p. Universidad de la Rioja. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>. Fecha de consulta: 16/03/2020.

ANM - Agencia Nacional de Minería. ROCA FOSFÓRICA. (2014). Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/roca_fosforica.pdf. Fecha de consulta: 03/05/2018.

Arroyo, J.; Estrella, G. & Cabrales, E. (2019). EFECTO DE LA MICORRIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ (*Zea mays*) EN SUELOS ARENOSOS DE MONTERÍA. *Suelos Ecuatoriales*, vol 49, no. 1 y 2, p. 9-18.

Báez Espinoza, J. & Marín López, J. R. (2010). EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA DE ABONOS ORGÁNICOS VERSUS FERTILIZACIÓN SINTÉTICA SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L). Universidad Nacional Agraria.

Baligar, V. C.; Fageria, N. K.; & He, Z. L. (2001). NUTRIENT USE EFFICIENCY IN PLANTS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 32, no. 7, p. 921-950.

Beltran Pineda, M. E. (2014). LA SOLUBILIZACIÓN DE FOSFATOS COMO ESTRATEGIA MICROBIANA PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO VEGETAL. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 15, no. 1, p. 101-113.

Cabrales, E.; Toro, M. & López, D. (2016). EFECTO DE MICORRIZAS NATIVAS Y FÓSFORO EN LOS RENDIMIENTOS DEL MAÍZ EN GUÁRICO, VENEZUELA. *Temas Agrarios*, vol. 21, no. 2, p. 21-31.

Castellanos, J. Z. (2014). ACIDEZ DEL SUELO Y SU CORRECCIÓN. Hojas Técnicas de Fertilab. México. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>. Fecha de consulta: 04/05/2020.

Castro, A.; Henríquez, C. & Bertsch, F. (2009). CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE N, P Y K DE CUATRO ABONOS ORGÁNICOS. *Agronomía Costarricense*, vol. 33, no. 1, p. 31-43.

Cerón Rincón, L. E. & Aristizábal Gutiérrez, F. A. (2012). DINÁMICA DEL CICLO DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO EN SUELOS. *Revista colombiana de biotecnología*, vol. 14, no. 1, p. 285-295.

Chilón, E. (2017). "REVOLUCIÓN VERDE" AGRICULTURA Y SUELOS, APORTES Y CONTROVERSIAS. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA*, vol. 3, no.3, p. 844-859.

Corrales, A.; Acevedo, O.; Vanegas, H. & Polanía, F. (2004). MAÍZ EN LA ZONA CAFETERA. MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Díaz Franco, A.; Salinas García, J. R.; Espinosa Sandoval, F.; Peña del Río, M. A.; de la Garza Requena, F. R. & Grageda Cabrera, O. A. (2014). CARACTERÍSTICAS DE PLANTA, SUELO Y PRODUCTIVIDAD ENTRE SORGO FERTILIZADO E INOCULADO CON MICORRIZA ARBUSCULAR. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 5, no. 3, p. 379-390.

Díaz, C. & Sadeghian, S. (2018). ADSORCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA. *Revista Cenicafé*, vol. 69, no. 2, p. 7-16.

Díaz, M. D. (2017). LAS HORMONAS VEGETALES EN LAS PLANTAS. Serie Nutrición Vegetal Núm. 88. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

EcuRed. (2019). FOSFATO DIAMÓNICO. Disponible en: https://www.ecured.cu/index.php?title=Fosfato_diam%C3%B3nico&oldid=3514145. Fecha de consulta: 30/04/2020.

Echeverri, J. (2018). DINÁMICA DEL FÓSFORO EN SUELO-PLANTA EN REGIONES TROPICALES. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/71606/2/39456768.2018.pdf>. Fecha de consulta: 16/03/2020.

Espinosa, J. & Molina E. (1999). ACIDEZ Y ENCALADO DE SUELOS. IPNI International Plan Nutrition Institute, primera edición, p. 29.

Escudero De Fonseca, A. & Arias Villamizar, C. (2012). LOS MICROORGANISMOS EN LOS ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DE PODAS EN LA UNIVERSIDAD DEL NORTE. Universidad del Norte.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MAÍZ. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Fecha de consulta: 19/10/2018.

Fernández, M. T. (2007). FÓSFORO: AMIGO O ENEMIGO. ICIDCA. *Sobre los derivados de la caña de azúcar*, vol. 41, no. 2, p. 51-57.

Ferraris, G.; Couretot, L.; Mousegne, F.; López de Sabando, M. & Ventimiglia, L. (2010). FERTILIZACIÓN FOSFORADA LÍQUIDA EN MAÍZ. PROFERTIL. Disponible en: <https://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/fertilizacion-fosforada-liquida-en-maiz>.

Fixen, P. E. (2014). DINÁMICA DEL FÓSFORO EN EL SUELO Y EN EL CULTIVO EN RELACIÓN AL MANEJO DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/228551560>.

