INFORME DE PRUEBAS DE REACTIVIDAD DE ENMIENDAS EMPRESA RIO CLARO

1. INTRODUCCIÓN

Las enmiendas químicas se aplican a los suelos con la finalidad de modificar una o más características de estos. La efectividad de las enmiendas depende de su naturaleza química, de su condición física, del tamaño de sus partículas, de la forma de aplicación, de la naturaleza del suelo al cual se aplican y del clima.

Si bien el conocimiento de tales características de la enmienda, el suelo y el clima permite inferir en parte el efecto que su aplicación tendrá sobre el suelo, no todo su comportamiento es predecible y por ello resulta de mucha utilidad medir sus efectos sobre unas condiciones específicas de interés. Lo mismo ocurre cuando se desea comparar la efectividad relativa de diferentes enmiendas en uno o más suelos de interés particular.

Con este propósito, las enmiendas se pueden aplicar al suelo en diferentes dosis en el laboratorio, dejarlas reaccionar bajo condiciones controladas de humedad y temperatura y luego de cumplir un tiempo determinado de incubación, el suelo se analiza para establecer qué efectos se produjeron sobre él.

La prueba de reactividad PRE se inició en la segunda semana del mes de diciembre de 2011 y los análisis de laboratorio se concluyeron en la segunda semana del mes de febrero de 2012. Se evaluó el efecto de 9 tratamientos de enmienda en dos suelos seleccionados por RIO CLARO. Los tratamientos resultaron de TRES enmiendas (Mezclas Rio Claro) con TRES DOSIS, así: 1, 2 y 4 t ha^{-1} y un TESTIGO (0 t/ha) sin incorporación de enmienda por cada suelo; solo se hizo una evaluación a un (1) mes después de realizada la incorporación de las enmiendas en los dos suelos.

En el informe los resultados de la prueba se muestran en forma gráfica e interpretativa; se examinó comparativamente el efecto de los tratamientos sobre los parámetros edáficos de interés y posteriormente se sintetizó en una matriz cualitativa de cambios inducidos con símbolos que tienen en cuenta los efectos sobre los elementos así: sin efecto (0), positivos (+) y negativos (-) tomando como referencia una desviación estándar para cada elemento, estadístico que maneja actualmente el LAFS de Cenipalma en sus cuadros de control de calidad.

2. METODOLOGÍA

2.1 Suelos Empleados

Se utilizaron dos (2) suelos provenientes de las plantaciones Palmas del Sur y Palmares del Cucu ubicados en el municipio San Pablo, departamento de Bolivar, muestras previamente analizadas en el LAFS de Cenipalma y cuyos resultados se consignaron en el informe 7183, códigos S1-2715 y 2716, respectivamente.

2.2 Enmiendas

Para realizar la prueba de reactividad se utilizaron tres enmiendas suministradas por la empresa Rio Claro a las que se les denominó genéricamente como MEZCLA. Los componentes y proporcionalidad entre ellos fueron definidos por Rio Claro. En la Tabla 1 se especifican los

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

componentes de las mezclas empleadas más no su composición que es conocida y probada por Rio Claro.

.

Tabla 1. Componentes de las Mezclas de RIO CLARO evaluadas

Nombre	Componentes
Mezcla 1	Cal magnesiana 57- 33 Rio Claro
Mezcla 2	Termofosfato (TFOS) + Silimag 30-30 Rio Claro
Mezcla 3	Termofosfato (TFOS) + Silimag 30-30 Rio Claro + Fosfoyeso Rio Claro

Individualmente:

Enmienda Magnesiana 57-33 de Rio Claro tiene el 33% de CaO, 14% de MgO y 14% de SiO_2.
Termofosfato (TFOS) 20% de P2O5, 10% de P2O5 Asimilable, 28% de CaO, 8,5% de MgO y 15% de SiO2
Silimag 30-30 Rio Claro tiene el 30% de MgO y 30% de SiO_2.
Fosfoyeso Rio Claro tiene el 29,5% de CaO, 16,5% de S y 3% de P_2O_5.

2.3 Diseño de las pruebas de reactividad

La prueba de reactividad PRE fue diseñada por el ingeniero Héctor Osorno de la empresa Rio Claro para su desarrollo durante un mes de incubación bajo condiciones de laboratorio.

Las mezclas de enmiendas se aplicaron en porciones de 100 g de suelo y para calcular las cantidades que se debían emplear se establecieron los siguientes puntos:

- Densidad aparente de 1.4 $g.cm^{-3}$.
- Profundidad de incorporación de 20 cm.
- Fracción de área cubierta con la enmienda del 100%.

En la Tabla 2 se describen los tratamientos usados en la prueba.

2.4 Incubación

La incubación se mantuvo durante un (1) mes contado a partir de la incorporación de la enmienda al suelo. Las mezclas de suelo y dosis de enmienda se mantuvieron en vasos plásticos protegidos con papel aluminio a temperatura ambiente (18 a 20°C) y dos veces por semana se ajustó la humedad del suelo para mantenerlo a capacidad de campo, la cual se determina previamente.

3. RESULTADOS

Considerando la naturaleza ácida de los suelos evaluados provenientes del sur del departamento de Bolívar y la composición de las mezclas de enmiendas suministradas por RIO CLARO, luego de la incubación se llevo a cabo el análisis de los siguientes parámetros: reacción (**pH)**, acidez (**Ac**), Aluminio (**Al**)**,** Calcio (**Ca**), Magnesio (**Mg**), Fósforo (**P**) disponible y Silicio (**Si**).

En el periodo de evaluación se analizaron en el LAFS veinte (20) muestras de suelo compuestas por: dos testigos (suelos sin enmienda de Palmas del Sur y Palmares del Cucu) y 18 tratamientos.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Tabla 2. Tratamientos a ser probados con cada uno de los suelos.

Suelo	Enmiendas	Dosis (t/ha)
Suelo 1 Palmas del Sur	**Testigo**	**0**
	Mezcla 1	1
		2
		4
	Mezcla 2	1
		2
		4
	Mezcla 3	1
		2
		4
Suelo 2 Palmares del Cucu	**Testigo**	**0**
	Mezcla 1	1
		2
		4
	Mezcla 2	1
		2
		4
	Mezcla 3	1
		2
		4

Análisis de los cambios inducidos por las enmiendas

Para ser gráficos en ilustrar la acción de las enmiendas sobre los diferentes parámetros del suelo se utiliza para cada variable de respuesta una tabla o matriz de cambios en donde los símbolos indican: **(+)** efecto positivo, generalmente un aumento en el parámetro; **(-)** efecto negativo, puede ser una disminución o un aumento en el parámetro; **(0)** no causó modificación.

Para decidir con objetividad si un cambio se considera significativo, la magnitud del mismo debe ser superior a la desviación estándar que usa actualmente el Laboratorio para el análisis respectivo (Tabla 3). Para los casos en los cuales este parámetro estadístico no permite establecer diferencias significativas a pesar de que pueden identificarse variaciones en los valores obtenidos, se recomienda el análisis de regresión con el que es posible hacer evidentes los cambios en los parámetros de interés.

En la siguiente tabla se registran los valores de las desviaciones estándar consideradas.

Tabla 3. Valores de la desviación estándar considerada para cada parámetro.

Parámetro	pH	Acidez	Calcio	Magnesio	Aluminio	Fósforo	Silicio
Unidad	Unidad	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	mg/kg	mg/kg
Desviación estándar	0,06	0,11	0,28	0,12	0,12	1,13	3,74

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

3.1. Valores de pH.

Esta característica edáfica fue modificada significativamente con la adición de las distintas enmiendas, manifestándose claramente la respuesta diferencial debida a la interacción suelo – enmienda.

En el suelo de Palmas del Sur, las tres Mezclas en sus distintas dosis indujeron cambios positivos aumentando el pH del suelo. En este suelo, la aplicación de 4 t/ha de mezcla 2 generó el mayor incremento del pH pasando de 4,27 a 5,51. Cuando se usó la Mezcla 1, la dosis mayor (4 t/ha) también fue la que indujo el mayor incrementó de la reacción del suelo. Los incrementos de pH producidos al adicionar la mezcla 3 fueron significativos pero de menor magnitud en comparación con las otras dos mezclas (Figura 1).

En el suelo de Palmares del Cucu, tanto la mezcla 1 como la Mezcla 2 fueron igualmente efectivas en incrementar el pH del suelo incluso desde la más baja dosis de aplicación. En este suelo las dosis de 1 y 2 t/ha de la Mezcla 3 no afectaron significativamente el pH del suelo y la dosis de 4 t/ha apenas lo modificó desde 4,75 en el testigo hasta 4,85 en el tratamiento. La magnitud del cambio del pH en este suelo fue mucho menor comparado con lo sucedido en el suelo proveniente de Palmas del Sur (Figura 1b).

Figura 1a. Cambios en el pH del suelo de Palmas del Sur después de un mes de incubación.

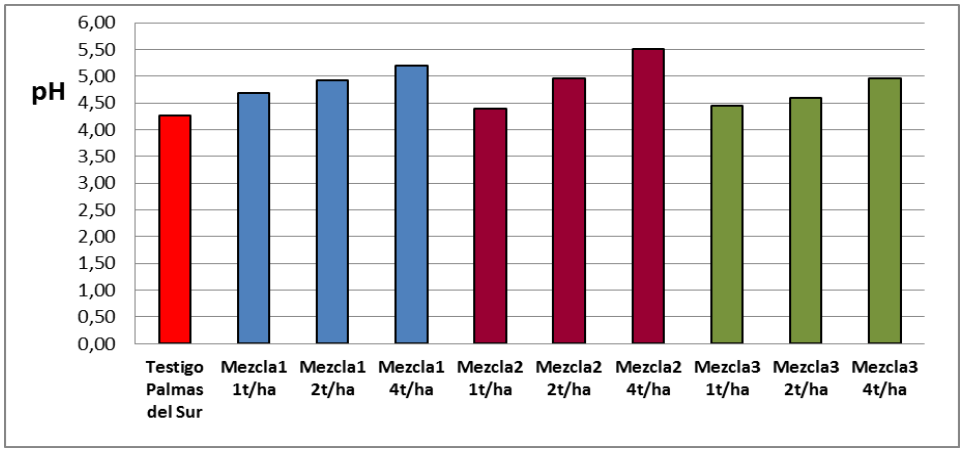
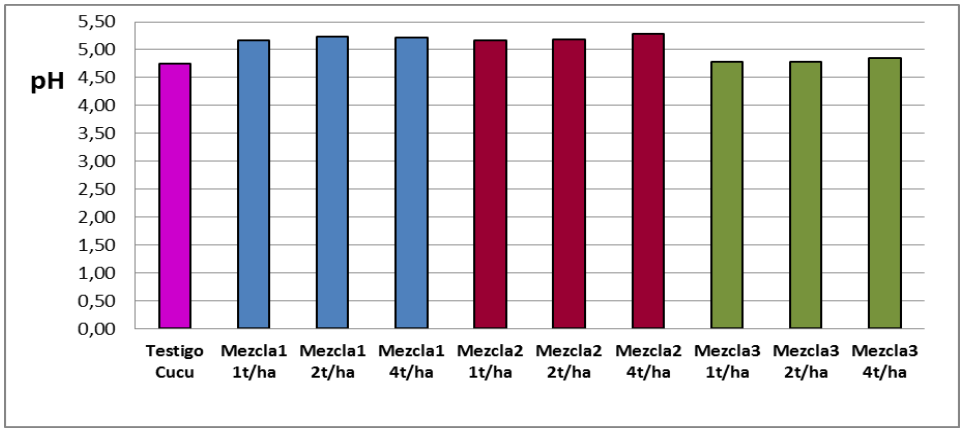


Figura 1b. Cambios en el pH del suelo de Palmares del Cucu después de un mes de incubación.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

3.2. Acidez intercambiable (cmol(+) kg^{-1}) al final de la incubación.

Similar a lo comentado para el pH del suelo, la acidez intercambiable del suelo fue afectada de manera positiva y significativa con la aplicación de las enmiendas evaluadas presentándose una respuesta diferencial debido a la interacción suelo x enmienda x dosis.

