

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ROCA FOSFÓRICA MICORRIZADA EN
PASTO Brachiaria Decumbens CV. EN UN SUELO DE SAN JUAN DE ARAMA,
META.**

ANDERSON YAMID LAGUNA DAZA COD. 111002816

CLAUDIA ROCIO PENAGOS SERRANO COD. 111002825

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ESCUELA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

INGENIERÍA AGRONÓMICA

VILLAVICENCIO-META

2018

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ROCA FOSFÓRICA MICORRIZADA EN
PASTO Brachiaria Decumbens CV. EN UN SUELO DE SAN JUAN DE ARAMA,
META.**

ANDERSON YAMID LAGUNA DAZA COD. 111002816

CLAUDIA ROCIO PENAGOS SERRANO COD. 111002825

Proyecto de Tesis presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Agrónomo.

Director: Sergio David Parra

Docente Universidad de los Llanos

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ESCUELA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

INGENIERÍA AGRONÓMICA

VILLAVICENCIO-META

2018

Nota de aceptación

Sergio David Parra

Director

Dra. Amanda Silva Parra

Jurado

Harold Bastidas

Jurado

Villavicencio, octubre de 2018

PERSONAL DIRECTIVO

PABLO EMILIO CRUZ CASALLAS

Rector

DORIS CONSUELO PULIDO DE GONZALEZ

Vice-rectora Académica

GIOVANNY QUINTERIO REYES

Secretario General

CARLOS HERNANDO COLMENARES PARRA

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

CRISTOBAL LUGO LÓPEZ

Director de Escuela de Ciencias Agrícolas

ÁLVARO ÁLVAREZSOCHA

Director del programa de Ingeniería Agronómica

Agradecimientos

A nuestro director de tesis Sergio Parra por su coordinación, dirección, apoyo y por compartir sus conocimientos para el desarrollo del trabajo de grado.

A la empresa QUIMPA LTDA por patrocinar nuestro trabajo con recursos y material necesario para el desarrollo de este.

Al ingeniero Luis Ernesto Cifuentes por confiar en nosotros para realizar el presente trabajo de investigación, por compartir recursos y conocimientos.

Al señor Luis Alfonso por permitirnos realizar la evaluación en su finca, por compartir recursos y por su apoyo durante todo el proceso.

A la Dra. Amanda Silva por su interés, asesoría científica y por compartir su experiencia e información.

A todo el personal vinculado en el Laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos por su colaboración.

Dedicatoria

Dedicada a nuestros padres por su apoyo incondicional, su comprensión, esfuerzo y colaboración durante todos estos años.

CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción.....	10
2. Planteamiento del problema.....	15
4. Objetivos.....	17
4.1 General.....	17
4.2 Específicos.....	17
5. Marco Teórico.....	18
5.1. El ciclo del fosforo.....	18
5.2. La roca fosfórica.....	22
5.3. Las micorrizas.....	24
6. Metodología.....	27
6.1. Ubicación.....	27
6.2. Diseño experimental.....	27
6.3 Variables evaluadas.....	28
6.4 Procedimiento experimental.....	29
6.5 Análisis Estadístico.....	30
7. Resultados y discusión.....	30
7.1. Contenido de micorrizas en el suelo.....	34
7.2. Comportamiento del fósforo en el suelo.....	36
8. Conclusiones.....	40
9. Bibliografía.....	41
Anexos.....	51

Lista de Tablas

Tabla 1. efecto de los tratamientos en las variables evaluadas en <i>Brachiaria decumbens</i> CV.	30
Tabla 2. Conteo inicial y final de micorrizas por el método de tamizado y centrifuga (Gerdemann & Nicholson, 1963).	34
Tabla 3. Resultados de los análisis de suelo en las variables: Profundidad, materia orgánica en porcentaje (M.O %), fosforo (P), pH, aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), carbono orgánico en porcentaje (C.O %), relación carbono - nitrógeno (C/N) y relación nitrógeno – fosforo mineralizado (N/P).	36

Lista de Figuras

Figura 1. Formas químicas de P del suelo en función del pH (Tomado de Fosforo en el suelo, 2017).	20
Figura 2. Mecanismo de adsorción de P en superficies de óxidos de Fe y Al (Tomado de Fosforo en el suelo, 2017).	21
Figura 3. Relaciones entre el ciclo del fósforo y los compartimentos orgánicos y minerales. (Tomado de dinámica del nitrógeno y el fósforo en los suelos, 2012).	21
Figura 4. Esquema taxonómico de HMA estudiados. (Tomado de Bignell et al, 2012).	26

Lista de Anexos

Anexo 1. Resultado análisis de suelo inicial.	51
Anexo 2. Resultados análisis de suelo final.	52
Anexo 3. Lote asignado para la evaluación.	53
Anexo 4. Fotografías toma de muestra de suelo (A)15 cm (B) 30 cm, para análisis químico.	53
Anexo 5. Fotos de (A) preparación del lote y delimitación para establecimientos del ensayo y (B) delimitación de tratamientos.	54
Anexo 6. Insumos: (A) roca fosfórica malla 150-200 QUIMPA Ltda., (B) micorrizas CAMPO LIMPIO y (C) DAP CIAMSA.	54
Anexo 7. Aplicación de los tratamientos.	55
Anexo 8. Homogenización de roca fosfórica y micorrizas relación 70/30.	55
Anexo 9. Tratamientos: (A) Roca fosfórica micorrizada, (B) roca fosfórica, (C) DAP y (D) testigo.	55
Anexo 10. Muestras de suelo para análisis final químico y biológico.	55

1. Introducción

Las rocas fosfóricas son unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados acumulados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito-francolita, la fosforita o fosfático se obtiene a través de la extracción de una mina y del proceso subsiguiente de molienda, pueden ser utilizadas ya sea como materia prima para la fabricación industrial de los fertilizantes fosfatados solubles en agua, o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura (FAO, 2007).

Bajo ciertas condiciones de suelo y de clima, la aplicación directa de roca fosfórica micorrizada ha demostrado ser una alternativa a la deficiencia del fósforo en el suelo, siendo viable tanto agronómicamente como económicamente, cobra importancia para su uso cuando yacimientos se encuentran cerca de las zonas de producción agrícola, ya que los fertilizantes fosfatados como los superfosfatos son fabricados y recomendados para corregir deficiencias fosfóricas, y son de mayor costo (FAO, 2007).

El principal productor de roca fosfórica para el año 2015 fue china con 120 millones de toneladas, seguido por Marruecos con 29 millones de toneladas, Estados Unidos produjo 27.400 toneladas y Rusia 11.600 toneladas anuales de RF (Jasinski, 2016). Estos cuatro países representan el 90% del total de la producción mundial, Latinoamérica solo participa con el 4.5% (Vega, 2006).

En Latinoamérica los principales productores son: Brasil con el 80% (6'100.000 ton) de la producción, México con 12% (1.677.000 ton), Venezuela con 5% (100.000 ton) y Colombia con menos del 1% con producciones de 50.000 toneladas en el año 2015 (Vega, 2006) (Jasinski, 2016).

Brachiaria decumbens, es una planta herbácea, perenne, semierecta a postrada, rizomatosa de raíces adventicias que brota de la base de los entrenudos y que dan origen a raicillas secundarias y terciarias, la mayoría de estas son delgadas, largas y fuertes. Las hojas miden entre 20 y 40 cm de largo por 10 a 20 cm de ancho y están cubiertas de tricomas con bordes duros y ásperos. Las hojas son de color verde oscuro principalmente en el primer año debido al alto contenido de clorofila. La inflorescencia está formada por varios racimos de 4 a 10 cm de largo. Las espiguillas son oblongas-elípticas gruesas de 3 a 4 mm de largo, de pedúnculo corto, alineadas en filas dobles. Las dos glumas (lema y palea) son de tamaño diferente, la inferior muy corta no llega ni a la mitad de la longitud de la espiguilla, mientras que la superior es casi tan larga como esta. Las semillas son apodícticas y algunas son fértiles, por lo cual es pasto se propaga por medio de material vegetativo. (Hess, Pardo, & Rincón, 1999)

La *B. decumbens* CV. también denominada pasto amargo o pasto peludo, es la especie más cultivada del genero *Brachiaria*, constituyéndose en la base de la alimentación de muchos sistemas de producción ganadera en el trópico, por sus altos rendimientos en materia seca y

capacidad de pastoreo (Navajas, 2011).

La fertilización de los pastos *B. decumbens* CV. en etapas de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno y fósforo, dada la importancia del fósforo para la nutrición de las plantas forrajeras, se planea la aplicación de fertilizantes, que sean de costos accesibles a los productores (Navajas, 2011) (Romero, 2003).