Flores, H. V. (2019). EFECTOS DE LA COMBINACIÓN DE MICORRIZAS MÁS ÁCIDOS HÚMICOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN LA ZONA DE BABAHOYO. Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Fontanetto, H.; Keller, O.; Gambaudo, S.; Albrecht, J.; Gianinetto, G.; Weder, E.; Zen, O.; Daverede, I. & García, F. (2010). RESPUESTA DEL MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN LA REGIÓN CENTRO DE SANTA FE. Información Técnica Cultivos de Verano Campaña 2010. *Publicación miscelánea N° 118*. Disponible en: <http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas.htm>. Fecha de consulta: 16/03/2020.

Garay, A.; Sánchez, M.; García, B.; Álvarez, E. & Gutiérrez, C. (2014). LA HOMEOSTASIS DE LAS AUXINAS Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO DE ARABIDOPSIS THALIANA. *REB. Revista de educación bioquímica*, vol. 33, no. 1, p.13-22.

Garzón, L. P. (2016). IMPORTANCIA DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA) PARA UN USO SOSTENIBLE DEL SUELO EN LA AMAZONIA COLOMBIANA. *Revista Luna Azul*, no. 42, p. 217-234.

González, P.; Ramírez, J.; Rivera, R.; Hernández, A.; Plana, R.; Crespo, G. & Rosales, P. (2015). MANAGEMENT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL INOCULATION FOR THE STABLISHMENT, MAINTENANCE AND RECOVERY OF GRASSLANDS. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 49, no. 4, p. 535-540.

Gordon, R.; Franco, J.; Villareal, J. & Smith T. (2016). MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ, EL EJIDO, PANAMÁ 2004-2013. *Agromía Mesoamericana*, vol. 27, no. 1, p. 95-108.

Homecenter. Ficha Técnica Humus Lombrisol Líquido. Disponible en: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/211653/humus-lombrisol-liquido-x-100-cc>. Fecha de consulta: 28/04/2020.

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Imprenta Nacional, Bogotá.

IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi (SF). MAPAS DE SUELO DEL TERRITORIO COLOMBIANO A ESCALA 1:100.000. Disponible en: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>. Fecha de consulta: 30/04/2020

INTAGRI- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2013). LA SALINIDAD DE LOS SUELOS, UN PROBLEMA QUE AMENAZA SU FERTILIDAD. México. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/salinidad-de-suelos-problema-de-fertilidad>. Fecha de consulta: 16/03/2020.

INTAGRI – Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2016). EL ALUMINIO Y EL DESARROLLO RADICAL DE LOS CULTIVOS. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos>. Fecha de consulta: 24/03/2020.

INTAGRI - Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2017a). USO EFICIENTE DEL FÓSFORO EN LA AGRICULTURA. Disponible en: <https://www.intagri.com/index.php/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>. Fecha de consulta: 15/05/2018. Fecha de consulta: 04/06/2019.

INTAGRI - Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2017b). FUENTES ORGÁNICAS DE N-P-K PARA LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/fuentes-organicas-de-n-p-k-para-la-nutricion-de-cultivos>. Fecha de consulta: 04/06/2019.

INTAGRI – Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2018). DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS Y EL PH DEL SUELO. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrientos-y-el-ph-del-suelo>. Fecha de consulta: 30/04/2020

Jaramillo, D. F. (2002). INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO. Universidad Nacional de Colombia. p. 358.

Loganathan, P. & Nair, P. (2004). *SWAMINATHANIA SALITOLERANS* GEN. NOV., SP. NOV., A SALT-TOLERANT, NITROGEN-FIXING AND PHOSPHATE-SOLUBILIZING BACTERIUM FROM WILD RICE (*PORTERESIA COARCTATA* TATEOKA). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 54, p. 1185-1190.

MADR – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017a). COMPARATIVO DE ÁREA, PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y PARTICIPACIÓN DEPARTAMENTAL POR CULTIVO. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Fecha de consulta: 19/10/2018.

MADR – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017b). ÁREA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO NACIONAL POR CULTIVO. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Fecha de consulta 19/10/2018.

MADR - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). Agronet. PRODUCCIÓN NACIONAL POR PRODUCTO. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/MA%C3%8DZ%20TRADICIONAL2016.pdf>. Fecha de consulta: 20/04/2018.

Marín, A. (2013). LOS DUEÑOS DE LOS FERTILIZANTES EN COLOMBIA. EL ESPECTADOR. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/investigacion/los-duenos-de-los-fertilizantes-colombia-articulo-445007>. Fecha de consulta: 04/05/2018.

Martín Alonso, G. M.; Rivera Espinosa, R. & Pérez Díaz, A. (2013). EFECTO DE LA CANAVALIA, INOCULACIÓN MICORRÍZICA Y DOSIS DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN EL CULTIVO DE MAÍZ. *Cultivos Tropicales*, vol. 34 no. 4, p. 60-67.