En el suelo de Palmas del Sur, el tratamiento con 4 t/ha de la mezcla 2 produjo la mayor disminución de la acidez intercambiable pasando de 0,61 cmol/kg de suelo a 0,11 cmol/kg de suelo. Para las mezclas 1 y 3, la dosis de 4 t/ha redujo en igual magnitud la acidez intercambiable llegando a 0,16 cmol/kg. La aplicación de 2 t/ha de las mezclas 1 y 2 redujeron la acidez intercambiable en un 60% aproximadamente en tanto que la mezcla 3 solo la redujo en un 40% (Figura 2 a).

Similar a lo acontecido en el suelo de Palmas del Sur, en el proveniente de Palmares del Cucu también el tratamiento con 4 t/ha de la mezcla 2 produjo la mayor disminución de la acidez intercambiable pasando de 0,94 cmol/kg a 0,32 cmol/kg de suelo (Figura 2b). Para las mezclas 1 y 2, la aplicación de 1 t/ha redujo la acidez intercambiable entre un 17 y 18%, la dosis de 2 t/ha la redujo entre un 28 a 31% y la mayor dosis la redujo entre un 49 y 66%. La dosis de 1 t/ha de la mezcla 3 no afectó significativamente la acidez intercambiable en tanto que las dosis crecientes subsiguientes si lograron su reducción (Figura 2b).

Figura 2a. Cambios en la acidez intercambiable [cmol(+) kg^{-1}] del suelo de Palmas del Sur.

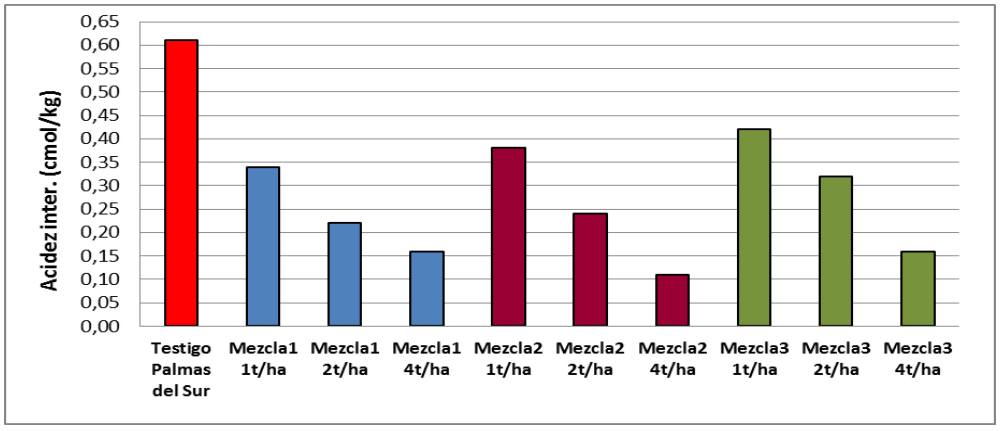
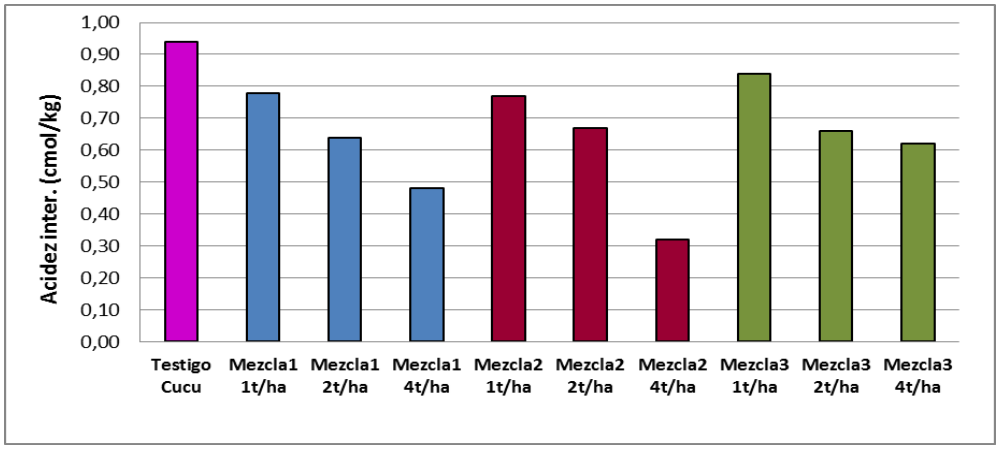


Figura 2b. Cambios en la acidez intercambiable [cmol(+) kg^{-1}] del suelo de Palmares del Cucu.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

3.3. Aluminio intercambiable (cmol(+) kg^{-1}) al final de la incubación.

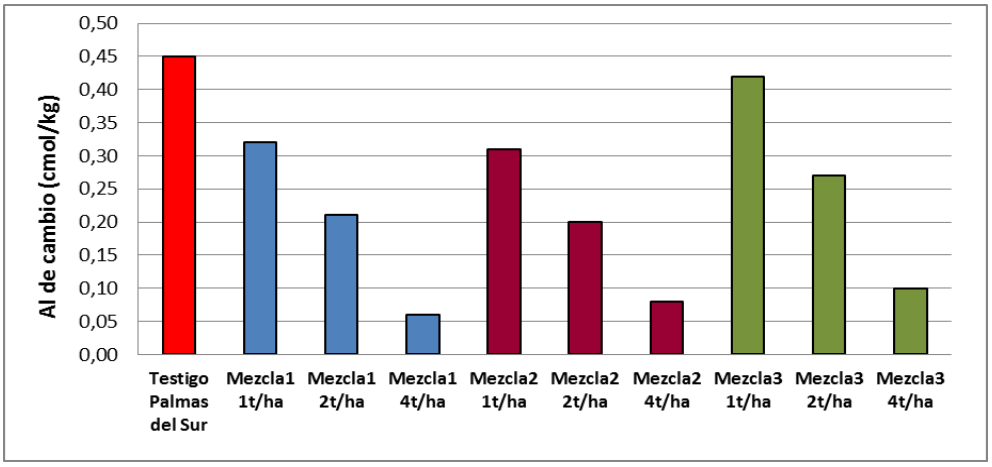
En ambos suelos analizados, las tres mezclas en las distintas dosis evaluadas afectaron de manera positiva y significativa el Al^{3+} intercambiable, provocando su neutralización.

En el suelo de Palmas del Sur, la dosis de 4 t/ha neutralizó entre 0,35 y 0,39 cmol/kg de Al de cambio equivalente a una neutralización del 75 al 86% del Al^{3+} inicial del suelo testigo (sin enmienda). El tratamiento más efectivo fue el correspondiente a 4 t/ha de la Mezcla 1 el cual llevó el Al^{3+} de 0,45 cmol/kg en el testigo a 0,08 cmol/kg de suelo (Figura 3 a)

La dosis de 2 t/ha de las Mezclas 1 y 2 neutralizaron entre un 53 y 55% del Aluminio de cambio inicial llegando a concentraciones de 0,20-0.21 cmol/kg de Al^{3+} de cambio frente a un Al^{3+} de 0,45 cmol/kg en el testigo. Esta misma dosis pero con la Mezcla 3, neutralizó el 40% del Al inicial, llevando el Al^{3+} intercambiable a 0,27 cmol/kg de suelo, tras un mes de incubación.

Con la menor dosis evaluada de 1 t/ha se afectó este parámetro solo con las Mezclas 1 y 2; la aplicación de la Mezcla 1 no afectó significativamente el Al^{3+} de cambio. Con 1 t/ha de las mezclas 1 y 2 se neutralizó el Al^{3+} intercambiable entre 0,13 y 0,14 cmol/kg de suelo equivalente a una neutralización del 29 al 31% del Al^{3+} inicial.

Figura 3 a. Cambios en la concentración de Al^{3+} intercambiable en el suelo de Palmas del Sur.



En el suelo de Palmares del Cucu, el efecto sobre el Al de cambio fue más variable tanto por las Mezclas como por las dosis evaluadas, pero en todos los casos el efecto fue positivo al provocar la neutralización del Al^{3+} intercambiable.

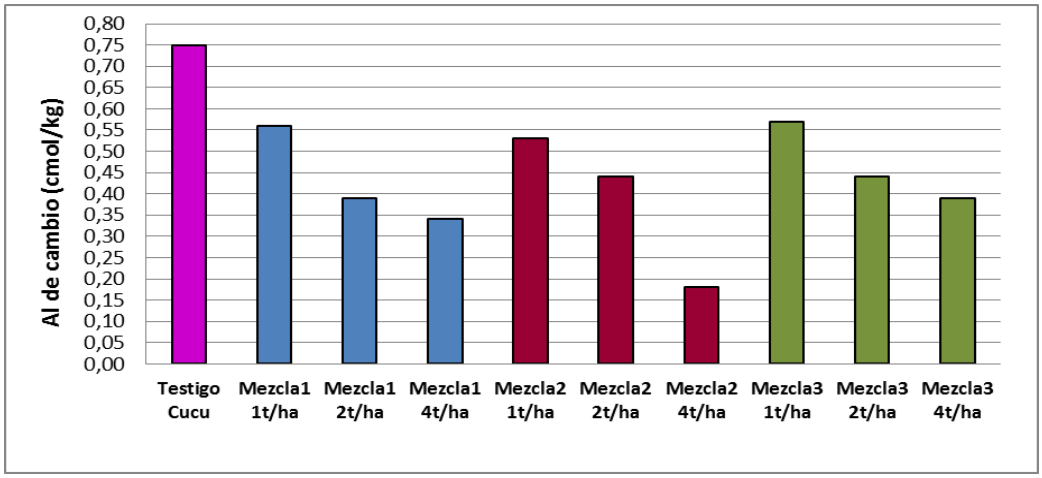
El tratamiento más efectivo fue el correspondiente a 4 t/ha de la Mezcla 2 el cual llevó el Al^{3+} de 0,75 cmol/kg en el testigo a 0,18 cmol/kg de suelo, neutralizando el 76% del Al^{3+} intercambiable inicial (Figura 3 b). En orden le siguieron los tratamientos con 4 t/ha de las Mezclas 1 y 3, que neutralizaron el 55 y 48% del Al^{3+} intercambiable inicial, respectivamente (Figura 3 b)

La dosis de 2 t/ha de las Mezclas 2 y 3 afectaron en igual magnitud el Al^{3+} de cambio, neutralizando 0,31 cmol/kg de suelo (equivalente a una neutralización del 41% del Al^{3+} inicial). Bajo esta dosis pero con la Mezcla 1 se logró una neutralización del 48% del Al^{3+} intercambiable inicial.

La dosis de 1 t/ha de las Mezclas 1 y 3, neutralizó entre 0,18 y 0,19 cmol/kg de Al^{3+} intercambiable equivalente a una neutralización del 24 – 25% del Al^{3+} inicial. Entre tanto, esta dosis pero con la Mezcla 2 logró una mayor neutralización del 29% del Al^{3+} inicial pasando de 0,75 cmol/kg en el testigo a 0,53 cmol/kg de suelo en el tratamiento.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Figura 3 b. Cambios en la concentración de Al^{3+} intercambiable en el suelo de Palmares del Cucu.



3.4. Calcio – Ca - (cmol(+) kg^{-1}) al final de la incubación.

En el suelo de Palmas del Sur, con excepción del tratamiento de 1 t/ha de la mezcla 3, todos los demás tratamientos probados aumentaron significativamente la concentración y el contenido de Ca de cambio. El tratamiento que mayor incremento produjo en el contenido de Calcio fue el de 4 t/ha de la Mezcla 2 (Figura 4 a).