Para el uso pecuario, Colombia cuenta con: 30.199.949 ha, de las cuales el 69,4% corresponden a pastos y forrajes, en el Meta se aprovechan: 1.500.000 ha cultivadas con *B. decumbens* CV. (ENA, 2016), (Pérez, 2015). Es originaria de África Ecuatorial, crece de forma natural en sabanas abiertas o con presencias arbustivas en suelos fértiles y clima moderadamente húmedo; fue introducido a Colombia en 1953 y su evaluación en los llanos orientales de Colombia se inició en 1961 (Hess, Pardo, & Rincón, 1999).

El pasto *B. decumbens* CV. presenta buenas características agronómicas y crece bien en regiones de baja fertilidad con sequías prolongadas, como el pie de monte del Meta y la altillanura colombiana. Se recupera rápidamente después del pastoreo, compite bien con las malezas y se recupera en forma aceptable después de que se realizan quemas en los primeros meses del año en los llanos orientales colombianos. Sin embargo, no crece bien en zonas inundables y es muy susceptible al ataque de salivazo (Hess, Pardo, & Rincón, 1999). Es una gramínea perenne, se expande rápidamente, proporcionando una gran extensión de área verde, es resistente al pisoteo, la quema y sequía. No obstante, las características

naturales de *B. decumbens* CV. han permitido que sean reconocidas por su gran facilidad de micorrización con hongos formadores (Belezaca *et al*, 2011).

A pesar de ser una especie tolerante a condiciones adversas, su productividad puede ser mejorada mediante prácticas de manejo, una de ellas es la fertilización fosforada, el DAP es una opción, ya que es el fertilizante más utilizado en el mercado por ser una fuente de fósforo y nitrógeno con alta eficiencia para nutrir las plantas, además, es altamente soluble por lo tanto se disuelve rápidamente en el suelo para liberar fosfato y amonio disponible para las plantas (IPNI, 2017).

La roca fosfórica se presenta como una alternativa de bajo costo y su efectividad en pastos ha sido evaluada por varios autores, uno de ellos, López (1995) recomienda usarla en condiciones de suelos ácidos con pH inferior a 5,5, contenidos de calcio menor a 0.75 meq/100g y de fósforo disponible por debajo de 6 ppm (Romero, 2003).

El fósforo es un elemento nutritivo esencial para las plantas y su deficiencia reduce severamente los rendimientos de los cultivos. Los suelos neotropicales son mayormente ácidos, deficientes en cationes básicos y con un alto poder de fijación del fósforo. En vista de ello, es necesario aplicar cantidades importantes de fertilizantes fosforados para obtener un crecimiento óptimo de los cultivos, producción adecuada de alimentos y fibras (FAO, 2007).

Los sedimentos o rocas con menos del 10% (v/v) de fosfatos, reciben la denominación de fosfático, pero si el porcentaje de P₂O₅ es superior al 20% recibe el nombre de fosforita (Cantera, 2008).

La fosforita se define como una formación sedimentaria con diferentes minerales silicatados (cuarzo, glauconita, calcita, materiales arcillosos) y fosfatos, representados fundamentalmente por fluorapatito o minerales cercanos a él. El contenido de P₂O₅ varía entre 3 y 36% (Georecursos, 2005).

Debido a los efectos negativos causado por los fertilizantes químicos, la micorrización ha sido una de las técnicas empeladas para disminuir las unidades de fosforo que se aplican en los campos de cultivo; sin embargo, en los pastos aún no se ha logrado y los estudios han estado dirigidos a algunas leguminosas y muy pocas gramíneas. La inoculación con micorriza incrementa el crecimiento en el establecimiento temprano de los cultivos. Las plantas desarrollan una “calidad biológica” superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar, incrementa el rendimiento (entre 15 y 50%), protege las raíces contra ciertos hongos patógenos, aumenta hasta 50% la eficiencia en el uso de fertilizantes, disminuyendo los costos, haciendo más sostenible el ejercicio agrícola (Noda, 2009).

2. Planteamiento del problema

El fósforo es considerado como un elemento básico para la nutrición de plantas forrajeras, desempeña un papel directo en el metabolismo vegetal como conductor de energía y constituyente de compuestos orgánicos indispensables para la síntesis de proteínas, grasas y almidón (Mesa y Hernández, 1989).

Los suelos ácidos del departamento del Meta presentan un contenido de fosforo que varía entre 1 y 5 ppm, para considerar que un suelo tiene un nivel adecuado de este nutriente los valores deben encontrarse entre 20 a 30 ppm (ICA, 1992); de acuerdo a lo expresado anteriormente se considera este elemento como el más limitante en la producción de pastos (Romero *et al.*, 2003).

La productividad de bovinos depende mucho de la cantidad y de la calidad nutricional de las pasturas; sin embargo, la mayor parte de las praderas presentan baja eficiencia productiva, con signos evidentes de degradación, ocasionados por las practicas inapropiadas de manejo nutricional; tanto en la fase de establecimiento, como en su fase productiva (Pérez, 2015).

Es por ello que se ve necesario adoptar nuevas tecnologías que impacten en la calidad del suelo las cuales involucren un manejo orgánico y la utilización de inóculos microbianos

como los hongos formadores de micorrizas, con ellos se permitirá optimizar la energía solar, el nitrógeno atmosférico y la mayor absorción de fósforo, permitiendo de esta manera menor dependencia de fertilizantes de síntesis y permitiendo la producción de biomasa vegetal para animales de forma sostenible (Gonzales, 2017).

3. Justificación

Conociendo la importancia del fósforo para la nutrición de las plantas forrajeras, y reconociendo el potencial del departamento del Meta como productor de pasturas para uso pecuario, teniendo en cuenta el déficit de fósforo que presentan los suelos y su mal manejo en aspectos de fertilidad, se plantea la aplicación de fertilizantes, que sean de bajo costo y accesibles para los productores. La roca fosfórica micorrizada se presenta como una alternativa viable para el manejo nutricional de este tipo de sistemas productivos (Romero *et al.*, 2003).

Debido a la baja movilidad del fósforo en los suelos, la raíz necesita llegar a este para absorberlo, las micorrizas actúan como una extensión de la raíz de la planta, por lo tanto, la longitud absorbente de la raíz crece y la exploración del suelo aumenta para acceder al elemento y luego tomarlo (Galarza, 2008).

Estudios realizados muestran que las rocas fosfóricas en asociación con micorrizas otorgan beneficios que se reflejan en la producción de biomasa, aumento de altura en las plantas, mayor cobertura, además de se puede enmarcar en los principios de la ciencia

agroecológica, y provee una fuente de fósforo y calcio (FAO, 2007).

Por lo tanto, con el propósito de contribuir al conocimiento adecuado del uso de la roca fosfórica micorrizada y su beneficio en pasturas, se hace necesario evaluar la efectividad de esta en la calidad y contenido proteico del pasto *Brachiaria decumbens* CV. de modo, que se logre establecer un manejo y uso adecuado de la roca fosfórica micorrizada, para el establecimiento de pasturas.

4. Objetivos

4.1 General

Evaluar la eficiencia de la Roca Fosfórica micorrizada en cultivo de pasto *Brachiaria Decumbens* CV. en un suelo de san Juan de Arama, Meta.

4.2 Específicos

Evaluar características agronómicas del pasto cuando se usa la roca fosfórica micorrizada como fuente de fósforo.

Evaluar los cambios en la disponibilidad de fósforo en función de los tratamientos aplicados.

5. Marco Teórico

5.1. El ciclo del fósforo

El fósforo (P) es un elemento originario de las apatitas y depósitos de fosfato natural, donde es liberado a través del proceso de meteorización, lixiviación, erosión y extracción industrial como fertilizante. El fosfato es liberado paulatinamente de las apatitas para luego ser absorbido por las plantas y la biomasa microbiana, luego se incorpora en la materia orgánica del suelo y sedimentos, y nuevamente se deposita en formas minerales poco solubles (Aristizábal & Cerón, 2012).