Medina, J.; Volke-Haller, V.; Galvis, A.; Cortés, J. & Cruz, J. (2017). INCREMENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MANGO EN LUVISOLES. Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, no. 2, p. 499-508.

Meléndez, G.; Molina, E. (2002). TABLA DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS FOLIAR EN MAÍZ. Universidad de Costa Rica.

Molina, E. & Meléndez, G. (2002). TABLA DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS. Centro de Investigaciones Agronómicas CIA. Universidad de Costa Rica.

Montejo Martínez, D.; Casanova Lugo, F.; García Gómez, M.; Oros Ortega, I.; Días Echeverría, V.; Morales Maldonado, E. R. (2018). RESPUESTA FOLIAR Y RADICAL DEL MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA-QUÍMICA EN UN SUELO LUVISOL. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 29, no. 2, p. 325-341.

Múnica Vélez, A. & Meza Sepúlveda, D. (2014). EL FÓSFORO ELEMENTO INDISPENSABLE PARA LA VIDA VEGETAL. Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Navarro, S.; Navarro, G. (2003). QUÍMICA AGRÍCOLA. Ediciones Mundi-Prensa, segunda edición. Madrid. p. 58, 133.

ONU Organización de las Naciones Unidas. (2017). Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>. Fecha de consulta: 18/04/2018.

Paredes Mendoza, M. & Espinosa Victoria, D. (2010). ÁCIDOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS POR RIZOBACTERIAS QUE SOLUBILIZAN FOSFATO: UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, no. 1, p. 61-70.

Pinochet, D. (2005). GUÍA PARA LA FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS BRÁSSICAS FORRAJERAS. Universidad Austral de Chile.

Puente, M.; Li, C. & Bashan, Y. (2009). ROCK-DEGRADING ENDOPHYTIC BACTERIA IN CACTI. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 66, no. 3, p. 389-401.

Rakshit, A. & Bhadoria, Singh, P. B. (2010). ROLE OF VAM ON GROWTH AND PHOSPHORUS NUTRITION OF MAIZE WITH LOW SOLUBLE PHOSPHATE FERTILIZATION. *Acta Agronómica*, vol. 59, no. 1, p. 119-123.

Recatume Aquino, G. H. (2016). PARTICIPACIÓN DEL ÓXIDO NÍTRICO EN LA EFICIENCIA DEL USO DEL FÓSFORO EN PLANTAS DE TRIGO. Universidad Nacional de la Plata.

Restrepo-Franco, G.; Marulanda-Moreno, S.; de la Fe-Pérez, Y.; Díaz de la Osa, A.; Lucia Baldani, V. & Hernández Rodríguez, A. (2015). BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO Y SUS POTENCIALIDADES DE USO EN LA PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 46, no. 1, p. 63-76.

Roveda, G. & Polo, C. (2007). MECANISMOS DE ADAPTACIÓN DE MAÍZ ASOCIADO A *Glomus spp.* EN SUELOS CON BAJO FÓSFORO DISPONIBLE. *Agronomía Colombiana*, vol. 25, no. 2, p. 349-356.

Sadeguian Khalajabadi, S. (2016). LA ACIDEZ DEL SUELO, UNA LIMITANTE COMÚN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ. Avance Técnico 466 Cenicafé. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>. Fecha de consulta: 04/05/2020.

Sadeghian Khalajabadi, S.; ZAPATA Hernández. R. D. (2012). PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA ADSORCIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN ALGUNOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA. *Revista Cenicafé*, vol. 63, no. 2, p. 79-89.

Sadzwaka, A.; Carrasco, M. A.; Demanet, R.; Flores, H.; Grez, R.; Mora, M. L. & Neaman, A. (2007). MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES. Editorial Serie Actas INIA - No. 40. Santiago de Chile. p. 13, 91.

SAFER MICORRIZAS. Ficha técnica. Disponible en: <https://safer.com.co/producto/micorrizas/>. Fecha de consulta: 28/04/2020.

Sánchez, P. (2016). MANEJO DE LA MATERIA ORGÁNICA PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE. Foro Técnico. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6949/BVE18040127e.pdf;jsessionid=E50C683BA0DFF20A7E3EE69278C8B7DC?sequence=1>. Fecha de consulta: 30/04/2020

Sanclemente, O.; Sanchez de Prager, M. & Prager, M. (2018). PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS, MICORRIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL INTERCULTIVO MAÍZ-SOYA (*Zea mays* L. – *Glycine max* L.). *IDESIA*, vol. 36, no. 2, p. 217-224.

Serralde, A. M. & Ramírez, M. M. (2004). ANÁLISIS DE POBLACIONES DE MICORRIZAS EN MAÍZ (*Zea mays*) CULTIVADO EN SUELOS ÁCIDOS BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS AGRONÓMICOS. *Revista Corpoica*, vol. 5, no. 1, p. 31-40.