La dosis de 1 t/ha de las Mezclas 1 y 2 incrementó el Calcio de cambio entre 0,30 y 0,33 cmol/kg de suelo pasando de 0,21 cmol/kg en el testigo a 0,51 y 0,54 cmol/kg en los tratamientos mencionados. Esta misma dosis de la Mezcla 3 incrementó el Calcio edáfico sin que alcanzara el valor para ser evaluado como un incremento significativo.

La dosis de 2 t/ha de las Mezclas 1 y 3 incrementó el contenido de Calcio edáfico entre 0,46 y 0,47 cmol/kg de suelo pasando de 0,21 cmol/kg en el testigo a 0,67 y 0,68 cmol/kg en los tratamientos, es decir se aumentó 3,2 veces el Calcio inicial. Esta misma dosis pero con la Mezcla 2 incrementó en 3,6 veces el Calcio inicial encontrado en el testigo.

La dosis de 4 t/ha de las Mezclas 1 y 3 incrementaron el Calcio edáfico entre 0,68 y 0,69 cmol/kg de suelo pasando de 0,21 cmol/kg en el testigo a 0,89 y 0,90 cmol/kg en los tratamientos en mención, es decir un aumento de 4,2 a 4,3 veces el Calcio inicial. Esta misma dosis pero con la mezcla 2 incrementó 5 veces el Calcio inicial encontrado en el testigo.

En el suelo de Palmares del Cucu, todos los tratamientos aumentaron significativamente la concentración y el contenido de Ca de cambio. El tratamiento que mayor incremento produjo en el contenido de Calcio fue el de 4 t/ha de la Mezcla 2 (Figura 4 b).

La dosis de 1 t/ha incrementó el Calcio de cambio entre 0,24 y 0,33 cmol/kg de suelo pasando de 0,40 cmol/kg en el testigo a 0,70, 0,73 y 0,76 cmol/kg en los tratamientos con la Mezcla 1, 3 y 2 respectivamente. Esto equivale a un incremento de 1,7 a 1,9 veces el Calcio inicial.

Con la dosis de 2 t/ha se incrementó el contenido de Calcio edáfico entre 0,51 y 0,60 cmol/kg de suelo pasando de 0,40 cmol/kg en el testigo a 0,91, 0,99 y 1,0 cmol/kg en los tratamientos con las Mezclas 3, 1 y 2 respectivamente, es decir se aumentó 2,3 a 2,5 veces el Calcio inicial.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

La dosis de 4 t/ha de las Mezclas 1 y 3 incrementaron el Calcio edáfico entre 1,02 y 1,09 cmol/kg de suelo pasando de 0,40 cmol/kg en el testigo a 1,42 y 1,49 cmol/kg en los tratamientos en mención, es decir un aumento de 3,5 a 3,7 veces el Calcio inicial. Esta misma dosis pero con la mezcla 2 incrementó 4,3 veces el Calcio inicial presente en el suelo testigo.

Figura 4 a. Cambios en la concentración de Ca^{2+} en el suelo de Palmas del Sur, después de 1 mes de incubación.

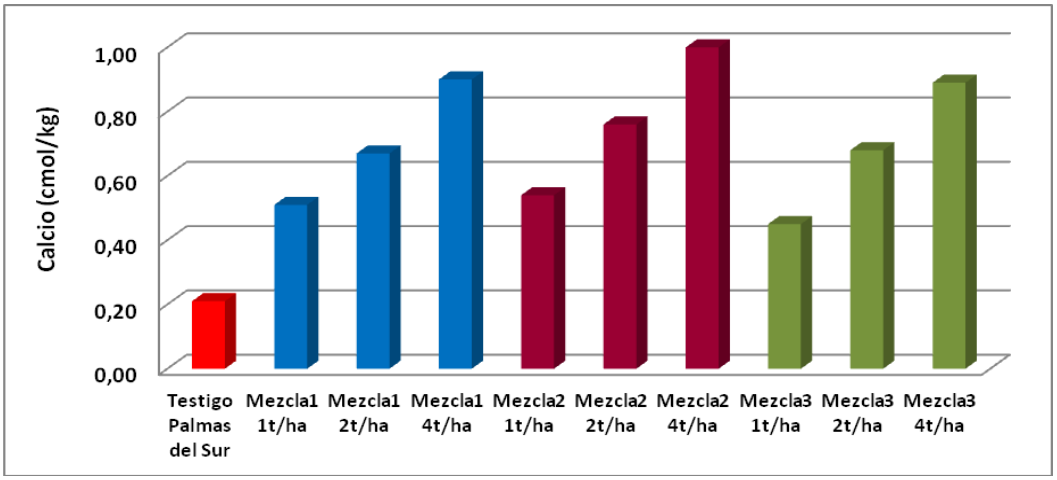
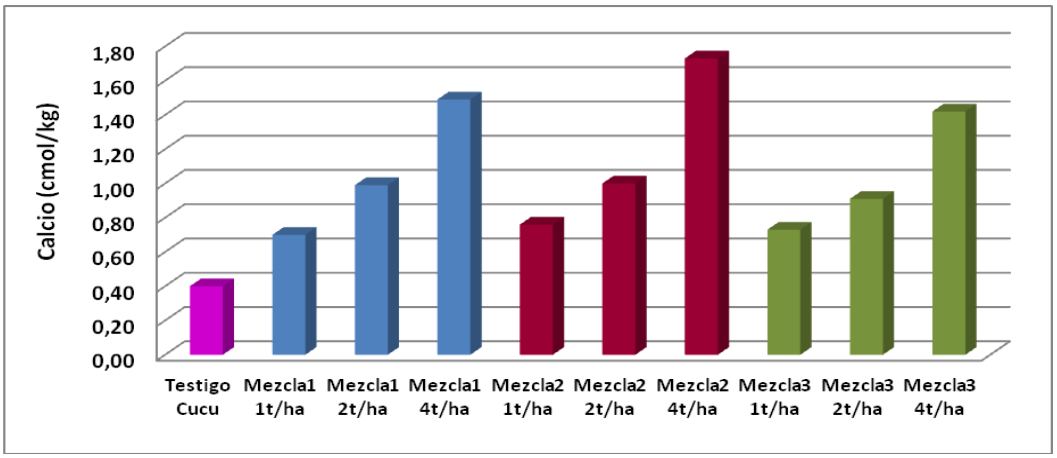


Figura 4 b. Cambios en la concentración de Ca^{2+} en el suelo de Palmares del Cucu, después de 1 mes de incubación.



3.5. Magnesio Mg (cmol(+) kg^{-1}) al final de la incubación.

Para esta característica ninguno de los tratamientos generó cambios significativos en el contenido de Magnesio de los suelos provenientes de Palmas del Sur y Palmares del Cucu. Se evidenció que por ejemplo en el suelo de Palmas del Sur, la mezcla 1 en las dosis de 2 y 4 t/ha incrementó el Mg en 0,04 centimoles de Mg por kilogramo de suelo, el cual no superó la desviación estándar para ser significativo; en la prueba se repitieron estas determinaciones por cuanto llamó la atención que aún la dosis más alta de la Mezcla1 (rica en Mg según su composición) no reaccionara para liberar Magnesio al sistema suelo y se explica probablemente porque requiera de mayor tiempo de reacción, en contacto con el suelo (Figura 5 a).

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

En el suelo de Palmares del Cucu también el tratamiento con 4 t/ha de la Mezcla 1 incrementó el Mg (en 0,07 cmol/kg) que en términos absolutos es importante pero alcanza a ser evaluado como significativo. Con el mencionado tratamiento el Mg intercambiable pasó de 0,05 cmol/kg a 0,12 cmol/kg de suelo (Figura 5 b).

Figura 5 a. Cambios en la concentración de Mg^{2+} en el suelo de Palmas del Sur

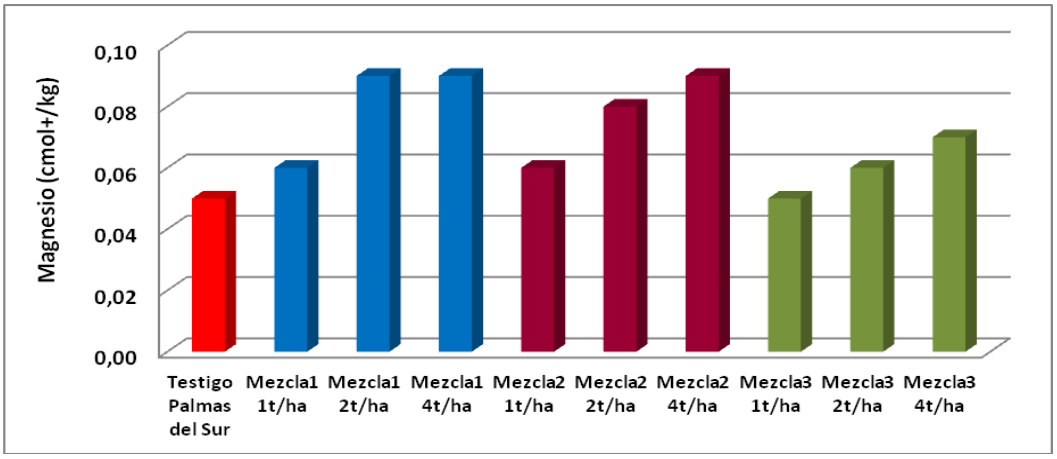
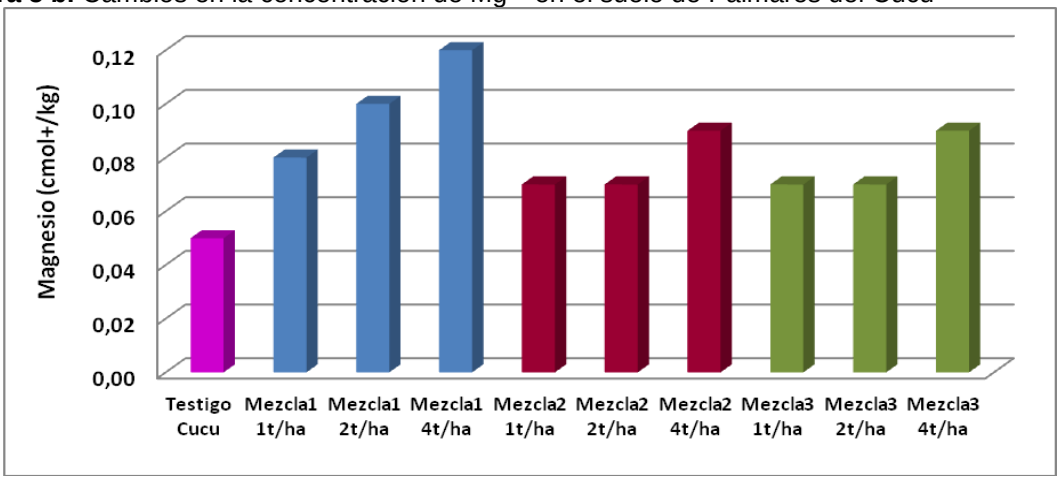


Figura 5 b. Cambios en la concentración de Mg^{2+} en el suelo de Palmares del Cucu



3.6. Fósforo – P (ppm) al final de la incubación.

En los dos suelos bajo evaluación, la Mezcla 1 en cualquiera de las dosis de aplicación no afectó el P disponible, resultado que era el esperado por cuanto esta enmienda no tiene P reportado en su composición (eenmienda Magnesiana 57-33 con el 33% de CaO, 14% de MgO y 14% de SiO_2).

