

**DETERMINAR EL POTENCIAL DE USO DE LA HERRAMIENTA SONDAS DE
SUCCION PARA SEGUIMIENTO DE UN PROGRAMA NUTRICIONAL EN
PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*).**

JOSE LUIS GARCÍA ACOSTA

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
VILLAVICENCIO (META)**

2015

**DETERMINAR EL POTENCIAL DE USO DE LA HERRAMIENTA SONDAS DE
SUCCIÓN PARA SEGUIMIENTO DE UN PROGRAMA NUTRICIONAL EN
PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*).**

JOSE LUIS GARCÍA ACOSTA

**Tesis de trabajo de grado presentada como requisito parcial para optar al
título de Ingeniero Agrónomo**

Línea de Investigación

NUTRICIÓN DE SUELOS

Director

NYDIA CARMEN CARRILLO I.A., M.SC.

Co Director

BLANCA LILIA ROMERO I.A. ESP.

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

VILLAVICENCIO (META)

2015

Los directores y jurados examinadores de este trabajo de pregrado, no serán responsables de las ideas emitidas por los autores del mismo.

Art.24, Resolución N° 4 de 1994

Nota de aceptación

I.A., M.Sc. Nydia Carmen Carrillo
Director de tesis

I.A. ESP. Blanca Lilia Romero
Co Director de tesis

I.A. ESP. Jorge Alberto Rangel
Jurado

I.A. ESP. Álvaro Álvarez
Jurado

Villavicencio, 6 de Noviembre del 2015

PERSONAL DIRECTIVO

OSCAR DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ

Rector

WILTON ORACIO CALDERON

Vice-rector académico

DEIVER GIOVANNY QUINTERO REYES

Secretario general

JOSÉ MYRAY SAAVEDRA ALVAREZ

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

JAIRO RINCÓN ARIZA

Director de Escuela de Ciencias Agrícolas

NIDYA CARMEN CARRILLO

Director del programa de Ingeniería Agronómica

DEDICATORIA

A Dios y la virgen María, mi única y mayor fuerza espiritual.

A mi madre, Clara Inés Acosta Buitrago, por ser mi apoyo incondicional durante toda mi vida. Te amo madre mía.

A mi padre, Luis Evelio García. A ti que me enseñaste el valor de la humildad y la sencillez del corazón, valores fundamentales para el trabajo más noble y sencillo; la agricultura. Soy lo que soy gracias a ti. Te quiero mi ángel.

A mi hermana Sofía, por ser parte del motor que mueve mi alma.

A mi FAMILIA: García, Acosta, Buitrago, Franco, Rodríguez y Calderón. Por creer en mí. Gracias!

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos:

A mi alma mater, La Universidad de Los Llanos, en cabeza de la directora del programa de Ingeniería Agronómica, Nydia Carmen Carrillo, por sus valiosas enseñanzas académicas y de vida.

A la empresa UNIPALMA S.A.; y a la directora del Departamento Agronómico, la Ingeniera Blanca Lilia Romero, por la confianza depositada en mí trabajo y su apoyo incondicional.

Al Ingeniero Rolando Ríos, por sus valiosos aportes académicos.

A los miembros del jurado: los Ingenieros Agrónomos Álvaro Álvarez y Jorge Rangel, por sus asesorías durante el desarrollo de este proyecto.

A todos ellos, Muchas Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	17
1.1) General:.....	17
1.2) Específicos:.....	17
2. REVISION DE LITERATURA	18
2.1) Sonda de succión.....	18
2.2) Solución de suelo	18
2.3) pH.....	19
2.4) Bases	19
2.4.1) Calcio.....	19
2.4.2) Magnesio.....	20
2.4.3) Potasio	21
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1) Generalidades	22
3.2) Muestreo solución de suelo.	23
3.2.1) Aporte de la solución suelo	24
3.3) Muestreo de suelo.	24
3.4) Muestreo Foliar.....	25
3.5) Metodología de análisis de suelo	26
3.6) Metodología de análisis de solución de suelo	27
3.7) Ubicación y generalidades del ensayo.....	28
3.8) Ubicación de las Sondas de succión en campo.....	28
3.9) Mapa del sitio.....	28
3.10) Diseño de aplicación de enmienda.....	29
3.11) Descripción del programa de encalado	30
3.12) Programa encalado (sulfato de magnesio)	30