El P puede añadirse al suelo por medio de fuentes orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi), las fuentes orgánicas son residuos de coral, biosólidos y residuos de plantas, que liberan compuestos como ácidos nucleicos, fosfolípidos y esteroides lo que representa entre un 30% a un 60% del P total. Las fuentes inorgánicas son los fertilizantes comerciales y los minerales del suelo, estos últimos liberan P a través del proceso de meteorización, no existe fijación biológica de P y la contribución por deposición atmosférica es muy baja. La mineralización del nitrógeno libera P inorgánico de las fuentes orgánicas del suelo. La inmovilización es el proceso inverso que convierte el P orgánico en formas inorgánicas (Murrell, 2003), las cuales se presentan generalmente fijadas en forma de fosfatos de Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , especialmente en arcillas del grupo de las caolinitas y ocluido en los óxidos de hierro y aluminio. El P aplicado como fertilizante en forma de súper fosfato, puede construir

compuestos inorgánicos inutilizables, debido a su inmovilización sobre la materia orgánica y arcillas (Aristizábal & Cerón, 2012).

Por medio de la mineralización de residuos de plantas, animales y microorganismos, retorna al suelo el fósforo inorgánico (Pi) el cual se puede presentar en la solución del suelo de dos formas diferentes: ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}), estas formas de suelo reaccionan fuertemente con la superficie de las arcillas (minerales secundarios) y otros compuestos (Murrell, 2003), los ortofosfatos primarios y secundarios son utilizados por autótrofas y heterótrofos, incluidos los descomponedores en la cadena trófica para ser devueltos por estos últimos. La disponibilidad de estos iones está fuertemente influenciada por el pH del suelo (figura 1) y por la adición de fertilizantes (Aristizábal & Cerón, 2012). Las plantas absorben el fósforo mayoritariamente como ortofosfato diácido (H_2PO_4^-) y diez veces más lento y en menor medida como ortofosfato monoácido (HPO_4^{2-}), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que el pH sube a partir de 6,5 (Pellegrini, 2017).

El fósforo intercambiable es también conocido como fósforo absorbido el cual depende del pH, este fósforo lábil puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas, como es el caso de las caolinitas a bajos valores de pH o por uniones que usan al calcio como puente a valores de pH que superan la neutralidad. Los óxidos de hierro e hidróxidos de aluminio juegan un papel importante en la retención de fósforo por los suelos, estos

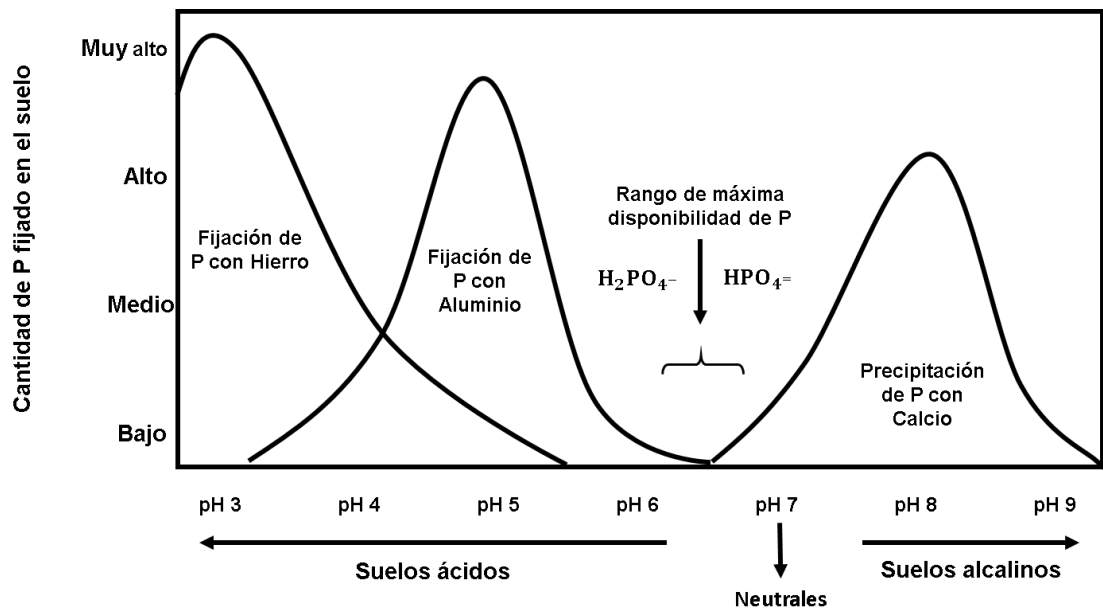


Figura 1. Formas químicas de P del suelo en función del pH (Tomado de Fosforo en el suelo, 2017).

minerales presentan carga neta positiva y reaccionan con sus opuestos, atrayendo los aniones de fosfato. Cuando el ortofosfato es ligado través de un enlace Al-O-P, el $H_2PO_4^-$ es considerado lábil, puede ser rápidamente desorbido de la superficie del mineral del suelo. Cuando ocurren dos enlaces Al-O con el $H_2PO_4^-$ se forma un anillo estable de seis elementos (ilustración 2) (Pellegrini, 2017). Una vez asimilados por las plantas, el HPO_4^{2-} y el $H_2PO_4^-$ son convertidos a formas orgánicas, como la adenosina difosfato (ADP) y la adenosina trifosfato (ATP) (Murrell, 2003).

5.2. La roca fosfórica

Se denomina Roca Fosfórica (RF) al producto obtenido de la extracción de una mina, el cual contiene altas concentraciones de minerales fosfatados y posteriormente es sometido a procesamiento metalúrgico. Además del mineral fosfatado principal, los depósitos de roca fosfórica también poseen minerales accesorios e impurezas llamados “ganga”. Sedimentos o rocas con menos del 10 % volumétricamente de fosfatos, reciben la denominación de fosfático, pero si el porcentaje de P_2O_5 es superior al 20 % recibe el nombre de fosforita. (Cantera, 2008) (FAO, 2007).

En un depósito mineral, el contenido de fosfato, se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5), el cual es un indicativo de la pureza del mismo. Los depósitos de RF más importantes son de origen sedimentario, seguidos por complejos ígneos alcalinos ricos en apatito $[Ca_5(F, Cl, OH) \text{---} (PO_4)_3]$, que representan una mezcla entre el fluoroapatito $[Ca_5(F) \text{---} (PO_4)_3]$, hidroxapatito $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$ y cloroapatito $[Ca_5(Cl) \text{---} (PO_4)_3]$ (Cantera, 2008).

Una de las principales propiedades de la RF para uso agrícola es su reactividad, la cual determina la tasa de disolución del fósforo en el suelo, para su medición se utilizan diferentes medios acuosos (ácido cítrico al 2 %, ácido fórmico al 2 % y solución neutra de citrato de amonio) como medio de extracción de contenido de P del mineral (Cantera, 2008).

La fosforita contiene entre el 26 – 28 % de P_2O_5 , el contenido de $Fe_2O_3+Al_2O_3$ no debe superar 2 – 2.5 % y el SiO_2 de 2 – 15 %, para su uso industrial. Las RF pueden ser utilizadas, ya sea como materia prima para la fabricación industrial de fertilizantes (fosfatos totalmente solubles en agua ó parcialmente acidulados), o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura (Cantera, 2008).

El proceso de beneficio de la RF consiste en el tamizado y eliminación de algunas impurezas cerca de la mina. La mayoría de la RF se utiliza para producir fertilizantes fosfatados solubles, pero una parte se utiliza para la aplicación directa al suelo. Si bien la RF puede ser una valiosa fuente de P para las plantas, no siempre es adecuada para su aplicación directa, su calidad depende en parte de las impurezas minerales de origen natural, tales como arcilla, carbonato, hierro y aluminio. La efectividad de la RF para la aplicación directa se estima en el laboratorio mediante la disolución de la roca en una solución que contiene un ácido diluido para simular las condiciones del suelo. Fuentes clasificadas como “altamente reactivas” son las más adecuadas para la aplicación directa al suelo. El uso directo de RF evita el procesamiento adicional asociado con la conversión de apatita a una forma soluble. El procesamiento mínimo puede resultar en una fuente de nutrientes de menor costo y que sea aceptable para los sistemas de producción de cultivos orgánicos (IPNI, 2018).

5.3. Las micorrizas

El término micorriza define una relación simbiótica, mutualista no patógena, entre raíces de plantas y micelios de hongos en las que ambos resultan beneficiados. Actualmente el término se considera en sentido más amplio a la asociación simbiótica entre hongo – planta que no se establece en raíces, sino en otros órganos de contacto especializados para el intercambio de nutrientes, como ocurre en orquídeas, plantas aclorofílicas y en otras “plantas inferiores”, carentes de verdaderas raíces (Honrubia, 2009).

Las micorrizas presentan un carácter heterótrofo que las condiciona a tener una fuente carbonada a partir de otros organismos. Los hongos micorrízicos reciben directamente de las plantas los azúcares que precisan para desarrollarse, a cambio captan del suelo y ceden a sus hospedantes vegetales los nutrientes minerales y el agua que estos necesitan para crecer (Honrubia, 2009).