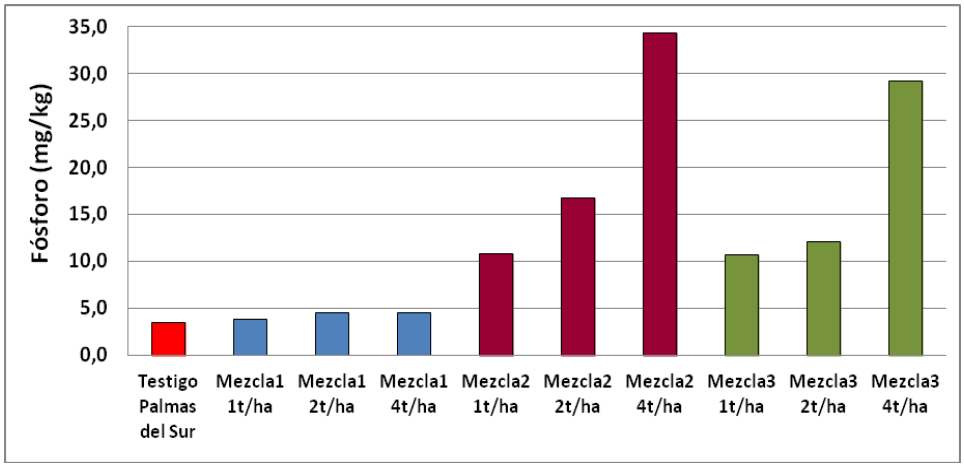
En el suelo de Palmas del Sur, la incorporación de 1 t/ha tanto de la Mezcla 2 como de la Mezcla 3 incrementó significativamente el P del suelo y en igual magnitud pasando de 3,43 mg/kg en el suelo testigo a 10,7-10,8 mg/kg en los tratamientos mencionados.

Al incrementar la dosis de aplicación se diferenció la respuesta entre fuentes, es así como con la aplicación de 2 y 4 t/ha de la Mezcla 2 se alcanzó una concentración de P disponible de 16,7 y 34,3

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

mg/kg de suelo, respectivamente. Entre tanto con 2 y 4 t/ha de la Mezcla 3 se incrementó el P disponible alcanzando 12 y 29 mg/kg de suelo, respectivamente (Figura 6 a).

Figura 6 a. Cambios en la concentración de P disponible (mg kg^{-1}) en el suelo de Palmas del Sur.

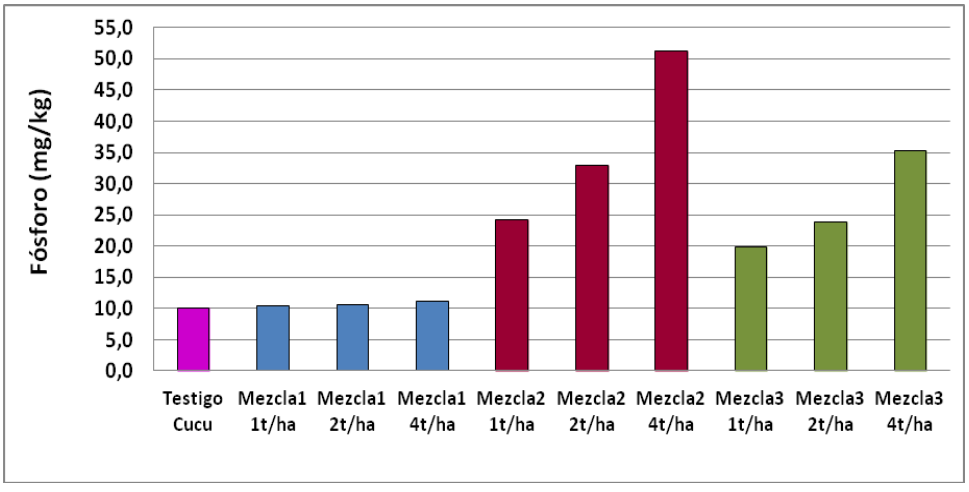


En el suelo de Palmares del Cucu, las Mezclas 2 y 3 aportaron mayor cantidad de Fósforo disponible al suelo en comparación con las distintas dosis de las dos mezclas en el suelo de Palmas del Sur; es decir se evidencia claramente la interacción de enmienda x suelo.

La incorporación de 1 t/ha de las Mezclas 2 y 3 incrementaron el P disponible de manera significativa pasando de 10 mg/kg en el suelo testigo a 24 y 20 mg/kg, respectivamente. Es decir que con una sola tonelada de estas enmiendas adiciono P entre 10 y 14 mg/kg de suelo.

Similar a lo sucedido en el suelo de Palmas del Sur, la Mezcla 2 incrementó en mayor magnitud el P disponible del suelo, es así como con 2 y 4 t/ha se pasó de 10 mg/kg en el suelo testigo a 33 y 51 mg/kg, respectivamente. Entonces con 2 t/ha de la Mezcla 2 adiciono P en cerca de 23 mg/kg de suelo y cuando aplico 4 t/ha el incremento es de 41 mg/kg (Figura 6 b).

Figura 6 b. Cambios en la concentración de P disponible (mg kg^{-1}) en el suelo de Palmares del Cucu.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Con la Mezcla 3 los resultados también fueron positivos y significativos; el P disponible en el suelo tras un mes de incubación llegó a 24 y 35 mg/kg con las dosis de 2 y 4 t/ha, respectivamente. En este suelo, la aplicación de 2 t/ha de la Mezcla 2 incrementó el P disponible en igual magnitud que la aplicación de 4 t/ha de la Mezcla 3.

3.7. Silicio – Si – (mg kg^{-1}) al final de la incubación.

En los dos suelos bajo estudio, provenientes de Palmas del Sur y Palmares del Cucu, las distintas dosis evaluadas de la Mezcla 1 no generaron incrementos significativos en el Silicio del suelo. De igual forma, la dosis de 1 t/ha de las Mezclas 2 y 3 tampoco incrementaron este parámetro edáfico (Figura 7 a).

Como se observó con otros parámetros de evaluación existieron respuestas diferenciales según el tipo de suelo (interacción Suelo x enmienda x dosis). Es así como la aplicación de 2 t/ha de la Mezcla 2 en el suelo de Palmas del Sur incrementó significativamente el Si pasando de 1,3 mg/kg en el Testigo a 9,7 mg/k en el tratamiento, es decir un incremento de 8,4 mg/kg en tanto que, esta misma dosis en el suelo de Palmares del Cucu, incrementó el Silicio en 4,5 mg/kg pasando de 6 mg/kg en el suelo Testigo a 10,5 mg/kg en el suelo tratado (Figura 7 b).

Figura 7 a. Cambios en la concentración de Si disponible (mg kg^{-1}) en el suelo de Palmas del Sur.

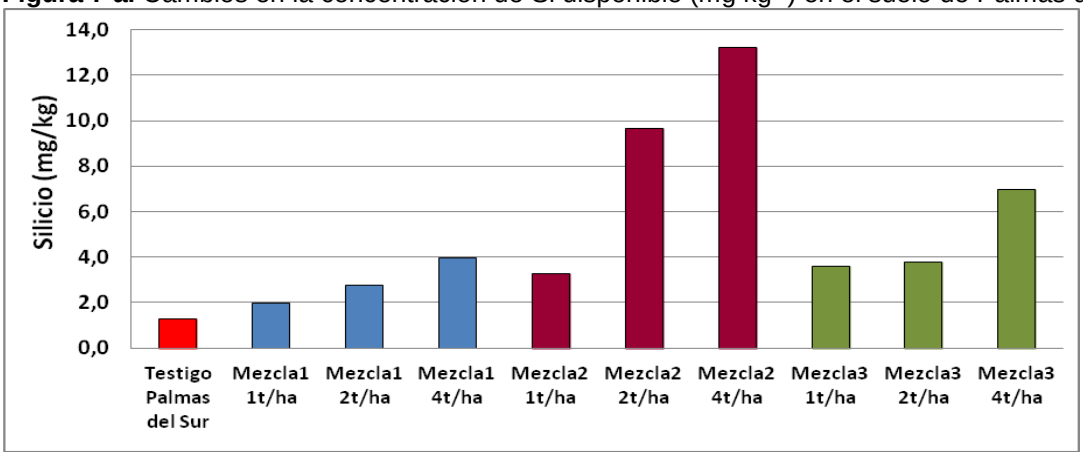
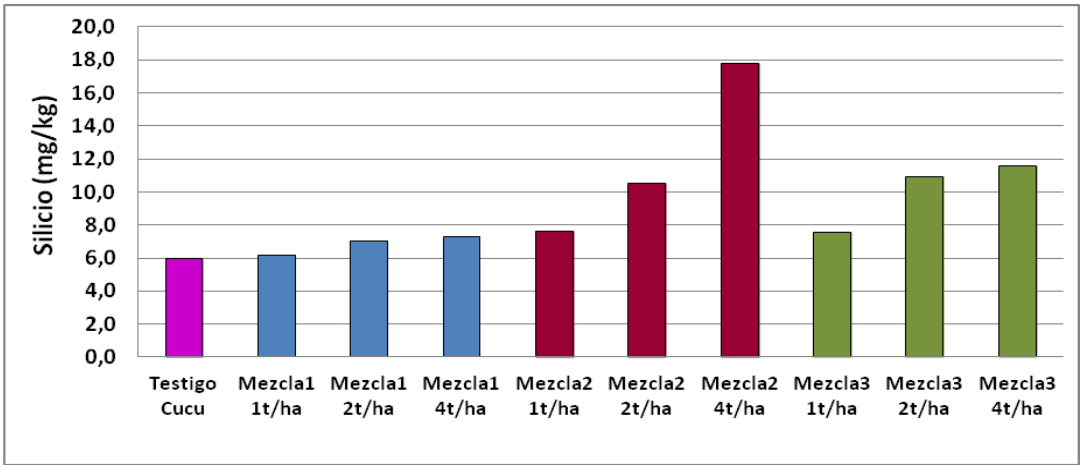


Figura 7 b. Cambios en la concentración de Si disponible (mg kg^{-1}) en el suelo de Palmares del Cucu.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

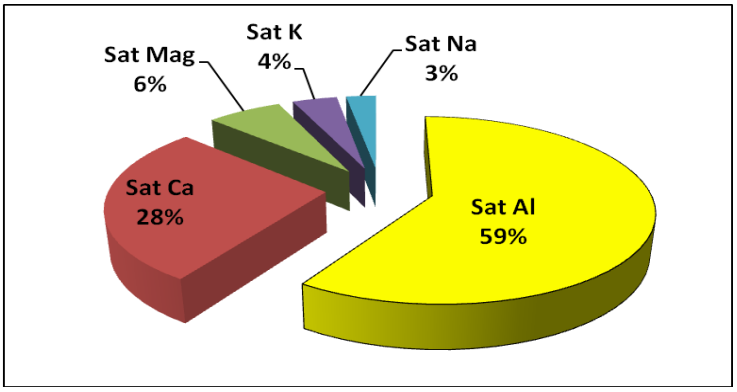
La dosis de 4 t/ha de la Mezcla 2 aumentó en igual magnitud el Silicio edáfico en los dos suelos estudiados (un incremento de 11,9 mg/kg). En el suelo de Palmas del Sur el Silicio pasó de 1,3 mg/kg en el Testigo a 11,3 mg/k en el tratamiento y en el suelo de Palmares del Cucu, el Silicio pasó de 6 mg/kg en el suelo testigo a 17,8 mg/kg en el suelo tratado (Figura 7 b).

La aplicación de 2 y 4 t/ha de la Mezcla 3 también incrementó el Si edáfico de manera significativa pero de menor magnitud en comparación con los resultados obtenidos con la Mezcla 2. La mayor dosis produjo un incremento del Si de 5,6 mg/kg en ambos suelos estudiados, llegando a 6,9 mg/kg en el suelo de Palmas del Sur y a 11,6 mg/kg en el suelo de Palmares del Cucu.