Toro, M.; Bazó, I. & López, M. (2008). MICORRIZAS ARBUSCULARES Y BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL, BIOFERTILIZANTES NATIVOS DE SISTEMAS AGRÍCOLAS BAJO MANEJO CONSERVACIONISTA. *Agronomía Tropical*, vol. 58, no. 3, p. 215-221.

Torrente, A. (2014). EFECTO DE LA ROCA FOSFÓRICA PARCIALMENTE ACICULADA Y CALCINADA EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 1, no. 1, p. 55-62.

Uribe Valle, G. & Dzip Echeverría, R. (2006). MICORRIZA ARBUSCULAR (*Glomus intraradices*) *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN SUELO LUVISOL. *Agricultura Técnica de México*, vol. 32, no. 1, p. 67-76.

Vierheilig, H.; Coughlan, A.; Wyss, U.; Piche, Y. (1998). INK AND VINEGAR, A SIMPLE STAINING TECHNIQUE FOR ARBUSCULAR- MYCORRHIZAL FUNGI. *Appl. Environm. Microbiol.* vol. 64, no. 12, p. 5004-5007.

Vistoso G. E.; Sandaña P.; Iraira, S. (2017). FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE PRADERAS EN SUELOS TRUMAS DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS. 124 p. Colección de Libros INIA N° 37. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno, Chile. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2018/05/LIBRO-FERTILIZACION-1.pdf>

Zapata, F. & Roy, R. N. (2007). UTILIZACIÓN DE LAS ROCAS FOSFÓRICAS PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE. Boletín FAO No. 13. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y5053s.pdf>. Fecha de consulta: 18/04/2018.

11.0 ANEXOS



Evidencia de la deficiencia de fósforo en el tratamiento testigo, donde se observó durante el primer mes coloración morada en tallos y hojas. En contraste a esta condición, se evidenció el desarrollo vegetativo para el tratamiento 1 con RF+HMA+HL en la repetición 2, donde visualmente no se notó una deficiencia por fósforo y no presentó otra condición que afectara su crecimiento.



A su vez, se realizó la comparación del tratamiento 2 (DAP) con el tratamiento 3 (Testigo) para el primer mes. Se evidenció también una clara deficiencia de fósforo para el tratamiento testigo, donde se notó coloración morada y poco desarrollo vegetativo, a diferencia del tratamiento 2 que presentó un buen desarrollo vegetativo y sin deficiencias visuales.



Para el mes 2, se realizó evidencia fotográfica del tratamiento 1 (RF+HMA+HL) en comparativa con el tratamiento 3 (Testigo). Se notó una clara diferencia respecto al desarrollo vegetativo de ambos tratamientos.





Para el último mes del experimento, se tomaron las 4 anteriores fotografías para evidenciar el buen desarrollo vegetativo de los tratamientos 1 (RF+HMA+HL) y 2 (DAP), donde no se notó deficiencia por fósforo en ninguna de las repeticiones.

RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO OBTENIDO DEL PROGRAMA SPSS PARA TODAS LAS VARIABLES

1) Altura de planta.

Descriptivos					
Tratamiento		Estadístico		Desv. Error	
Altura Planta (cm)	RF+HMA+HL	Media		92,3000	3,14192
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	82,3010	
			Límite superior	102,2990	
		Media recortada al 5%		92,2722	
		Mediana		92,0500	
		Varianza		39,487	
		Desv. Desviación		6,28384	
		Mínimo		85,00	
		Máximo		100,10	
		Rango		15,10	
		Rango intercuartil		12,05	
		Asimetría		0,221	1,014
		Curtosis		0,507	2,619
	Químico	Media		99,7750	5,09123
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	83,5724	
			Límite superior	115,9776	
		Media recortada al 5%		99,9889	
		Mediana		101,7000	
		Varianza		103,682	
		Desv. Desviación		10,18246	
		Mínimo		85,70	
		Máximo		110,00	
		Rango		24,30	
		Rango intercuartil		18,57	
		Asimetría		-1,073	1,014
		Curtosis		2,074	2,619
	Testigo	Media		72,6750	4,32211
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	58,9201	
			Límite superior	86,4299	
		Media recortada al 5%		72,6389	
		Mediana		72,3500	
		Varianza		74,722	
		Desv. Desviación		8,64422	
		Mínimo		63,50	
		Máximo		82,50	
		Rango		19,00	
		Rango intercuartil		16,58	
		Asimetría		0,138	1,014
		Curtosis		-3,132	2,619

Pruebas de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura Planta (cm)	RF+HMA+HL	0,174	4	.	0,996	4	0,984
	Químico	0,298	4	.	0,922	4	0,547
	Testigo	0,218	4	.	0,952	4	0,726

a. Corrección de significación de Lilliefors

Altura Planta (cm)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	72,6750	
RF+HMA+HL	4		92,3000
Químico	4		99,7750
Sig.		1,000	0,461