Actualmente se reconocen siete diferentes tipos de micorriza considerando tanto sus características estructurales como el grupo taxonómico del hongo o la planta involucrada y las alteraciones morfológicas que experimentan las partes en el desarrollo de la nueva estructura. Dentro de ellas están: hectomicorriza, micorriza arbuscular (HMA), endomicorriza, micorriza ericoide, ectendomicorriza, micorriza arbutoide y micorriza monotrofoide (Andrade, 2010).

En este caso nos centraremos en las micorrizas arbusculares o también conocidas como micorrizas vesículo - arbuscular. Se caracterizan por presentar una asociación obligada para el hongo que la forma, mas no para la planta, las hifas penetran la raíz, se introducen en las células y pueden formar dos tipos de estructuras, una de ellas es la estructura denominada arbusculo, la cual se origina cerca del cilindro vascular de la planta mediante numerosas ramificaciones dicotómicas sucesivas de una hifa la cual tiene la función de transferir nutrimentos desde y hacia la planta. La otra estructura es denominada vesícula la cual puede o no estar presente, es de forma ovada a esférica, puede formarse entre o dentro de las células radicales, estas son encargadas de almacenar los nutrimentos (Andrade, 2010). Los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* no producen vesículas, en lugar de ellas forman células auxiliare (Barrer, 2009).

Los hongos formadores de micorriza arbuscular pertenecen al grupo de los zigomicetos, familia *Endogonaceae*, géneros *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Entrophospora* y *Scutellospora*. Se encuentran en todos los sistemas y suelos, pueden ser heterogénea en un mismo sitio en cuanto a calidad y cantidad, actúa como un complemento de la raíz de la planta en la toma de nutrientes, especialmente en la absorción de P, aumenta la tolerancia de stress abiótico, mejora la calidad de suelo, fija N₂ y aumenta la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema determinado, siendo el principal beneficio en los suelos tropicales debido a la baja disponibilidad de P. Sin embargo, si el P no es un elemento limitante en el suelo, las micorrizas pueden reducirse y hasta inhibirse. En este caso ocurre una interacción mutualismo/parasitismo, debido a que el hongo puede estar

absorbiendo el P del suelo y no hay incremento de este en la planta, ocasionando una disminución del crecimiento (Barrer, 2009).

Las plantas micorrizadas poseen una ventaja importante con respecto a las no micorrizadas en cuanto absorción de nutrientes de poca movilidad ya que en las primeras el micelio externo se extiende a una mayor distancia en el suelo que los pelos radicales de las plantas no micorrizadas.

El pH, la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes influyen en la colonización micorrizica y el número de esporas. El nivel de pH afecta el número de esporas en el suelo debido a que un ligero aumento cambia el nivel de saturación de aluminio, causando una disminución, por lo que, en arcillas mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, favoreciendo la densidad poblacional de microorganismos y la esporulación de HMA. Los fosfatos de hierro y aluminio que tienden a formarse en suelos extremadamente ácidos, también afectan la esporulación (Barrer, 2009).

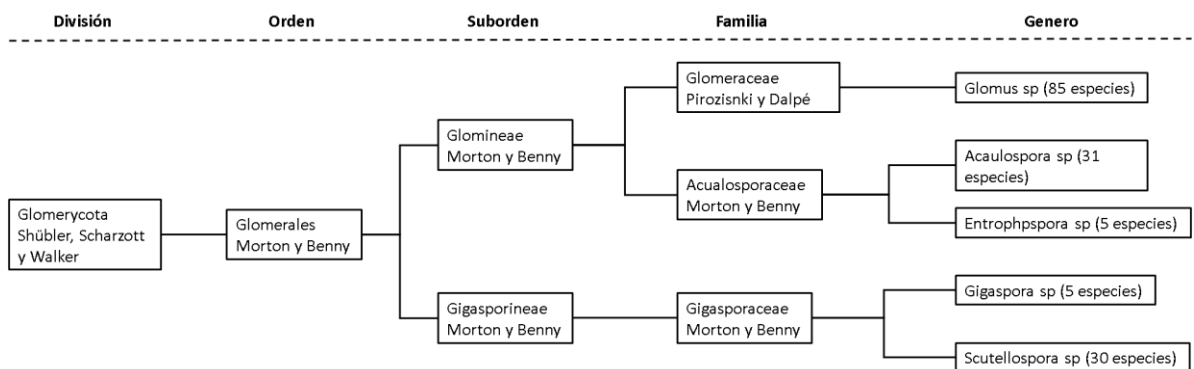


Figura 4. Esquema taxonómico de HMA estudiados. (Tomado de Bignell et al, 2012).

6. Metodología

6.1. Ubicación

La investigación se realizó en la finca La Esmeralda, vereda Vista Hermosa, municipio San Juan de Arama, Meta, Colombia, que se encuentra ubicado a una altura de 510 m.s.n.m.; cuya temperatura media anual es de 29°C y una precipitación neta que esta entre 2500 y 3500mm, siendo los suelos de esta finca pertenecientes a la consociación Typic Hapludox fuertemente ácido de baja fertilidad (IGAC 2014).

6.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño estadístico experimental en tres bloques divididos en franjas. En cada bloque se evaluaron cuatro (4) tratamientos ubicados de forma aleatoria, obteniendo un total de tres (3) repeticiones por tratamiento y doce (12) unidades experimentales. Cada bloque estuvo compuesto por un área de cuatrocientos metros cuadrados (400 m²), cada franja con un área de cien metros cuadrados (100 m²), sin ninguna división entre las franjas dentro de cada bloque. En total se trabajó un área de mil doscientos metros cuadrados (1200 m²), el experimento tuvo una duración de seis meses.

Se evaluaron cuatro tratamientos: tratamiento cero (0), testigo (sin aplicación de fosforo); tratamiento uno (1), fosforita; tratamiento dos (2), DAP; y, tratamiento tres (3), fosforita + micorrizas.

6.3 Variables evaluadas

6.3.1 Químicas: Al inicio y al final del experimento se realizó un análisis químico de suelo en dos profundidades (15 cm y 30 cm). Las muestras recolectadas se llevaron al laboratorio y se determinaron los diferentes parámetros con los siguientes métodos: materia orgánica el método de Walkley black, fosforo por el método de Bray II, cationes extraídos con $\text{AcNH}_4 \cdot 1\text{N}$, elementos menores DTPA, textura según el método de Bouyoucos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2006).

6.3.2 Morfológicas y agronómicas: se seleccionaron tres (3) plantas al azar en cada unidad experimental, para un total de nueve (9) plantas por tratamiento, estas evaluaciones se realizaron a los 45 días y a los 90 días de establecidas, en total se estudiaron treinta y seis (36) plantas donde se evaluaron las variables: altura de la planta, número de macollas, número de hojas, ancho de la hoja.

6.3.3 Biológicas: se evaluaron las concentraciones de micorrizas en el suelo al final del experimento, para ello se recolectaron muestras de suelo del tratamiento tres (3), se llevaron al laboratorio donde se pesaron 100 gramos de suelo, se dejaron en remojo durante 30 minutos, se agitaron durante 20 minutos, posteriormente se vertieron en tamices de diferentes tamaños, se colectó la fracción más fina en tubos de centrifuga y se añadió sacarosa. Se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos, el sobrenadante se vertió sobre el tamiz más fino y se lavó con abundante agua para retirar la

sacarosa. Lo colectado del tamiz se colocó en una caja de Petri con papel filtro marcado en cuadrícula para el conteo (Gerdemann & Nicholson, 1963).