3.8. Cambios en el complejo de cambio al final de la incubación.

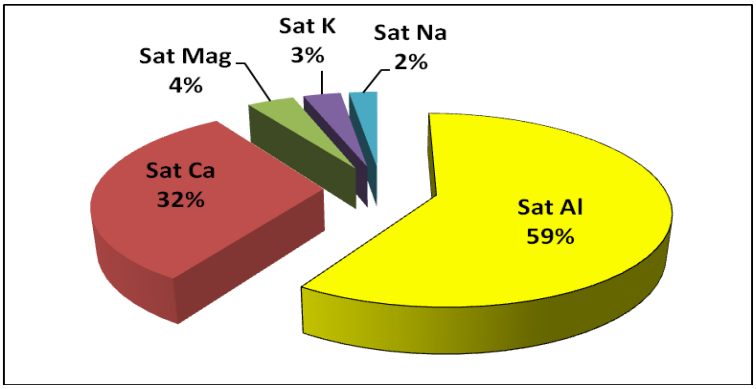
El complejo de cambio del suelo proveniente de Palmas del Sur está dominado por el Aluminio intercambiable el cual satura la capacidad en un 59%. Las saturaciones de Ca y K son moderadas con un 28% y 4%, respectivamente, en tanto que, la saturación de Magnesio es baja con un 6% (Figura 8 a). La relación Ca:Mg para este suelo, sin enmiendas, es 4:1 que se considera generalmente adecuada. Los objetivos de mejoramiento para este suelo se pueden resumir en neutralizar el Aluminio de cambio, aumentar la disponibilidad de Ca y de Mg, sin desbalancear su relación e incrementar la disponibilidad de Fósforo y Silicio.

Figura 8 a. Saturación de Aluminio y bases intercambiables en el suelo testigo de Palmas del Sur.



El complejo de cambio del suelo proveniente de Palmares del Cucu también está dominado por el Al intercambiable, que alcanza una saturación del 59%; la saturación de Ca es moderada con un 32% y baja la saturación con Mg y K que solo alcanzan al 4% y 3%, respectivamente (Figura 8 b).

Figura 8 b. Saturación de Aluminio y bases intercambiables en el suelo testigo de Palmares del Cucu.



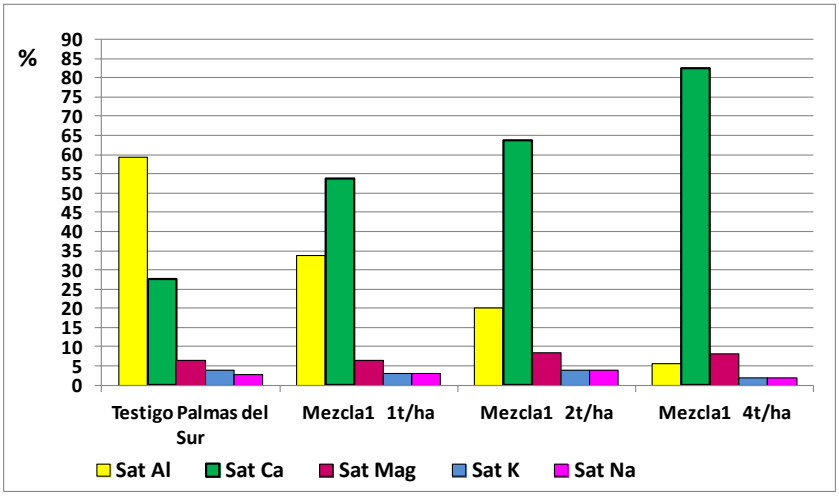
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

La relación Ca:Mg para este suelo, sin enmiendas, es 8:1 que se considera amplia y en desbalance. Los objetivos de mejoramiento para este suelo se pueden resumir en neutralizar el Al intercambiable, aumentar la disponibilidad de Mg y en menor proporción la del Ca, mejorar la relación Ca:Mg e incrementar la disponibilidad de Fósforo y Silicio.

Cambios en el suelo de Palmas del Sur, Mezclas 1, 2 y 3

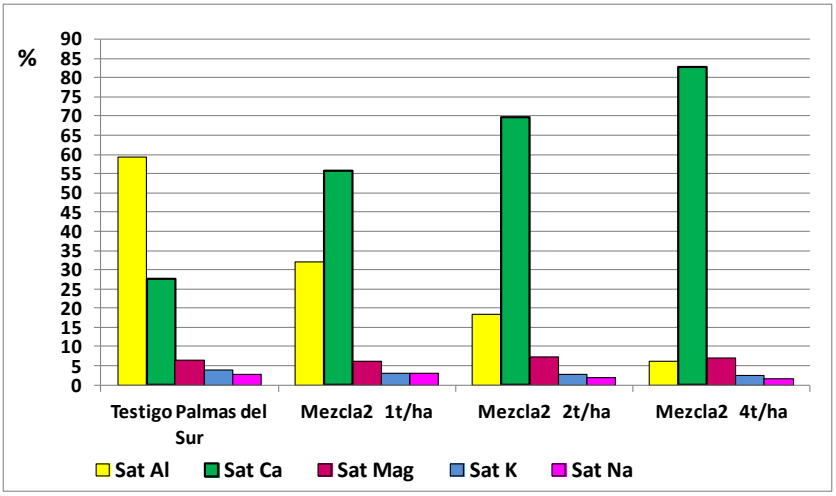
En este suelo, la adición de 1, 2 y 4 t/ha de la Mezcla 1 modificó significativa y positivamente el complejo de cambio, por cuanto disminuyó la saturación de Aluminio hasta llegar al 34, 20 y 6% respectivamente y aumentó la saturación de Ca hasta llegar al 54, 64 y 83% con las dosis crecientes, respectivamente. La saturación de Mg aumentó ligeramente desde el 7% en el suelo testigo hasta el 8% con las dosis de 2 y 4 t/ha de la Mezcla 1 (Figura 9 a)

Figura 9 a. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmas del Sur bajo tres dosis de la Mezcla 1.



Con las distintas dosis de la Mezcla 2, se generaron cambios en la saturación del complejo de cambio similares en magnitud y tendencia a las modificaciones comentadas con la Mezcla 1, tal y como se observa en la Figura 9 b.

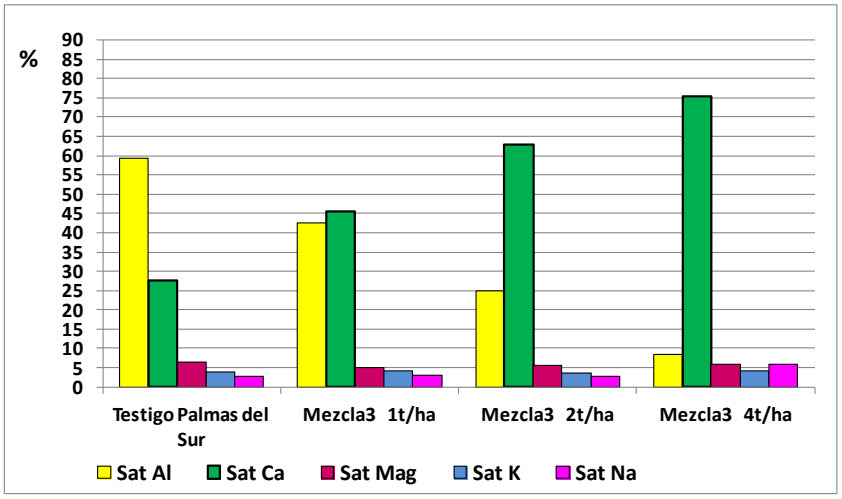
Figura 9 b. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmas del Sur bajo tres dosis de la Mezcla 2.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

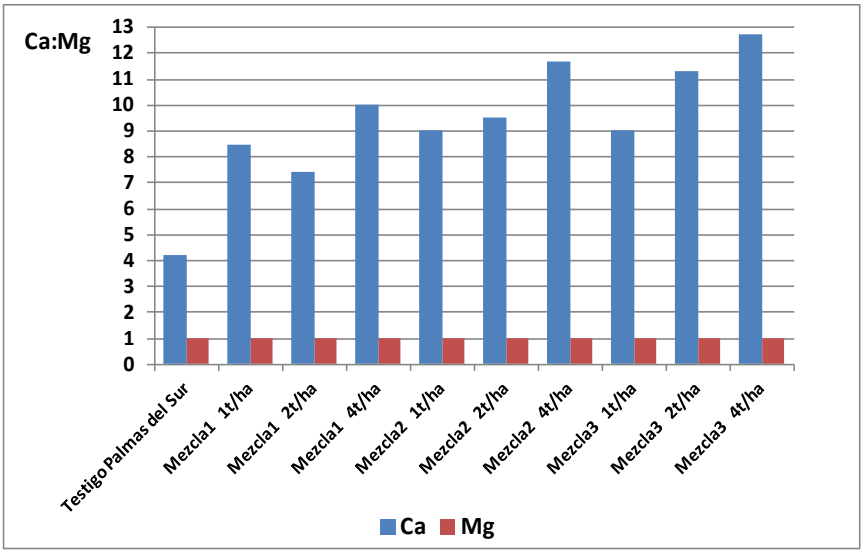
La adición de 1, 2 y 4 t/ha de la Mezcla 3 modificó significativa y positivamente el complejo de cambio por cuanto disminuyó la saturación de Aluminio hasta llegar al 42, 25 y 8% respectivamente y aumentó la saturación de Ca hasta llegar al 45, 63 y 75% con las dosis crecientes, respectivamente. La saturación de Mg no sufrió ninguna alteración con las dosis crecientes de esta Mezcla (Figura 9 c).

Figura 9 c. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmas del Sur bajo tres dosis de la Mezcla 3.



Como era lo esperado, con las distintas dosis de las mezclas 1, 2 y 3 no se encontraron modificaciones en las saturaciones de K y Na. A diferencia de lo anteriormente comentado, se esperaba que las mezclas aportaran Mg al suelo pero esto no se encontró tras un mes de incubación. Como consecuencia, las dosis crecientes de las Mezclas 1, 2 y 3, incrementaron el Ca disponible pero no el Mg y la relación Ca/Mg se amplió pasando de 4:1 en el suelo testigo a relaciones mayores en los tratamientos (Figura 10).

Figura 10. Relaciones Ca:Mg en el suelo proveniente de Palmas del Sur bajo tres dosis de las Mezclas 1,2 y 3.

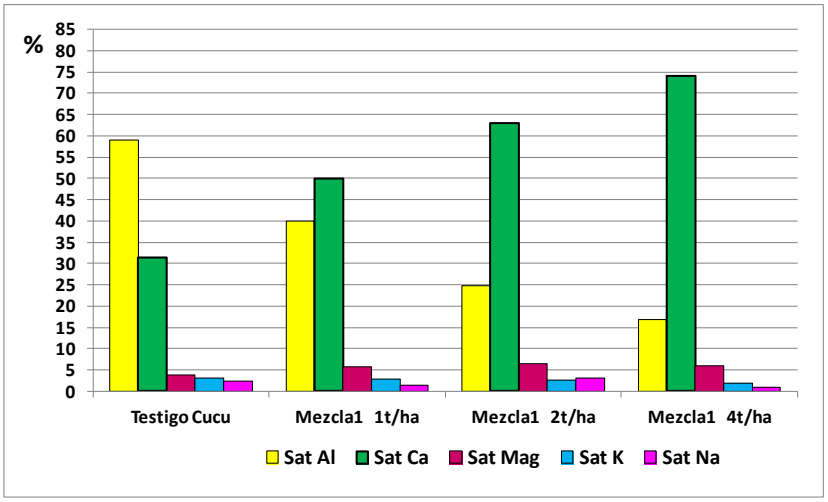


Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Cambios en el suelo de Palmares del Cucu, Mezclas 1, 2 y 3

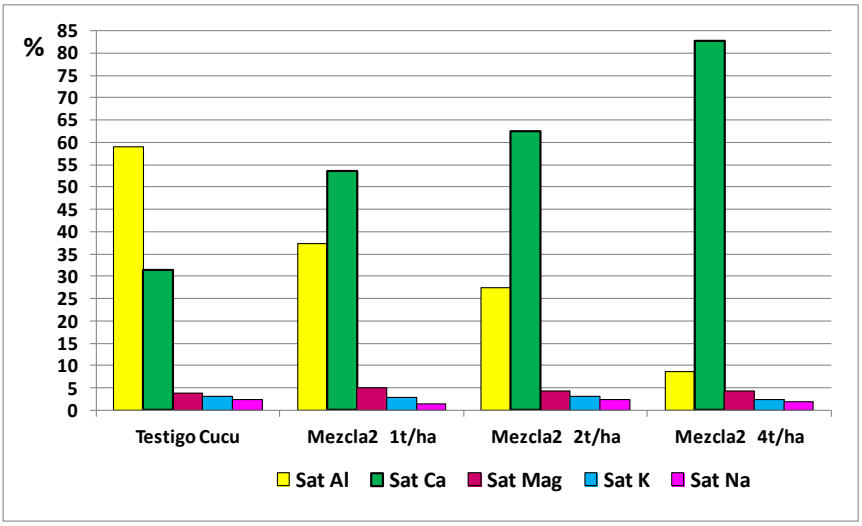
En este suelo, la adición de 1, 2 y 4 t/ha de la Mezcla 1 modificó significativa y positivamente el complejo de cambio, por cuanto disminuyó la saturación de Aluminio hasta llegar al 40, 25 y 17% respectivamente y aumentó la saturación de Ca hasta llegar al 50, 63 y 74% con las dosis crecientes, respectivamente. La saturación de Mg aumentó ligeramente desde el 4% en el suelo testigo hasta el 6% con las tres dosis de la Mezcla 1 (Figura 11 a)

Figura 11 a. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmares del Cucu bajo tres dosis de la Mezcla 1.