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 72,631.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

2) Diámetro de tallo.**Pruebas de normalidad**

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diámetro tallo (cm)	RF+HMA+HL	0,236	4	.	0,940	4	0,653
	Químico	0,250	4	.	0,895	4	0,405
	Testigo	0,151	4	.	0,993	4	0,972

a. Corrección de significación de Lilliefors

Diámetro tallo (cm)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	0,9500	
RF+HMA+HL	4		1,9000
Químico	4		2,2000
Sig.		1,000	0,340

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,081.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

Descriptivos

Tratamiento		Estadístico		Desv. Error
Diámetro tallo (cm)	RF+HMA+HL	Media	1,9000	0,15811
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,3968
			Límite superior	2,4032
		Media recortada al 5%	1,9056	
		Mediana	1,9500	
		Varianza	0,100	
		Desv. Desviación	0,31623	
		Mínimo	1,50	
		Máximo	2,20	
		Rango	0,70	
		Rango intercuartil	0,60	
		Asimetría	-0,632	1,014
		Curtosis	-1,700	2,619
	Químico	Media	2,2000	0,17795
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,6337
			Límite superior	2,7663
		Media recortada al 5%	2,2111	
		Mediana	2,3000	
		Varianza	0,127	
		Desv. Desviación	0,35590	
		Mínimo	1,70	
		Máximo	2,50	
		Rango	0,80	
		Rango intercuartil	0,65	
		Asimetría	-1,331	1,014
		Curtosis	1,500	2,619
	Testigo	Media	0,9500	0,06455
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,7446
			Límite superior	1,1554
		Media recortada al 5%	0,9500	
		Mediana	0,9500	
		Varianza	0,017	
		Desv. Desviación	0,12910	
		Mínimo	0,80	
		Máximo	1,10	
		Rango	0,30	
		Rango intercuartil	0,25	
		Asimetría	0,000	1,014
		Curtosis	-1,200	2,619

3) Longitud de raíz.

Descriptivos

Tratamiento		Estadístico		Desv. Error
Longitud de Raíz (cm)	RF+HMA+HL	Media	92,5250	1,91719
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	86,4236
			Límite superior	98,6264
		Media recortada al 5%	92,5556	
		Mediana	92,8000	
		Varianza	14,702	
		Desv. Desviación	3,83438	
		Mínimo	88,50	
		Máximo	96,00	
		Rango	7,50	
		Rango intercuartil	7,03	
		Asimetría	-0,121	1,014
		Curtosis	-5,199	2,619
	Químico	Media	86,2500	0,94648
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	83,2379
			Límite superior	89,2621
		Media recortada al 5%	86,1667	
		Mediana	85,5000	
		Varianza	3,583	
		Desv. Desviación	1,89297	
		Mínimo	85,00	
		Máximo	89,00	
		Rango	4,00	
		Rango intercuartil	3,25	
		Asimetría	1,659	1,014
		Curtosis	2,615	2,619
	Testigo	Media	43,2500	2,71953
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	34,5952
			Límite superior	51,9048
		Media recortada al 5%	43,0556	
		Mediana	41,5000	
		Varianza	29,583	
		Desv. Desviación	5,43906	
		Mínimo	39,00	
		Máximo	51,00	
		Rango	12,00	
		Rango intercuartil	9,75	
		Asimetría	1,468	1,014
		Curtosis	1,908	2,619

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud de Raíz (cm)	RF+HMA+HL	0,289	4	.	0,840	4	0,195
	Químico	0,303	4	.	0,791	4	0,086
	Testigo	0,268	4	.	0,862	4	0,267

a. Corrección de significación de Lilliefors

Longitud de Raíz (cm)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	43,2500	
Químico	4		86,2500
RF+HMA+HL	4		92,5250
Sig.		1,000	0,121

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 15,956.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

4) Masa Fresca**Pruebas de normalidad**

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Masa Fresca Transformada (g)	RF+HMA+HL	0,384	4	.	0,771	4	0,059
	Químico	0,256	4	.	0,896	4	0,410
	Testigo	0,274	4	.	0,855	4	0,242

a. Corrección de significación de Lilliefors

Masa Fresca Transformada (g)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
Testigo	4	5574,8071		
RF+HMA+HL	4		32863,3396	
Químico	4			51415,6674
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 85167488,354.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