6.4 Procedimiento experimental

Para el desarrollo del experimento se delimitó el área de 1200m² con ayuda de un GPS, luego se tomaron 8 muestras de suelo en 4 puntos del terreno a dos profundidades (15 cm y 30 cm) con ayuda de un barreno holandés, posteriormente se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos para análisis químico, 8 días después se aplicó una mezcla de 0,6 litros de RoundUp 480 y 0,08 litros de pegal pH en una bomba de 20 litros para el manejo de arvenses, luego de 15 días de realizado el manejo de arvenses se hizo un pase de rastra y se aplicó dolomita malla 150-200 para la corrección de la acidez, luego de 8 días se dividieron con ayuda de un decámetro los bloques (400m²) y las franjas (100m²), seguido se aplicaron los diferentes tratamientos donde se utilizaron los siguientes productos: para el tratamiento 2 se aplicó fosforita malla 150-200 de QUIMPA Ltda., para el tratamiento 3 se aplicó DAP 18-46-0 granulado de CIAMSA, y para el tratamiento 4 se hizo una mezcla 70/30 (m/m) donde 70 son de fosforita malla 150 – 200 μ de QUIMPA Ltda. y 30 son de micorrizas campo verde, que contiene esporas de micorrizas arbusculares de los géneros: *Acaulospora sp.*, *Entrophospora sp.*, *Scutellospora sp.*, *Glomus-Gigaspora*. Posteriormente, se sembraron las semillas de *Brachiaria decumbens* CV. al voleo en cada franja, las semillas se adquirieron en SEMIILLANO. Se tomaron mediciones experimentales a los 45 y 90 días a partir de la siembra de la semilla de las variables ya mencionadas y finalmente se realizó una muestra de suelo final para análisis químico

utilizando el mismo procedimiento que el inicial y un conteo de micorrizas en laboratorio biológico a los 90 días de germinada la semilla de pasto.

6.5 Análisis Estadístico

Los resultados experimentales obtenidos fueron sometidos al análisis estadístico SNK (Student-Newman-Keuls), usando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al*; 2016).

7. Resultados y discusión

Los resultados demuestran el efecto positivo de la roca fosfórica micorrizada en los dos periodos evaluados (45 y 90 días después de la siembra dds), evidenciándose en valor igual o mayor a los obtenidos con el producto comercial DAP (alternativa tradicional de fertilización) en las diferentes variables morfométricas evaluadas (tabla 1).

Tabla 1. efecto de los tratamientos en las variables evaluadas en *Brachiaria decumbens* CV.

Tratamiento	Altura de Planta (cm)		Número de Hojas		Número de Tallos		Ancho de la Hoja (cm)	
	45 días	90 días	45 días	90 días	45 días	90 días	45 días	90 días
Testigo (0)	23,44 a	66,86 a	17,78 a	61,69 a	5,08 a	16,24 a	1,00 a	1,42 a
Fosforita (1)	26,11 b	77,60 b	24,97 b	152,43 b	5,40 a	38,03 b	1,40 b	2,11 b
DAP (2)	28,11 c	83,25 c	25,97 b	171,97 c	6,42 b	43,14 c	1,69 c	2,14 b
Fosforita + Micorrizas (3)	30,12 d	80,71 c	27,24 c	173,26 c	7,15 c	43,88 c	1,67 c	3,00 c

Medidas seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas (SNK $p \leq 0.05$).

Con relación al número de hojas a los 45 dds no se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 2 (24,97 hojas y 25,97 hojas) (tabla 1), sin embargo al comparar los valores con los tratamientos 0 y 3 hay diferencias significativas (17,78; 27,24 hojas respectivamente).

El número de hojas en la planta, a los 90 días presentó diferencias significativas entre el tratamiento 0, 1, 2 y 3, sin embargo, el tratamiento 2 y 3 no presentaron diferencias significativas, de esta manera el tratamiento 3 alcanzó el mayor número de hojas por planta con 173,26, seguido por los valores del tratamiento 2 de 171,97 hojas, sin presentar diferencias significativas, el tratamiento 1 obtuvo un total de 152,43 hojas por planta y finalmente el tratamiento 0 obtuvo los resultados más bajos con 61,69 hojas en la planta.

Según Newman y Delgado, 1999, este incremento se presenta debido a que la planta requiere el máximo del proceso fotosintético para la floración, de acuerdo a esta información podemos identificar que el tratamiento 0 que no presenta aplicaciones de fósforo, presentó la menor cantidad de hojas por lo tanto se afectaron negativamente los resultados de las otras variables evaluadas, mientras que los tratamientos con aplicaciones de fósforo mostraron más del doble de hojas por planta, demostrando que el fósforo cumple un papel indispensable en los procesos fotosintéticos (Arias, 2006).

Los resultados de las mediciones a los 45 y 90 días son similares a los reportados por Luna *et al.* (2015), que evaluaron las características agronómicas de variedades de *Brachiaria* en función de los elementos mayores primario (N-P-K) y en un lapso de más de 40 días entre mediciones, observaron el aumento de más de 3 veces el número de hojas por planta.

En la variable ancho de las hojas se obtuvieron resultados con diferencias significativas a los 45 y a los 90 días de establecidas las pasturas como se observa en la tabla 1, al relacionar cada tratamiento por separado a los 45 días se encontraron diferencias significativas entre ellos, excepto entre el tratamiento 2 y 3 con valores similares de 1,67 cm y 1,69 cm respectivamente, mientras que el tratamiento 0 obtuvo el valor más bajo con 1,00 cm. Para los 90 días los resultados variaron en diferencias significativas, en este caso todos presentaron diferencias entre ellos excepto el tratamiento 1 y 2 arrojando valores de 2,11 cm y 2,14 cm, mientras que el tratamiento 3 obtuvo el valor más alto con 2,50 cm y el valor más bajo el tratamiento 0 con 1,42 cm. En este caso los valores más altos están en los tratamientos con fosforita micorrizada y con el DAP, diferenciándose del tratamiento 0 que no tuvo aplicaciones de fuentes de fósforo. Los resultados son similares a los que menciona Olivera *et al.* (2006) donde indica que el pasto *Brachiaria decumbens* CV., presenta normalmente hojas entre 1 y 2 cm de ancho. Además (Villalobos, 2015) explica que del mismo modo que el número de hojas, el ancho de la hoja se relaciona con la capacidad fotosintética de la planta.

Con relación a la altura de la planta a los 45 días se obtuvieron diferencias significativas entre todos los tratamientos, siendo el tratamiento 3 el que presenta la mayor altura, con valores de 30,12 cm, mientras que el tratamiento 0 con 23,44 cm presentó los valores más bajos, estos valores bajos se relacionan con la deficiencia de fósforo en la planta, ya que según Arias, (2006), el efecto más acentuado de la falta de fósforo es la reducción del crecimiento de la planta, mientras que en el tratamiento 3 los valores de crecimiento fueron

superiores debido a la asociación con micorrizas ya que en el trabajo realizado por Prieto *et al.* (2011), donde evaluaron la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en *Brachiaria decumbens* CV., obtuvieron un mayor crecimiento en las plantas con inoculaciones de *Scutellospora sp* y *Glomus-Gigaspora*, que son dos de las cuatro especies que hacen parte de las micorrizas aplicadas en el tratamiento 3.

Los resultados obtenidos en los tratamientos 2 (83,25 cm) y 3 (80,71 cm) a los 90 días presentaron diferencias significativas con el tratamiento 0 (66,86 cm) y 1 (77,60 cm), más no se encontraron diferencias significativas entre ellos, estos resultados se relacionan con lo dicho por Olivera *et al.* (2006) donde describe que la especie *Brachiaria decumbens* CV., puede llegar a medir entre 30 y 100 cm de largo. Además, la diferencia significativa entre el tratamiento 2 (DAP) y 3 (fosforita micorrizada) con el tratamiento 1 (fosforita), se relaciona a lo descrito por Pastrana (1994), donde menciona que la roca fosfórica presenta una asimilación más lenta por parte de la planta, por lo tanto, el crecimiento va a tardar más que las aplicaciones con fuentes de fósforo de más rápida asimilación como el DAP.

El número de tallos a los 45 días muestra diferencias significativas entre el tratamiento 2 y 3 con los tratamientos 0 y 1 que no presentaron diferencias entre ellos, el valor más alto lo obtuvo el tratamiento 3 (7,15 tallos) y el menor valor el tratamiento 0 (5,08 tallos) y 1 (5,40 tallos), relacionado con la deficiencia de fósforo en el suelo (tabla 2) y la lenta asimilación por parte de la fosforita mencionadas anteriormente, los resultados obtenidos en el

tratamiento 2 y 3 podemos relacionarlos con lo explicado por Newman y Delgado (1999), donde menciona que el número de hojas siempre será mayor al número de tallos a partir del día 28, además, de permitir observar una arquitectura de la planta que apunta a maximizar el uso de la energía solar.

A los 90 días los resultados variaron presentando diferencias significativas los tratamientos 0 y 1 y sin diferencias significativas los tratamientos 2 y 3, esto podría explicarse con lo afirmado por Romero *et al.* (2003) donde afirma que en presencia de fertilizantes se produce una mayor elongación de los tallos y por ende un incremento en la producción foliar, teniendo en cuenta también la senescencia de las hojas, razón por la cual prevalecen la cantidad de tallos por más tiempo, esto para los tratamientos 2 y 3 que presentan fertilización con fosforo de rápida absorción para la planta, a diferencia del tratamiento 1 y con mayor diferencia en el tratamiento 0 que no presenta aplicación alguna de fertilizante.