La adición de 1, 2 y 4 t/ha de la Mezcla 2 modificó significativa y positivamente el complejo de cambio por cuanto disminuyó la saturación de Aluminio hasta llegar al 37, 27 y 9% respectivamente y aumentó la saturación de Ca hasta llegar al 54, 62 y 83% con las dosis crecientes, respectivamente. La saturación de Mg no sufrió ninguna alteración con las dosis crecientes de esta Mezcla (Figura 11 b).

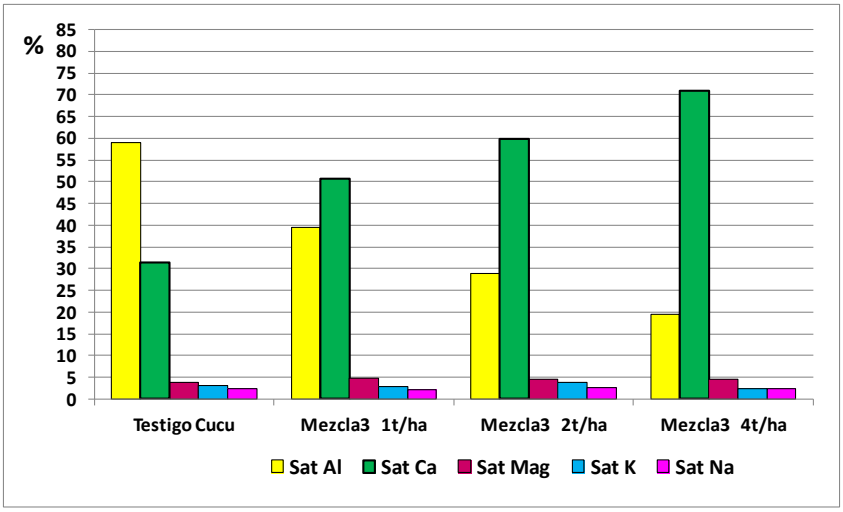
Figura 11 b. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmares del Cucu bajo tres dosis de la Mezcla 2.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

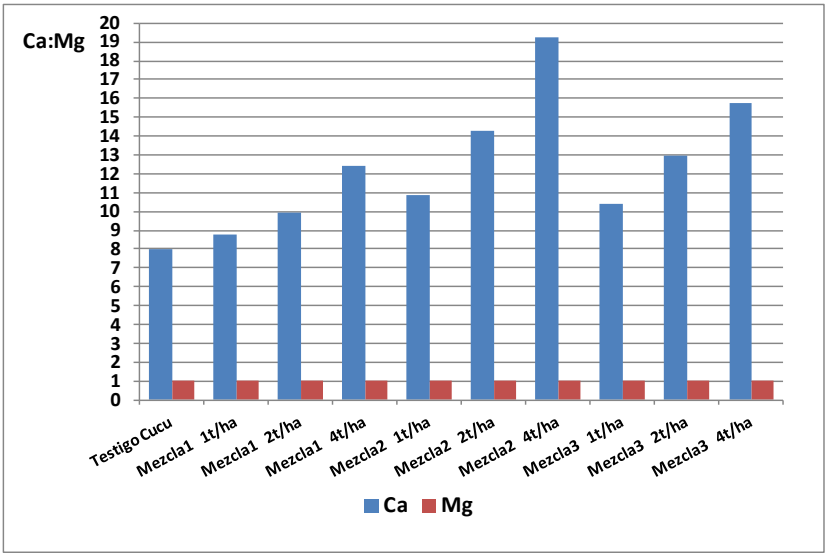
La adición de 1, 2 y 4 t/ha de la Mezcla 3 modificó significativa y positivamente el complejo de cambio por cuanto disminuyó la saturación de Aluminio hasta llegar al 40, 29 y 20% respectivamente y aumentó la saturación de Ca hasta llegar al 51, 60 y 71% con las dosis crecientes, respectivamente. La saturación de Mg no sufrió ninguna alteración con las dosis crecientes de esta Mezcla (Figura 11 c).

Figura 11 c. Saturación de Al y bases intercambiables en el suelo proveniente de Palmares del Cucu bajo tres dosis de la Mezcla 3.



Similar a lo anotado en el suelo proveniente de Palmas del Sur, en este suelo con las distintas dosis probadas de las mezclas 1, 2 y 3 no se encontraron modificaciones en las saturaciones de K y Na. Igualmente las tres mezclas no aportaron de forma significativa, Magnesio al suelo en este periodo de incubación. Como consecuencia, las dosis crecientes de las Mezclas 1, 2 y 3, incrementaron el Ca disponible pero no el Mg y la relación Ca:Mg se amplió de manera notoria pasando de 8:1 en el testigo a relaciones mayores como por ejemplo 19:1 con 4 t/ha de la Mezcla 2 (Figura 12).

Figura 12. Relaciones Ca:Mg en el suelo proveniente de Palmares del Cucu bajo tres dosis de las Mezclas 1,2 y 3.



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

3.9 Efectividad relativa de los tratamientos

Cada uno de los tratamientos (dosis de cada Mezcla probada) presentó una efectividad relativa sobre cada uno de los parámetros del suelo que se modificaron en comparación con su respectivo suelo testigo, sin enmienda. En esta PRE la efectividad de las enmiendas se pudo constatar por los cambios significativos sobre las variables de respuesta. En la Tabla 4 se presentan de mayor a menor efectividad relativa de los tratamientos respecto a los parámetros analizados.

Tabla 4. Efectividad de las enmiendas evaluadas en los suelos de Palmas del Sur y Palmares del Cucu.

Palmas del Sur	Aumento del pH	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 > 2-Mezcla2 = 4-Mezcla3 = 2-Mezcla1 > 1-Mezcla1 > 2-Mezcla3 > 1-Mezcla3 = 1-Mezcla2
	Disminución de la Acidez	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 = 4-Mezcla3 > 2-Mezcla1 = 2-Mezcla2 > 2-Mezcla3 = 1-Mezcla1 > 1-Mezcla2 > 1-Mezcla3
	Disminución del Aluminio	4-Mezcla1 > 4-Mezcla2 = 4-Mezcla3 > 2-Mezcla2 = 2-Mezcla1 > 2-Mezcla3 > 1-Mezcla2 = 1-Mezcla1
	Aumento del Calcio	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 = 4-Mezcla3 > 2-Mezcla2 > 2-Mezcla3 = 2-Mezcla1 > 1-Mezcla2 = 1-Mezcla1 > 1-Mezcla3
	Aumento del Magnesio	Ninguno de los tratamientos incrementó significativamente este parámetro
	Aumento del Fosforo	4-Mezcla2 > 4-Mezcla3 > 2-Mezcla2 > 2-Mezcla3 = 1-Mezcla2 = 1-Mezcla3
	Aumento del Silicio	4-Mezcla2 > 2-Mezcla2 = 4-Mezcla3
Palmares del Cucu	Aumento del pH	4-Mezcla2 > 2-Mezcla1 = 4-Mezcla1 > 2-Mezcla2 = 1-Mezcla1 = 1-Mezcla2 > 4-Mezcla3.
	Disminución de la Acidez	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 > 4-Mezcla3 = 2-Mezcla1 > 2-Mezcla3 = 2-Mezcla2 > 1-Mezcla2 = 1-Mezcla1
	Disminución del Aluminio	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 > 2-Mezcla1 = 4-Mezcla3 > 2-Mezcla2 = 2-Mezcla3 > 1-Mezcla2 > 1-Mezcla1 = 1-Mezcla3
	Aumento del Calcio	4-Mezcla2 > 4-Mezcla1 = 4-Mezcla3 > 2-Mezcla2 = 2-Mezcla1 > 2-Mezcla3 > 1-Mezcla2 > 1-Mezcla3 = 1-Mezcla1
	Aumento del Magnesio	Ninguno de los tratamientos incrementó significativamente este parámetro
	Aumento del Fosforo	4-Mezcla2 > 4-Mezcla3 = 2-Mezcla2 > 1-Mezcla2 = 2-Mezcla3 > 1-Mezcla3
	Aumento del Silicio	4-Mezcla2 > 4-Mezcla3 = 2-Mezcla3 = 2-Mezcla2

Se anota que:

- En el suelo de Palmas del Sur los tratamientos con la Mezcla 1, la Mezcla 2 (1 t/ha) y las dosis de 1 y 2 t/ha de la Mezcla 3, no incrementaron significativamente el Silicio del suelo.
- En el suelo de Palmas del Sur, la dosis de 1 t/ha de la Mezcla 3 no afectó significativamente el Al intercambiable y el Ca de cambio.
- En el suelo de Palmares del Cucu los tratamientos con la Mezcla 1 y la dosis de 1 t/ha de las Mezclas 2 y 3 no incrementaron significativamente el Silicio del suelo.
- En el suelo de Palmares del Cucu, las dosis de 1 y 2 t/ha de la Mezcla3 no tuvieron efecto sobre el pH.
- En el suelo de Palmares del Cucu, la dosis de 1 t/ha de la Mezcla3 no afectó la acidez intercambiable.
- En los dos suelos de estudio, la Mezcla 1 en las tres dosis probadas, no aportó fósforo al sistema edáfico.
- En los dos suelos bajo estudio, ninguno de los tratamientos incrementó de manera significativa el Mg edáfico.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

En la tabla 5 se reporta de manera resumida la matriz de cambios en los parámetros del suelo por tratamiento. Cabe recordar que 0 es para denotar que no hubo cambios significativos según la regla establecida, + para cambios positivos y – para cambios negativos en el parámetro.

Tabla 5. Matriz de cambios

Parámetro		pH	Acidez Inter	Aluminio	Calcio	Magnesio	Fósforo	Silicio
Palmas del Sur	Mezcla1 1t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla1 2t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla1 4t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla2 1t/ha	+	+	+	+	0	+	0
	Mezcla2 2t/ha	+	+	+	+	0	+	+
	Mezcla2 4t/ha	+	+	+	+	0	+	+
	Mezcla3 1t/ha	+	+	0	0	0	+	0
	Mezcla3 2t/ha	+	+	+	+	0	+	0
	Mezcla3 4t/ha	+	+	+	+	0	+	+
Palmares del Cucu	Mezcla1 1t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla1 2t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla1 4t/ha	+	+	+	+	0	0	0
	Mezcla2 1t/ha	+	+	+	+	0	+	0
	Mezcla2 2t/ha	+	+	+	+	0	+	+
	Mezcla2 4t/ha	+	+	+	+	0	+	+
	Mezcla3 1t/ha	0	0	+	+	0	+	0
	Mezcla3 2t/ha	0	+	+	+	0	+	+
	Mezcla3 4t/ha	+	+	+	+	0	+	+

4. INTERPRETACIÓN GENERAL DE LAS PRUEBAS

Los resultados de la PRE permitieron identificar cambios importantes y significativos en los parámetros del suelo, producto de la adición de las tres Mezclas Rio Claro, en dosis crecientes desde 1 t/ha hasta 4 t/ha.