Descriptivos

	Tratamiento		Estadístico	Desv. Error	
Masa Fresca Transformada (g)	RF+HMA+HL	Media	32863,3396	2364,90129	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	25337,1683	
			Límite superior	40389,5110	
		Media recortada al 5%	33066,0250		
		Mediana	34687,5081		
		Varianza	22371032,42		
		Desv. Desviación	4729,80258		
		Mínimo	25856,64		
		Máximo	36221,70		
		Rango	10365,06		
		Rango intercuartil	7877,16		
		Asimetría	-1,849	1,014	
		Curtosis	3,559	2,619	
	Químico	Media	51415,6674	7612,47624	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27189,3705	
			Límite superior	75641,9643	
		Media recortada al 5%	51841,7558		
		Mediana	55250,4628		
		Varianza	231799178,3		
		Desv. Desviación	15224,95249		
		Mínimo	31046,44		
		Máximo	64115,30		
		Rango	33068,86		
		Rango intercuartil	28152,02		
		Asimetría	-0,993	1,014	
		Curtosis	-0,438	2,619	
	Testigo	Media	5574,8071	577,11662	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3738,1645	
			Límite superior	7411,4498	
		Media recortada al 5%	5532,4651		
		Mediana	5193,7285		
		Varianza	1332254,387		
		Desv. Desviación	1154,23325		
		Mínimo	4686,77		
		Máximo	7225,00		
		Rango	2538,23		
		Rango intercuartil	2059,63		
		Asimetría	1,500	1,014	
		Curtosis	2,028	2,619	

5) Masa Seca

Descriptivos

Tratamiento			Estadístico	Desv. Error	
Masa Seca (g)	RF+HMA+HL	Media	63,0050	2,91288	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	53,7349	
			Límite superior	72,2751	
		Media recortada al 5%	63,1644		
		Mediana	64,4400		
		Varianza	33,940		
		Desv. Desviación	5,82577		
		Mínimo	55,32		
		Máximo	67,82		
		Rango	12,50		
		Rango intercuartil	10,76		
		Asimetría	-0,910	1,014	
		Curtosis	-0,928	2,619	
		Químico	Media	81,4950	6,37327
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	61,2124
	Límite superior			101,7776	
	Media recortada al 5%		81,8483		
	Mediana		84,6750		
	Varianza		162,474		
	Desv. Desviación		12,74653		
	Mínimo		64,07		
	Máximo		92,56		
	Rango		28,49		
	Rango intercuartil		23,64		
	Asimetría		-1,120	1,014	
	Curtosis		0,482	2,619	
	Testigo		Media	42,2175	2,47781
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	34,3320
		Límite superior		50,1030	
		Media recortada al 5%	42,0467		
		Mediana	40,6800		
		Varianza	24,558		
		Desv. Desviación	4,95562		
		Mínimo	38,50		
		Máximo	49,01		
		Rango	10,51		
		Rango intercuartil	8,94		
		Asimetría	1,168	1,014	
		Curtosis	0,311	2,619	

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Masa Seca (g)	RF+HMA+HL	0,265	4	.	0,889	4	0,380
	Químico	0,227	4	.	0,912	4	0,495
	Testigo	0,270	4	.	0,853	4	0,237

a. Corrección de significación de Lilliefors

Masa Seca (g)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
Testigo	4	42,2175		
RF+HMA+HL	4		63,0050	
Químico	4			81,4950
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 73,657.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

6) Rendimiento de Biomasa Seca**Pruebas de normalidad**

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rendimiento Seco de Biomasa (g/m ²)	RF+HMA+HL	0,265	4	.	0,889	4	0,380
	Químico	0,232	4	.	0,908	4	0,472
	Testigo	0,270	4	.	0,853	4	0,237

a. Corrección de significación de Lilliefors

Rendimiento Seco de Biomasa (g/m²)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
Testigo	4	597,2575		
RF+HMA+HL	4		891,3425	
Químico	4			1153,9900
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 14846,666.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

Descriptivos

	Tratamiento			Estadístico	Desv. Error
Rendimiento Seco de Biomasa (g/m ²)	RF+HMA+HL	Media		891,3425	41,20869
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	760,1981	
			Límite superior	1022,4869	
		Media recortada al 5%		893,5983	
		Mediana		911,6450	
		Varianza		6792,623	
		Desv. Desviación		82,41737	
		Mínimo		782,62	
		Máximo		959,46	
		Rango		176,84	
		Rango intercuartil		152,29	
		Asimetría		-0,910	1,014
		Curtosis		-0,927	2,619
	Químico	Media		1153,9900	90,59855
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	865,6650	
			Límite superior	1442,3150	
		Media recortada al 5%		1159,1067	
		Mediana		1200,0400	
		Varianza		32832,390	
		Desv. Desviación		181,19710	
		Mínimo		906,41	
		Máximo		1309,47	
		Rango		403,06	
		Rango intercuartil		335,43	
		Asimetría		-1,122	1,014
		Curtosis		0,418	2,619
	Testigo	Media		597,2575	35,05348
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	485,7017	
			Límite superior	708,8133	
		Media recortada al 5%		594,8406	
		Mediana		575,5050	
		Varianza		4914,985	
		Desv. Desviación		70,10696	
		Mínimo		544,67	
		Máximo		693,35	
		Rango		148,68	
		Rango intercuartil		126,51	
		Asimetría		1,168	1,014
		Curtosis		0,310	2,619