7.1. Contenido de micorrizas en el suelo

Tabla 2. Conteo inicial y final de micorrizas por el método de tamizado y centrifuga (Gerdemann & Nicholson, 1963).

Conteo de micorrizas inicial (15cm)	Conteo de micorrizas final (15cm)
800 esporas / 100gr de suelo	2650 esporas / 100gr de suelo

Para el conteo inicial de micorrizas los resultados fueron de 800 esporas por cada 100gr de suelo a 15 cm de profundidad (tabla 2), estos valores se encuentran por debajo del

promedio ya que, en lo descrito por Peña *et al*, 2006 se indica que para zonas de potreros es de aproximadamente 2000 esporas en 100gr de suelo.

Esta discrepancia en la abundancia de esporas con respecto al promedio puede estar relacionada a lo evaluado por Peña *et al*, 2006 donde menciona que para sistemas agroforestales y bosques los valores de colonización son más altos que en monocultivos y potreros (gramíneas naturales o establecidas) indicando que la simbiosis es más efectiva en ecosistemas con coberturas altamente diversas.

En los resultados del conteo de esporas de micorrizas a los 90 días en el tratamiento 3 se observaron concentraciones de 2650 esporas de hongos por cada 100gr de suelo a 15 cm de profundidad y a 30 cm de profundidad se encontraron 2160 esporas, estos resultados se asemejan a los obtenidos por Castillo *et al*. (2006) donde a los 102 días encontró promedios de 2500 esporas del genero *Glomus* por cada 100gr de suelo, mientras que en el trabajo realizado por Prieto *et al*. (2011) encontraron en promedio 230 esporas en 100gr de suelo a los 75 días de especies como *Scutellospora spp* y *Gigaspora spp*, esto hace suponer que el tiempo es un factor determinante para la esporulación de las especies de hongos en el suelo, y además, en el estudio de Castillo se utilizaron consorcios micorrízicos, tal como se realizó en nuestro ensayo, mientras que Prieto utilizó especies individuales para cada tratamiento, por lo cual los resultados que obtuvieron fueron menores.

Otro factor importante es el estrés hídrico al que estuvo sometido el pasto, ya que, en la vereda de Vista Hermosa-Meta, las precipitaciones máximas según Climate-Data.org, (2018), se dan en el mes de junio y son de 412mm y teniendo en cuenta que el pasto *Brachiaria decumbens* CV. requiere 800 mm al año para su adecuado crecimiento, podemos hablar de un estrés hídrico por parte de la planta, esto influye positivamente en el incremento de la densidad de esporas en el suelo, tal como lo menciona (Guzman & Larios, 2005), donde demostraron que al someter a plantas a estrés hídrico la esporulación aumenta un 30% con respecto a las plantas no sometidas a estrés.

Un factor clave en la extensión de la infección de micorrizas es el estado nutritivo de la planta. La carencia de fósforo tiende a promover la infección, mientras que, en un suelo con contenidos altos de nutrientes, la planta puede tratar al hongo como si fuera un patógeno ya que no obtendría ningún beneficio para mejorar la eficiencia de la absorción de nutrientes debido a que los tiene fácilmente disponibles en el suelo (Taiz & Zeiger, 2006).

7.2. Comportamiento del fósforo en el suelo

Se observa que el suelo en el que se realizó el ensayo tenía niveles bajos de fósforo, calcio, magnesio y medios de aluminio (tabla2) (ICA, 1992).

Tabla 3. Resultados de los análisis de suelo en las variables: Profundidad, materia orgánica en porcentaje (M.O %), fósforo (P), pH, aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio

(Mg), potasio (K), sodio (Na), carbono orgánico en porcentaje (C.O %), relación carbono - nitrógeno (C/N) y relación nitrógeno – fosforo mineralizado (N/P).

	Análisis inicial		Análisis final						
			Testigo		Roca fosfórica		Roca fosfórica + micorrizas		
Profundidad (cm)	15	30	15	30	15	30	15	30	
M.O. %	1.6	1.3	1.9	1.3	2.2	1.3	2.1	1.4	
P (ppm)	0.8	0.4	0.8	0.8	0.4	1.2	2.1	1.2	
pH	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7	4.8	
C.O. %	0.92	0.75	1.101	0.753	1.275	0.753	1.217	0.811	
C/N	11.5	11.5	11.58	11.58	11.59	11.58	11.59	11.58	
N/P mineralizado	30	46.5	30	30	2750	6250	15	17.5	
Mecq/100 g suelo	Ca	0.30	0.60	0.40	0.30	0.50	0.45	0.35	0.30
	Mg	0.10	0.01	0.10	0.01	0.01	0.05	0.05	0.10
	K	0.04	0.03	0.07	0.04	0.11	0.03	0.07	0.04
	Al	1.50	1.30	1.40	1.50	1.55	1.20	1.60	1.30
	Na	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02

En la tabla se puede observar que el pH inicial al igual que el final en los tratamientos no presentan ninguna variación a los 15cm de profundidad ni a los 30 cm de profundidad, manteniéndose fuertemente ácido (4.8), solo en el tratamiento de roca fosfórica + micorrizas se ve una ligera variación (4.7) a los 15 cm de profundidad (Gráfica 1), siendo aún fuerte mente ácido. Esta situación conduce a una baja solubilidad del P tal como lo señala Benavides *et al*, (2003) en donde se menciona que lo pH bajos y la alta actividad de Fe y Al conducen a una muy baja solubilidad de P, lo que nos puede indicar que el P que se aplicó al tratamiento de roca fosfórica esté retenido en las arcillas del suelo pertenecientes a la consociación Typic Hapludox fuertemente ácido de baja fertilidad (IGAC, 2014). Se puede observar una variación de incremento de P en el tratamiento de roca fosfórica + micorrizas en donde Montes *et al*, (2011), señalan que los hongos micorrízicos arbusculares actúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces incrementan

la fijación de fósforo e interactúan positivamente con los fijadores de nitrógeno, esto explicaría la breve variación en el perfil superficial del suelo.

La relación fósforo nitrógeno mineralizado es alta en todos los tratamientos, esto influye directamente sobre el pH y la solubilidad del fósforo, según Fernández (2007), el nitrógeno induce a la disminución de pH al ser absorbido como amonio. Podemos observar que a pesar que la relación N/P y el porcentaje de materia orgánica son altos en el tratamiento de roca fosfórica + micorrizas, las micorrizas arbusculares presentan un efecto positivo en cuanto al incremento de P.

En los tratamientos se observa que el Ca es bajo, y explicaría el índice bajo de P ya que el Ca es un estimulante en la absorción de P, tal como lo explica Fernández (2007) así mismo al presentar bajo contenido Ca en el suelo la absorción de P disminuye. A pesar de que el suelo es encalado, con cal Dolomita, el IPNI (1999), señala que el contacto con fertilizantes fosfatados causa pérdidas de fósforo debido a la formación de fosfatos de calcio insolubles. En el testigo a los 15 cm y en la roca fosfórica a los 30 cm se observa que se obtuvieron mayores valores de calcio, pero no se encuentra referencia alguna que sea influenciado por el tratamiento, se podría decir que se presentó un error en la toma de muestra de suelo o que la topografía del suelo influyó sobre esos datos. En la aplicación de cal Dolomita se está incorporando 13.1% de Mg, en los tratamientos el contenido de Mg fue bajo, y según Fernández (2007), la interacción entre Mg y P es baja, aunque el Mg es un transportador de

fosforo en la planta, aunque se puede relacionar la precipitación de Ca en el suelo lleva a la precipitación ya que contienen el mismo peso molecular (IPNI, 1999).

El contenido de aluminio en los tratamientos según el análisis de suelo final pre no presenta problemas para el pasto evaluado (*B. decumbens* CV.), pero la teoría nos indica que en suelos ácidos como el que tenemos en San Juan de Arama, producen la precipitación de sulfatos de aluminio, altamente solubles, lo que conduce a concentraciones muy bajas de fosfatos en el suelo.; la presencia de hidróxidos de aluminio favorece la retención de fosforo en la superficie disminuyendo su disponibilidad (Fernández, 2007).