A la luz de los resultados, en el suelo proveniente de **Palmas del Sur,** el tratamiento con 1 t/ha de la Mezcla 2 indujo los cambios agronómicamente más balanceados y favorables en términos de una disminución de la acidez intercambiable, disminución de la saturación de Al^{3+}, incremento en la saturación de Ca y aumento del P disponible en el suelo. Le sigue en reactividad con estos mismos resultados pero sin aumentar el P disponible del suelo el tratamiento con 1 t/ha de la Mezcla 1.

La dosis de 2 t/ha y 4 t/ha de todas las mezclas produjeron cambios notorios y significativos en términos de aminorar la acidez intercambiable, neutralizar Al^{3+} y aumentar el Calcio intercambiable, pero como las fuentes usadas no aportaron Mg de cambio, los cambios resultantes generaron desbalances en el complejo de cambio; sería oportuno entonces agregar una fuente que incremente el Mg edáfico. En general, dosis de 2 a 4 t/ha de la Mezcla 2 aportan mayores cantidades de P y Si en comparación con las Mezclas 1 y 3.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Similar a lo comentado anteriormente, en el suelo proveniente de **Palmares del Cucu**, el tratamiento con 1 t/ha de la Mezcla 2 indujo los cambios agronómicamente más balanceados por cuanto disminuyó el Al intercambiable, aumentó el Ca y aumento del P disponible en el suelo. Le sigue en reactividad, aunque con resultados de menor magnitud, el tratamiento con 1 t/ha de la Mezcla 3.

La dosis de 2 t/ha y 4 t/ha de todas las mezclas produjeron cambios notorios y significativos en términos de aminorar la acidez intercambiable, neutralizar Al^{3+} y aumentar el Ca intercambiable, pero con resultados que requieren de la adición de fuentes que aporten Mg al suelo en corto plazo y así no generar desbalances en la relación Ca:Mg.

En este suelo, las Mezclas 2 y 3 en dosis de 2 a 4 t/ha aportaron de manera significativa P y Si disponibles, siendo de mayor magnitud los resultantes de incorporar la mayor dosis de la Mezcla 2.

Llamó la atención que tras un mes de incubación, ninguna de las mezclas aportaron Mg al suelo lo cual contrasta con los moderados a altos contenidos de MgO reportados en algunos de los componentes de las mezclas.

Se ratifica la importancia de estas pruebas de reactividad (PRE) en el laboratorio, por cuanto se pudo determinar la dosis más adecuada con especificidad para el suelo de Palmas del Sur y para Palmares del Cucu y los resultados servirán para apoyar la toma de las mejores decisiones.

Finalmente, es necesario recordar que los efectos de la utilización de estas enmiendas al suelo (a los suelos) para su aplicación en el campo se puede estimar con base en estas pruebas de reactividad, pero debe tenerse en cuenta que las pruebas en el laboratorio optimizan las condiciones de reacción con el suelo y por lo tanto los efectos en la práctica pueden ser ligeramente diferentes.

Elaboró: **Edna Margarita Garzón G.**
Responsable LAFS Cenipalma
I.A. Ms.C en Ciencias Agrarias con énfasis Suelos y Aguas

Marzo 6 de 2012

Los resultados de esta prueba solo son aplicables para las muestras de suelo suministradas por Rio Claro y para las condiciones de incubación y de tratamientos que se especificaron en este informe.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

ANEXO 1. RESULTADOS DEL LAFS (Testigos y tratamientos con las Mezclas 1, 2 y 3) TRAS UN MES DE INCUBACIÓN. INFORME NÙMERO 7427

		Palmas del Sur				
Código:		**S2-0121**	**S2-0122**	**S2-0123**	**S2-0124**	**S2-0125**
Identificación:		**Testigo**	**Mezcla1 1t/ha**	**Mezcla1 2t/ha**	**Mezcla1 4t/ha**	**Mezcla2 1t/ha**
pH	Unidades	4,27	4,69	4,92	5,19	4,40
C.E.	**dS/m**	0,24	0,24	0,21	0,24	0,21
Acidez Inter	cmol(+)/kg	0,61	0,34	0,22	0,16	0,38
C.I.C.	cmol(+)/kg	1,49	1,52	1,38	1,05	1,45
Potasio	cmol(+)/kg	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03
Calcio	cmol(+)/kg	0,21	0,51	0,67	0,90	0,54
Magnesio	cmol(+)/kg	0,05	0,06	0,09	0,09	0,06
Sodio	cmol(+)/kg	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03
Aluminio	cmol(+)/kg	0,45	0,32	0,21	0,06	0,31
Silicio	mg/kg	1,27	1,98	2,78	3,98	3,26
Fósforo	mg/kg	3,43	3,86	4,46	4,55	10,80
Ca/Mg		4,20	8,50	7,44	10,00	9,00
(Ca+Mg)/K		8,67	19,00	19,00	49,50	20,00

		Palmas del Sur				
Código:		**S2-0126**	**S2-0127**	**S2-0128**	**S2-0129**	**S2-0130**
Identificación:		**Mezcla2 2t/ha**	**Mezcla2 4t/ha**	**Mezcla3 1t/ha**	**Mezcla3 2t/ha**	**Mezcla3 4t/ha**
pH	Unidades	4,96	5,51	4,44	4,60	4,96
C.E.	**dS/m**	0,22	0,16	0,30	0,36	0,55
Acidez Inter	cmol(+)/kg	0,24	0,11	0,42	0,32	0,16
C.I.C.	cmol(+)/kg	1,60	1,42	1,27	1,42	0,98
Potasio	cmol(+)/kg	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Calcio	cmol(+)/kg	0,76	1,05	0,45	0,68	0,89
Magnesio	cmol(+)/kg	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07
Sodio	cmol(+)/kg	0,02	0,02	0,03	0,03	0,07
Aluminio	cmol(+)/kg	0,20	0,08	0,42	0,27	0,10
Silicio	mg/kg	9,65	13,20	3,58	3,76	6,95
Fósforo	mg/kg	16,69	34,27	10,72	12,06	29,23
Ca/Mg		9,50	11,67	9,00	11,33	12,71
(Ca+Mg)/K		28,00	38,00	12,50	18,50	19,20

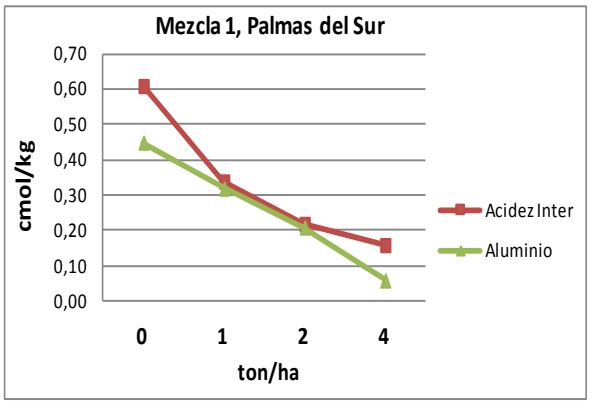
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

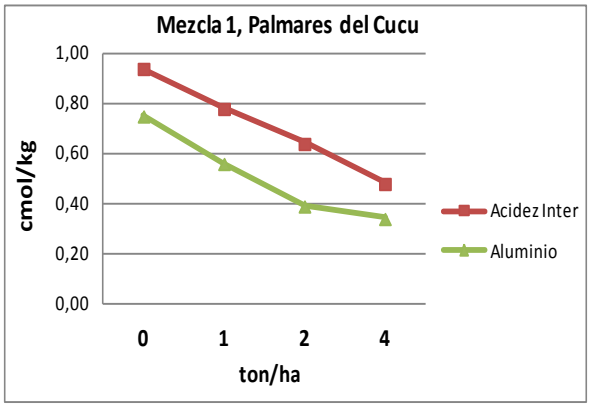
		Palmares del Cucu				
Código:		**S2-0131**	**S2-0132**	**S2-0133**	**S2-0134**	**S2-0135**
Identificación:		**Testigo Cucu**	**Mezcla1 1t/ha**	**Mezcla1 2t/ha**	**Mezcla1 4t/ha**	**Mezcla2 1t/ha**
pH	Unidades	4,75	5,16	5,23	5,21	5,16
C.E.	**dS/m**	0,06	0,06	0,06	0,11	0,06
Acidez Inter	cmol(+)/kg	0,94	0,78	0,64	0,48	0,77
C.I.C.	cmol(+)/kg	3,16	3,41	3,41	3,52	3,81
Potasio	cmol(+)/kg	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Calcio	cmol(+)/kg	0,40	0,70	0,99	1,49	0,76
Magnesio	cmol(+)/kg	0,05	0,08	0,10	0,12	0,07
Sodio	cmol(+)/kg	0,03	0,02	0,05	0,02	0,02
Aluminio	cmol(+)/kg	0,75	0,56	0,39	0,34	0,53
Silicio	mg/kg	5,95	6,14	7,00	7,27	7,60
Fósforo	mg/kg	10,10	10,40	10,60	11,10	24,23
Ca/Mg		8,00	8,75	9,90	12,42	10,86
(Ca+Mg)/K		11,25	19,50	27,25	40,25	20,75

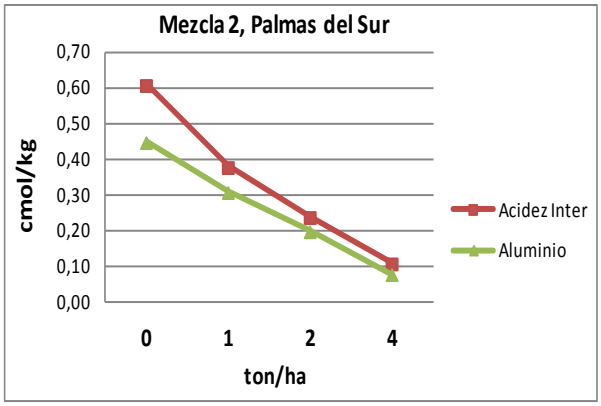
		Palmares del Cucu				
Codigo:		**S2-0136**	**S2-0137**	**S2-0138**	**S2-0139**	**S2-0140**
Identificación:		**Mezcla2 2t/ha**	**Mezcla2 4t/ha**	**Mezcla3 1t/ha**	**Mezcla3 2t/ha**	**Mezcla3 4t/ha**
pH	Unidades	5,18	5,29	4,79	4,79	4,85
C.E.	**dS/m**	0,06	0,09	0,13	0,21	0,39
Acidez Inter	cmol(+)/kg	0,67	0,32	0,84	0,66	0,62
C.I.C.	cmol(+)/kg	3,52	3,38	3,27	3,23	3,27
Potasio	cmol(+)/kg	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05
Calcio	cmol(+)/kg	1,00	1,73	0,73	0,91	1,42
Magnesio	cmol(+)/kg	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09
Sodio	cmol(+)/kg	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05
Aluminio	cmol(+)/kg	0,44	0,18	0,57	0,44	0,39
Silicio	mg/kg	10,50	17,80	7,53	10,90	11,60
Fósforo	mg/kg	32,91	51,19	19,82	23,83	35,23
Ca/Mg		14,29	19,22	10,43	13,00	15,78
(Ca+Mg)/K		21,40	36,40	20,00	16,33	30,20