7) Fósforo Foliar

Descriptivos						
Tratamiento				Estadístico	Desv. Error	
Fósforo Foliar (g/kg)	RF+HMA+HL	Media		0,4675	0,03172	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,3665		
			Límite superior	0,5685		
		Media recortada al 5%		0,4678		
		Mediana		0,4700		
		Varianza		0,004		
		Desv. Desviación		0,06344		
		Mínimo		0,39		
		Máximo		0,54		
		Rango		0,15		
		Rango intercuartil		0,12		
		Asimetría		-0,205	1,014	
		Curtosis		-0,321	2,619	
		Químico	Media		0,4750	0,03227
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,3723	
	Límite superior			0,5777		
	Media recortada al 5%		0,4750			
	Mediana		0,4750			
	Varianza		0,004			
	Desv. Desviación		0,06455			
	Mínimo		0,41			
	Máximo		0,54			
	Rango		0,13			
	Rango intercuartil		0,12			
	Asimetría		0,000	1,014		
	Curtosis		-5,071	2,619		
	Testigo		Media		0,0525	0,00479
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,0373	
		Límite superior		0,0677		
		Media recortada al 5%		0,0528		
		Mediana		0,0550		
		Varianza		0,000		
		Desv. Desviación		0,00957		
		Mínimo		0,04		
		Máximo		0,06		
		Rango		0,02		
		Rango intercuartil		0,02		
		Asimetría		-0,855	1,014	
		Curtosis		-1,289	2,619	

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fósforo Foliar (g/kg)	RF+HMA+HL	0,141	4	.	0,997	4	0,991
	Químico	0,257	4	.	0,871	4	0,300
	Testigo	0,283	4	.	0,863	4	0,272

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fósforo Foliar (g/kg)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	0,0525	
RF+HMA+HL	4		0,4675
Químico	4		0,4750
Sig.		1,000	0,978

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,003.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

8) Fósforo disponible**Pruebas de normalidad**

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fósforo disponible en suelo (ppm)	RF+HMA+HL	0,303	4	.	0,825	4	0,154
	Químico	0,226	4	.	0,951	4	0,722
	Testigo	0,296	4	.	0,893	4	0,398

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fósforo disponible en suelo (ppm)HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	3,5500	
Químico	4		42,3075
RF+HMA+HL	4		44,6075
Sig.		1,000	0,963

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 155,837.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

Descriptivos

	Tratamiento		Estadístico	Desv. Error
Fósforo disponible en suelo (ppm)	RF+HMA+HL	Media	44,6075	7,91995
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,4027
			Límite superior	69,8123
		Media recortada al 5%	43,9706	
		Mediana	38,8750	
		Varianza	250,903	
		Desv. Desviación	15,83990	
		Mínimo	33,09	
		Máximo	67,59	
		Rango	34,50	
		Rango intercuartil	27,68	
		Asimetría	1,641	1,014
		Curtosis	2,610	2,619
	Químico	Media	42,3075	7,35245
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	18,9087
			Límite superior	65,7063
		Media recortada al 5%	42,4378	
		Mediana	43,4800	
		Varianza	216,234	
		Desv. Desviación	14,70490	
		Mínimo	24,92	
		Máximo	57,35	
		Rango	32,43	
		Rango intercuartil	28,15	
		Asimetría	-0,301	1,014
		Curtosis	-2,774	2,619
	Testigo	Media	3,5500	0,30564
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,5773
			Límite superior	4,5227
		Media recortada al 5%	3,5317	
		Mediana	3,3850	
		Varianza	0,374	
		Desv. Desviación	0,61128	
		Mínimo	3,01	
		Máximo	4,42	
		Rango	1,41	
		Rango intercuartil	1,10	
		Asimetría	1,410	1,014
		Curtosis	2,316	2,619

9) pH

Descriptivos

Tratamiento			Estadístico	Desv. Error	
pH	RF+HMA+HL	Media	4,0275	0,02175	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,9583	
			Límite superior	4,0967	
		Media recortada al 5%	4,0283		
		Mediana	4,0350		
		Varianza	0,002		
		Desv. Desviación	0,04349		
		Mínimo	3,97		
		Máximo	4,07		
		Rango	0,10		
		Rango intercuartil	0,08		
		Asimetría	-0,830	1,014	
		Curtosis	-0,037	2,619	
		Químico	Media	3,9625	0,01315
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,9207
	Límite superior			4,0043	
	Media recortada al 5%		3,9617		
	Mediana		3,9550		
	Varianza		0,001		
	Desv. Desviación		0,02630		
	Mínimo		3,94		
	Máximo		4,00		
	Rango		0,06		
	Rango intercuartil		0,05		
	Asimetría		1,443	1,014	
	Curtosis		2,235	2,619	
	Testigo		Media	3,9175	0,01031
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,8847	
			Límite superior	3,9503	
		Media recortada al 5%	3,9178		
		Mediana	3,9200		
		Varianza	0,000		
		Desv. Desviación	0,02062		
		Mínimo	3,89		
		Máximo	3,94		
		Rango	0,05		
	Rango intercuartil	0,04			
	Asimetría	-0,713	1,014		
	Curtosis	1,785	2,619		