El uso de roca fosfórica micorrizada en suelos pobres en P es importante para las plantas ya que se puede aumentar la capacidad del cultivo y aprovechar el P presente (Ferrera *et al*, 2018), además se aumenta la densidad de esporas de HMA en el suelo al pasar de 800 esporas / 100gr de suelo a 2650 esporas / 100gr de suelo, al ser comparado con el estado inicial y reduciendo la utilización de fertilizantes. De ese modo se evidencia que al aplicar Roca fosfórica micorrizada sobre una gramínea (*B. decumbens* CV.) se obtienen resultados similares a los arrojados con DAP, siendo mucho más económica la roca fosfórica micorrizada y mejorando la biología del suelo, así como su estructura y funcionamiento.

8. Conclusiones

La fertilización con RFM generó mejor comportamiento frente al DAP a los 45 días, con mayor número de hojas, altura de tallo y mayor número de tallos, mientras que a los 90 días igualó los resultados obtenidos en las mismas características. Por su parte el DAP expone mejores resultados a los 45 días para ancho de hoja, como era de esperarse el testigo presentó condiciones menos favorables en las características morfoagronómicas evaluadas, así como lo reflejan los resultados; de esta manera se afirma que la RFM es una alternativa al uso del DAP para la nutrición de los pastos en suelos ácidos.

Los contenidos de P total aumentaron en aquellos tratamientos donde se inocula *B. decumbens* CV. con hongos micorrízicos arbusculares, ya que la roca fosfórica micorrizada duplica los contenidos de P al compararse con el análisis inicial y con los demás tratamientos. Demostrando de esta manera que la roca fosfórica micorrizada incide sobre la optimización del cultivo establecido, enriqueciendo biológicamente la estructura y funcionamiento de ese suelo e incidiendo sobre el comportamiento ecológico y su productividad.

9. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda primero corregir la acidez del suelo y posteriormente aplicar la roca fosfórica micorrizada, debido a que la alta acidez del suelo puede limitar la absorción del fósforo. El producto para corregir la acidez debe ser el adecuado teniendo en cuenta las características y forma de incorporación del producto al suelo.

Es importante realizar las investigaciones durante otras épocas del año para evaluar en otras condiciones climáticas y en diferentes lugares para el cambio en las condiciones edáficas y así conocer las diferencias que se pueden encontrar con los resultados obtenidos en este estudio.

10. Bibliografía

AOAC. 1975. Official Methods of Analysis 12th ed. (Association of Analytical Chemists International: Washington, D.C. 1975

Arias, L. 2006. Deficiencias de fósforo y potasio en maíz. Efectos sobre el área foliar, crecimiento y absorción de nutrientes. Universidad de Buenos Aires.

Ariastizábal, F. & Cerón L. Julio de 2012. Dinámica del ciclo del Nitrógeno y el Fósforo en los suelos. Revista de Biotecnología, 14 (1), 285 – 295. Recuperado el 02 de Septiembre de 2018, de: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>

Andrade Antonio. 2010. Micorrizas antigua interacción entre plantas y hongos. Revista Ciencia, 84 – 90. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf

Barrer Silvia. 2009. Uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Bióloga, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Industrial de Santander, 7 (1), 123 – 132. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>

Belezaca, C., Gutierrez, V., Mora, W., Pinargote, E., Prieto, O., & Vallejo, E. 2011. Inoculación de *Brachiaria decumbens* con hongos formadores de micorriza arbuscular nativos del trópico húmedo ecuatoriano. Ciencia y Tecnología, 4(2), 9-18. Recuperado el 26 de febrero de 2017, de http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_Inoculaci%C3%B3n%20Brachiaria.pdf

Benavidez R., Boschetti N., Giuffre L. y Quintero C. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fosforo en los suelos de la Mesopotamia Argentina. Ciencia del suelo, 21 (1), 1 – 8. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Cesar_Quintero/publication/255629710_CUANTIFICACION_DE_LAS_FRACCIONES_ORGANICAS_E_INORGANICAS_DE_FOSFORO_EN_SUELOS_DE_LA_MESOPOTAMIA_ARGENTINA/links/5718f0b108ae30c3f9f2ba87.pdf

Bignell D., Huising J., Moreira F. 2012. Manua de biología de suelos tropicales. Hongos micorrizógenos arbusculares. Instituto nacional de ecología. Coyoacán, México, 220 – 222. Recuperado el 20 de septiembre del 2018, de <https://books.google.com.co/books?id=m-QMZaBiP0YC&pg=PA220&dq=Acaulospora&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjGm5ryt8rdAhWSjVvKkHU8yB4sQ6AEIXjAJ#v=onepage&q=Acaulospora&f=false>

Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuc, N. 1996. Working with Micorrizas in Forestry and Agriculture. Camberra: ACIAR. Monograph.

Cantera Víctor, E. M. 2008. Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el Dpto. del Huila. Huila: Secretaria de agricultura y minería.

Castillo C; Borie F; Godoy R; Rubio R; Sieverding E. 2006. Diversity of mycorrhizal plant species and arbuscular mycorrhizal fungi in evergreen forest, deciduous forest and grassland ecosystems of southern chile. Journal of applied botany and food quality-Angewandte botanik. 40-47.

Di Rienzo, JÁ; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2013. Grupo InfoStat, InfoStat versión 2013 (en línea). Córdoba, AR.

Espinosa J. & Molina E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. IPNI, 42. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>

ENA. 2016. Encuesta nacional agropecuaria ENA 2015. Bogotá: DANE.

FAO. 2007. Utilización de la roca fosfórica para la agricultura sostenible. Roma: Boletín FAO fertilizantes y nutrición vegetal.

Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Vol. 2. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <http://agricola-www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>> ISSN 0138-6204

Ferrera R., Hernández E., Rincón G. & Quiñones E. Junio 2012. Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*. 30 (2), 165-176. Recuperado el 1 de octubre de 2018, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n2/2395-8030-tl-30-02-00165.pdf>

Galarza C. 2008. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fosforo en el suelo. Argentina. INTA.

Gerdemann, J., & Nicholson, T. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans Br Mycol Soc*, 235-244

Georecursos, U. t. 2005. Análisis de la estructura productiva y mercados de la roca fosfórica. Bogotá.

González O. 2017. Los Hongos Formadores de Micorrizas: una estrategia biológica para mejorar las pasturas tropicales. Artículos técnicos. Departamento de investigación y desarrollo Abonamos S. A. Recuperado el 1 de octubre de 2018, de

<https://www.abonamos.com/blog/2017/10/23/los-hongos-formadores-de-micorrizas-una-estrategia-biologica-para-mejorar-las-pasturas-tropicales>

Guzman, S., & Larios, J. (2005). biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. revista de investigación y difusión científica agropecuaria , 17-31.

Hess, D., Pardo, O., & Rincón, A. 1999. Alternativas forrajeras para los llanos orientales de Colombia. Corpoica, Meta, Colombia. Villavicencio: Corpoica. Recuperado el 18 de Febrero de 2017, de <https://books.google.com.co/books?id=ohLPUQYL7rcC&pg=PT56&dq=caracteristicas+de+l+pasto+brachiaria+decumbens+ica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiw6Jjvq5zSAhWHeCYKH5JAn4Q6AEIIDAB#v=onepage&q=caracteristicas%20del%20paso%20brachiaria%20decumbens%20ica&f=false>

Honrubia Mario. 2009. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. Anales Jardín Botánico de Madrid, 66 (1), 133 – 144. Recuperado el 20 de septiembre del 2018, de https://www.researchgate.net/publication/41026058_Las_micorrizas_una_relacion_planta-hongo_que_dura_mas_de_400_millones_de_anos

ICA. (1992). Fertilización en diferentes cultivos, quinta aproximación. Bogotá, Colombia: Produmedios

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos (Sexta ed.). Bogotá: Imprenta Nacional.

IPNI. 18 de febrero de 2017. Fosfato Diamónico. Obtenido de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/3D71CA0246B0EA8E85257BBA0059CD97/\\$FILE/NSS-ES-17.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/3D71CA0246B0EA8E85257BBA0059CD97/$FILE/NSS-ES-17.pdf)

IPNI, 2003. Transformaciones de los nutrientes en el suelo. Canadá. Instituto de la Potasa y el Fósforo en los suelos. Recuperado el 3 de septiembre del 2018, de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/\\$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf)

IPNI. 19 de septiembre de 2018. Roca fosfórica. Fuente de Nutrientes Específicos. Recuperado el 19 de septiembre del 2018 de [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/87987AB4CE177BBC85257BBA0059D2C2/\\$FILE/NSS-ES-19.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/87987AB4CE177BBC85257BBA0059D2C2/$FILE/NSS-ES-19.pdf)

Jasinski, S. 2016. 2015 Minerals Yearbook: Phosphate rock. Estados Unidos: USGS: United States Geological Survey.

Kass, D. C. 1998. Fertilidad de los suelos. San José de Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia.