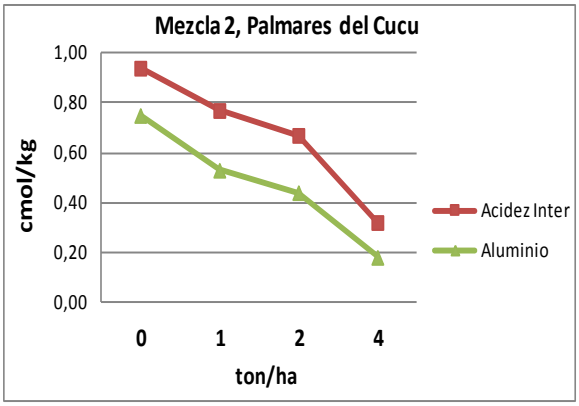
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

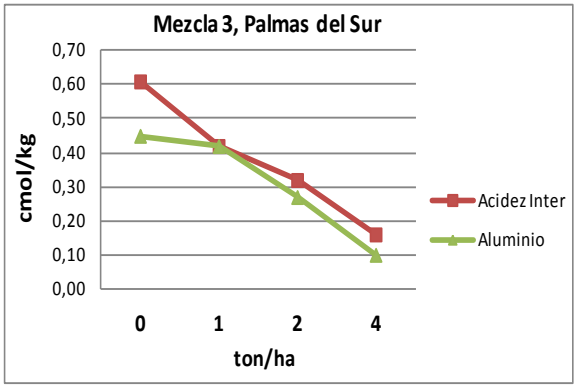
ANEXO 2. RESULTADOS EN FIGURAS TIPO LÍNEA

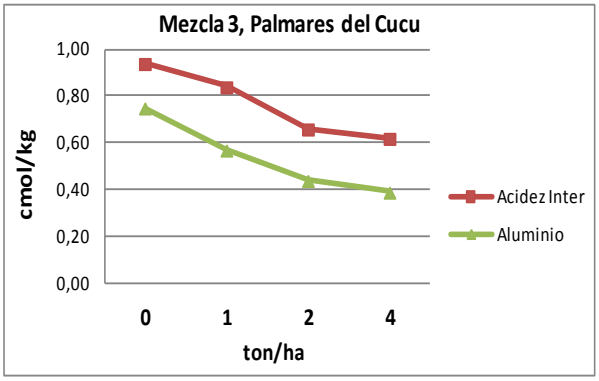




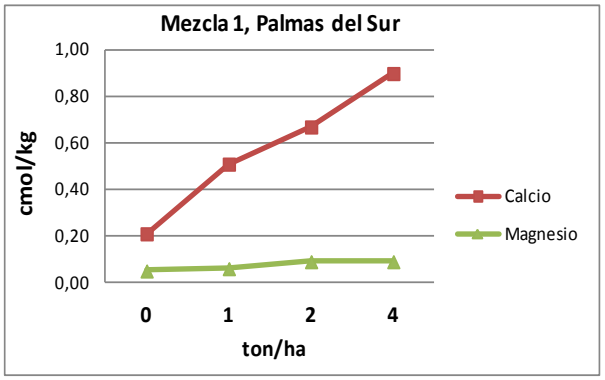


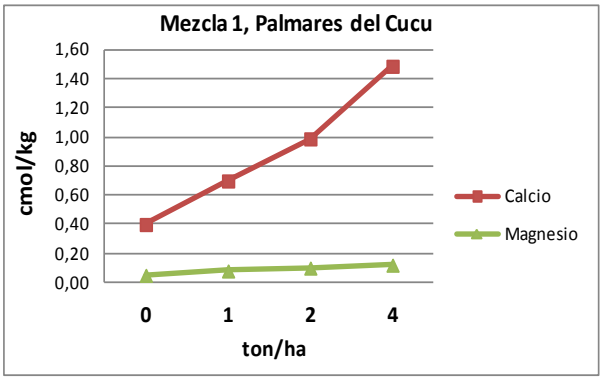


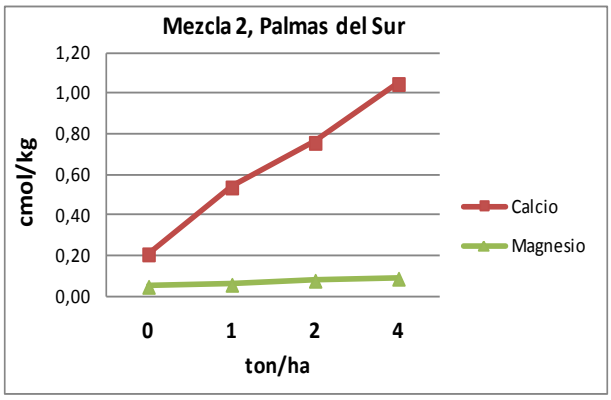


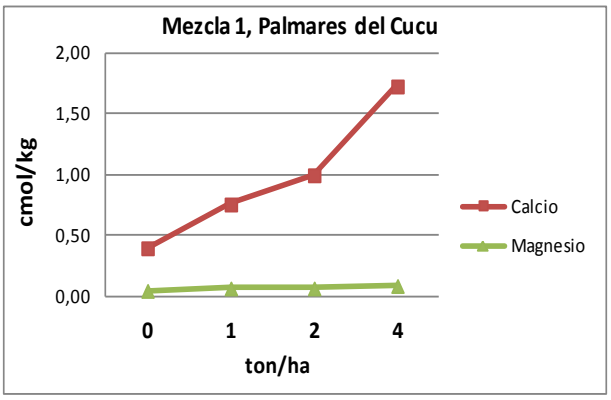


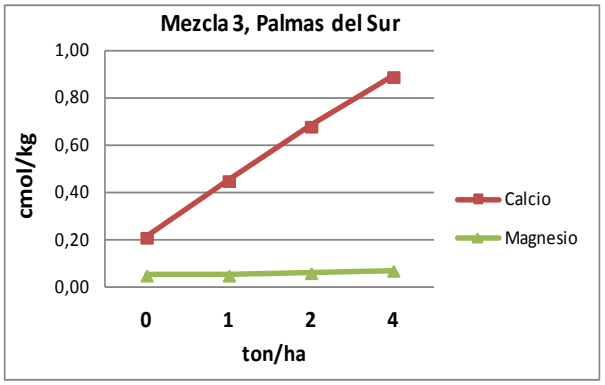
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

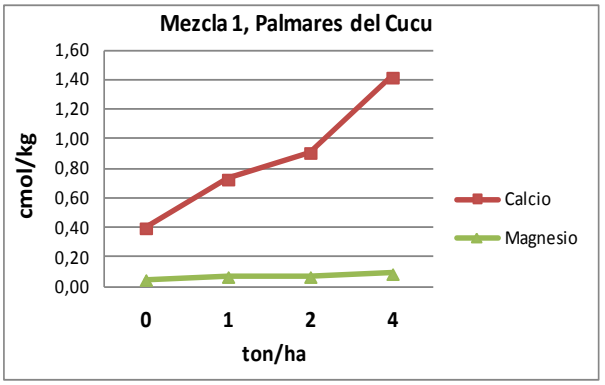




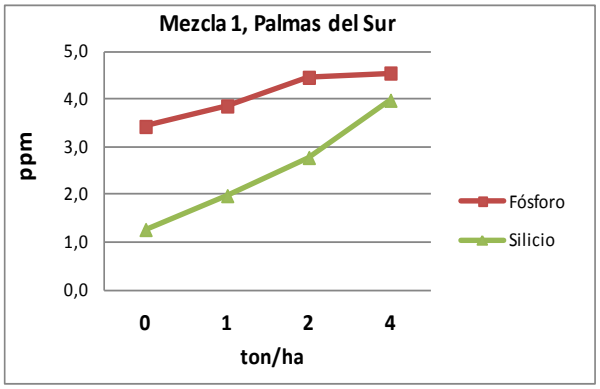


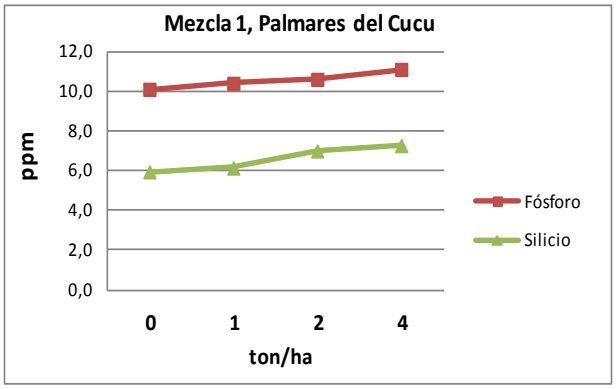


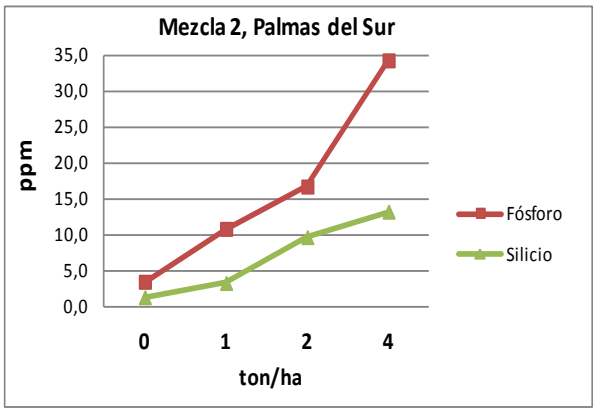


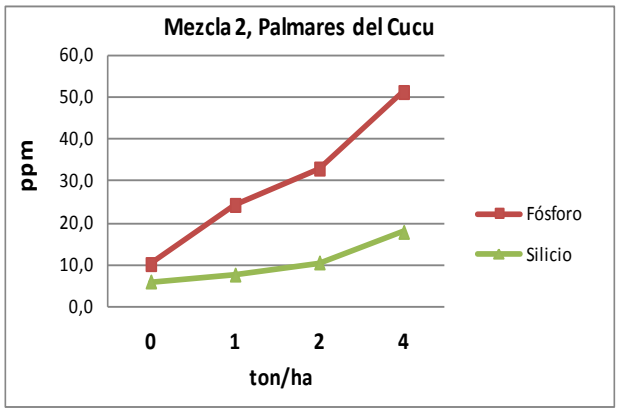


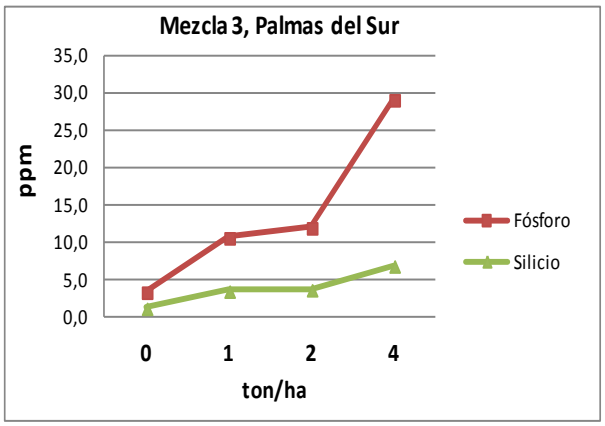
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

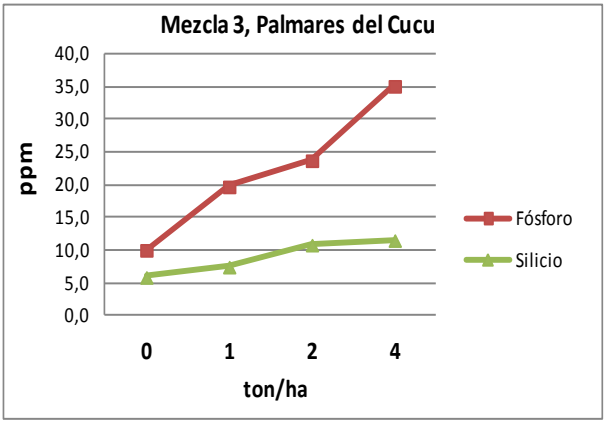












Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.