Pruebas de normalidad

Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH RF+HMA+HL	0,198	4	.	0,958	4	0,764
Químico	0,288	4	.	0,887	4	0,369
Testigo	0,298	4	.	0,926	4	0,572

a. Corrección de significación de Lilliefors

pH

HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	3,9175	
Químico	4	3,9625	
RF+HMA+HL	4		4,0275
Sig.		0,165	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

10) Conductividad Eléctrica

Pruebas de normalidad

Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Conductividad Eléctrica (dS/m) RF+HMA+HL	0,287	4	.	0,868	4	0,291
Químico	0,387	4	.	0,771	4	0,059
Testigo	0,190	4	.	0,974	4	0,869

a. Corrección de significación de Lilliefors

Conductividad Eléctrica (dS/m)

HSD Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	4	0,08505	
Químico	4		0,45500
RF+HMA+HL	4		0,48800
Sig.		1,000	0,808

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,005.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.

Descriptivos

	Tratamiento		Estadístico	Desv. Error
Conductividad Eléctrica (dS/m)	RF+HMA+HL	Media	0,48800	0,054424
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,31480
			Límite superior	0,66120
		Media recortada al 5%	0,48422	
		Mediana	0,45400	
		Varianza	0,012	
		Desv. Desviación	0,108849	
		Mínimo	0,400	
		Máximo	0,644	
		Rango	0,244	
		Rango intercuartil	0,195	
		Asimetría	1,509	1,014
		Curtosis	2,256	2,619
	Químico	Media	0,45500	0,031403
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,35506
			Límite superior	0,55494
		Media recortada al 5%	0,45233	
		Mediana	0,43100	
		Varianza	0,004	
		Desv. Desviación	0,062807	
		Mínimo	0,410	
		Máximo	0,548	
		Rango	0,138	
		Rango intercuartil	0,105	
		Asimetría	1,843	1,014
		Curtosis	3,551	2,619
	Testigo	Media	0,08505	0,013068
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,04346
			Límite superior	0,12664
		Media recortada al 5%	0,08541	
		Mediana	0,08825	
		Varianza	0,001	
		Desv. Desviación	0,026135	
		Mínimo	0,052	
		Máximo	0,112	
		Rango	0,060	
		Rango intercuartil	0,050	
		Asimetría	-0,584	1,014
		Curtosis	-0,679	2,619

11) Materia Orgánica

Descriptivos				Estadístico	Desv. Error
Tratamiento					
Materia Orgánica (%)	RF+HMA+HL	Media		6,0075	0,32930
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,9595	
			Límite superior	7,0555	
		Media recortada al 5%		6,0367	
		Mediana		6,2700	
		Varianza		0,434	
		Desv. Desviación		0,65860	
		Mínimo		5,03	
		Máximo		6,46	
		Rango		1,43	
		Rango intercuartil		1,09	
		Asimetría		-1,873	1,014
		Curtosis		3,610	2,619
	Químico	Media		5,5900	0,31977
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,5724	
			Límite superior	6,6076	
		Media recortada al 5%		5,6139	
		Mediana		5,8050	
		Varianza		0,409	
		Desv. Desviación		0,63953	
		Mínimo		4,68	
		Máximo		6,07	
		Rango		1,39	
		Rango intercuartil		1,14	
		Asimetría		-1,463	1,014
		Curtosis		1,785	2,619
	Testigo	Media		6,7875	0,23577
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,0372	
			Límite superior	7,5378	
		Media recortada al 5%		6,7683	
		Mediana		6,6150	
		Varianza		0,222	
		Desv. Desviación		0,47155	
		Mínimo		6,46	
		Máximo		7,46	
		Rango		1,00	
		Rango intercuartil		0,83	
		Asimetría		1,487	1,014
		Curtosis		1,840	2,619

Pruebas de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tratamiento	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Materia Orgánica (%)	RF+HMA+HL	0,382	4	.	0,762	4	0,050
	Químico	0,262	4	.	0,848	4	0,220
	Testigo	0,265	4	.	0,818	4	0,139

a. Corrección de significación de Lilliefors

Materia Orgánica (%)

HSD Tukey^{a, b}

		Subconjunto	
Tratamiento	N	1	2
Químico	4	5,5900	
RF+HMA+HL	4	6,0075	6,0075
Testigo	4		6,7875
Sig.		0,600	0,208

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,355.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = .05.