Luna, R. Reyes, J. Avellaneda, J. Espinoza, A. Iza, Bárbara y Luna, M. 2015. Respuesta agronómica de tres variedades de *Brachiaria* en el cantón El Empalme provincia del Guayas, Ecuador. Nota técnica. Ciencia y tecnología. 8. Pág.: 45-50.

Mesa A.; Hernández M. 1989. Fertilización fosfórica en pastos tropicales. Pastos y Forrajes. v. 12, n. 1, p. 1-14.

Montes D., Pérez A & Rojas J. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. Revista Colombiana de ciencia Animal. 3 (2), 366 – 385. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3817504>

Navajas, V. 2011. Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido mulato*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia

Newman, Y. y Delgado, H. 1999. Crecimiento del pasto buffel. Arquitectura de planta. Rev.Fac. Agron. 16. Pág.: 319-326.

Noda, Y. Junio de 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos y Forrajes, 32(2), 1-10. Recuperado el 26 de febrero de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001

Olivera, Y. Machado, R y Pozo, P. 2006. Botanical and agronomic characteristics of important forage species of the *Brachiaria* genus. Pastos y forrajes. 29. Pág.: 5.

Pastrana, L. 1994. Respuesta de *Brachiaria* decumbens a la aplicación de dos fuentes de fosforo en un suelo acido. Pasturas tropicales. 16. Pág.: 32.

Pellegrini, A. 2017. Fosforo en el suelo. Universidad nacional de la Plata. Recuperado el 13 de septiembre de 2018, de http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35407/mod_resource/content/1/TEMA%2013%20-%20F%C3%93SFORO.pdf

Peña, C., Cardona, G., Arguelles, J., & Arcos, A. (2006). Micorrizas arbusculares de la amazonia colombiana. Amazonas: Instituto amazonico de investigaciones cientificas SINCHI.

Pérez O. 2015. Establecimiento y manejo de especies forrajeras para producción bovina en el trópico bajo. La Libertad. CORPOICA.

Prieto, O. Belezaca, C. Mora, W. Vallejo, E. Gutiérrez, V y Pinargote, E.2011. Inoculación de *Brachiaria* decumbens con hongos formadores de micorriza arbuscular nativos del

trópico húmedo ecuatoriano. Ciencia y tecnología. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.


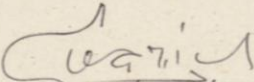
Romero C.; Alfonso S.; Medina R.; Flores R. 2003. Evaluación inicial de la fertilización con roca fosfórica en tres especies del género *Brachiaria*. Zootecnia tropical. v. 21, n. 2, p. 183-196.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). FISILOGIA VEGETAL. España: Universidad Jaume I.

Vega, A. 2006. Estudio de factibilidad del proyecto explotación de roca fosfórica. Bogotá: Universidad de la Salle.

Villalobos, L y Montiel, M. 2015. Características taxonómicas de pastos *Brachiaria* utilizados en costa rica. Nutrición animal tropical. 9. Pág. 39-56.

Anexos

	UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS					CÓDIGO: FO-GAA-92												
	PROCESO GESTIÓN DE APOYO A LA ACADÉMIA					VERSIÓN: 01 PÁGINA: 1 de 1												
	FORMATO ENTREGA DE RESULTADO ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					FECHA: 17/10/2012												
VIGENCIA: 2012																		
SOLICITANTE: CLAUDIA ROCIO PENAGOS – San Juan de Arama – Finca la Esmeralda																		
Item	Muestra Lab. No.	Ident. de Campo	Text. Tacto	M.O. %	P. ppm	pH 1:1	CATIONES meq/100g suelos					CATIONES (ppm)					CIC Meq /100g	
							Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B		S
1.	183	Carretera cementerio	FArA	2.3	4.7	4.2	1.45	0.80	0.10	0.09	0.03							
2.	184	La vega	FArA	1.5	0.8	4.4	0.80	1.20	0.60	0.26	0.02							
3.	185	La laguna	FArA	1.2	1.2	4.3	1.10	1.10	0.10	0.09	0.03							
4.	186	La ceiba	FA	1.3	0.8	4.4	0.95	1.20	0.20	0.06	0.03							
5.	187	Arroz	F	1.4	5.2	4.0	1.80	0.80	0.60	0.44	0.03							
6.	188	Cementerio 5 CM	FA	2.2	2.1	4.7	1.60	0.60	0.10	0.07	0.02							
7.	189	Cementerio 15 CM	FArA	1.6	0.8	4.8	1.50	0.30	0.10	0.04	0.02							
8.	190	Cementerio 30 CM	FArA	1.3	0.4	4.8	1.30	0.60	0.01	0.03	0.02							
M.O. Walkley black S: Fosfato monobásico de calcio Cationes: AcNH ₄ , 1N pH 7.0 Elementos Menores: DTPA. Al: KClN			B: en frío HCl. 0.05 M P: Bray II pH 1:1 (Suelo : Agua)			 LUIS ALFONSO GUARÍN GUTIÉRREZ Director Laboratorio de Suelos					Fecha de entrega							
											Día	Mes	Año	22	03	2017		
Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119; Villavicencio - Meta E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co																		

Anexo 1. Resultado análisis de suelo inicial.

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS		CÓDIGO: FO-GAA-92															
PROCESO GESTION DE APOYO A LA ACADEMIA		VERSIÓN: 01	PAGINA: 1 de 3														
FORMATO ENTREGA DE RESULTADO ANALISIS QUIMICO DE SUELOS		FECHA: 17/10/2012															
		VIGENCIA: 2012															
		Día	Mes														
		22	09														
		Año	2017														
SOLICITANTE: ANDERSON YAMID LAGUNA DAZA																	
MUNICIPIO: SAN JUAN DE ARAMA		DEPARTAMENTO: META															
		VEREDA: EL DORADO FINCA:															
Muestra Lab. No.	Ident. de Campo	Text.	M.O. %	P. ppm	pH 1:1	CATIONES meq/100g suelos					CATIONES (ppm)						
						Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S	
605	Testigo 15 cm	FArA	1.9	0.8	4.8	1.40	0.40	0.10	0.07	0.02							
Valoración:			Bajo	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							
600	Testigo 30 cm	FArA	1.3	0.8	4.8	1.50	0.30	0.01	0.04	0.01							
Valoración:			Bajo	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							
601	(RF) 15 cm	FArA	2.2	0.4	4.8	1.55	0.50	0.01	0.11	0.04							
Valoración:			Medio	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							
602	(RF) 30 cm	FArA	1.3	1.2	4.8	1.20	0.45	0.05	0.03	0.02							
Valoración:			Bajo	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							
603	(RFM) 15 cm	FArA	2.1	2.1	4.7	1.60	0.35	0.05	0.07	0.02							
Valoración:			Medio	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							
604	(RFM) 30 cm	FArA	1.4	1.2	4.8	1.30	0.30	0.10	0.04	0.02							
Valoración:			Bajo	Bajo	Muy fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119, Villavicencio - Meta
E-Mail: laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co

Anexo 2. Resultados análisis de suelo final.



Anexo 3. Lote asignado para la evaluación.



Anexo 4. Fotografías toma de muestra de suelo (A)15 cm (B) 30 cm, para análisis químico.



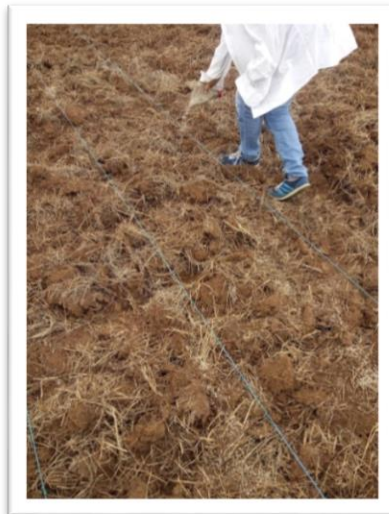
Anexo 5. Fotos de (A) preparación del lote y delimitación para establecimientos del ensayo y (B) delimitación de tratamientos.



Anexo 6. Insumos: (A) roca fosfórica malla 150-200 QUIMPA Ltda., (B) micorrizas CAMPO LIMPIO y (C) DAP CIAMSA.



Anexo 8. Homogenización de roca fosfórica y micorrizas relación 70/30.



Anexo 7. Aplicación de los tratamientos.



Anexo 9. Tratamientos: (A) Roca fosfórica micorrizada, (B) roca fosfórica, (C) DAP y (D) testigo.



Anexo 10. Muestras de suelo para análisis final químico y biológico.