3.13) Fechas de eventos realizados	31
3.13.1) Fertilización edáfica.....	31
3.13.2) Aplicación de enmienda en lotes del ensayo.....	31
3.14) Análisis estadístico	31
4. RESULTADOS	32
4.1) pH en Solución de Suelo.....	32
4.1.1) pH en Lote 3 – PARCELA C	32
4.1.2) pH en Lote 9 – PARCELA G	33
4.1.3) pH en Lote 23 – PARCELA B (Finca testigo).....	34
4.1.4) pH en Lote 30 – PARCELA A	35
4.1.5) pH en Lote 31 – PARCELA A	36
4.2) Calcio, Magnesio y Potasio en Solución de Suelo	37
4.2.1) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 3 – Parcela C	37
4.2.2) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 9 – Parcela G	38
4.2.3) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 23 – Parcela B (Lote testigo)	39
4.2.4) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 30 – Parcela A	40
4.2.5) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 31 – Parcela A	41
4.3) Resultados de análisis químicos de suelo y de solución de suelo realizados al inicio y final del ensayo.	42
4.4) Análisis foliares	43
4.4.1) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 3 parcela C.....	43
4.4.2) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 9 parcela G.	44
4.4.3) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 23 parcela B. (Finca testigo)	44
4.4.4) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 30 parcela A.	45
4.4.5) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 31 parcela A.	45
4.5) Comportamiento de los minerales a nivel foliar.	46
4.6) Comparación de costos de operación	46
5. CONCLUSIONES	47
6. RECOMENDACIONES	49
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
8. ANEXOS	52

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Sondas de succión de 20 y 40 cm.....	22
Figura 2. Toma de solución de suelo en campo	23
Figura 3. Solución de suelo.....	24
Figura 4. Toma de muestra de suelo con barreno.....	25
Figura 5. Toma de folíolos hoja número 17 para muestreo foliar.....	26
Figura 6. Plantación UNIPALMA S.A. Ubicación de las fincas donde se ubicaron las sondas de succión.	29

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ubicación, área, año de siembra, tipo de suelo y variedad del cultivo	28
Tabla 2. Ubicación sondas de succión. Lote, área, parcela, línea, palma	28
Tabla 3. Diseño de aplicación de tratamientos programa de enmiendas.....	29
Tabla 4. Descripción detallada del programa de encalado	30
Tabla 5. Sulfato de Magnesio aplicado en fincas de ensayo	30
Tabla 6. Fecha de fertilización edáfica, Ubicación, fertilizantes aplicados, volumen por palma.	31
Tabla 7. Fecha de aplicación de enmiendas. Lotes 3, 9, 30 y 31. Hacienda Santa Bárbara. Unipalma S.A.	31
Tabla 8. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 3 parcela C.	32
Tabla 9. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 3 parcela C	32
Tabla 10. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 9 parcela G.	33
Tabla 11. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 9 parcela G.	33
Tabla 12. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B. ..	34
Tabla 13. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 23 parcela B. ..	34
Tabla 14. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 30 parcela A. ..	35
Tabla 15. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 30 parcela A. ..	35
Tabla 16. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A. ..	36
Tabla 17. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A. ..	36
Tabla 18. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 3 parcela C.....	37
Tabla 19. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 3 parcela C.....	37
Tabla 20. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 9 parcela G.	38
Tabla 21. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 9 parcela G.	38
Tabla 22. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B.	39
Tabla 23. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B.	39
Tabla 24. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 30 parcela A.	40
Tabla 25. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 30 parcela A.	40

Tabla 26. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 31 parcela A.	41
Tabla 27. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A.	41
Tabla 28. Registro inicial de pH, Ca, Mg y K en Análisis de suelo y Análisis de solución de Suelo a 20 y 40 cm de profundidad.	42
Tabla 29. Registro de pH, Ca, Mg y K en análisis de solución de suelo a 20 y 40 cm de profundidad.	42
Tabla 30. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 3 parcela C.....	43
Tabla 31. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 9 parcela G.....	44
Tabla 32. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 23 parcela B.	44
Tabla 33. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 30 parcela A.	45
Tabla 34. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 31 parcela A.	45
Tabla 35. Comparación costos de análisis de suelo, foliar y solución de suelo. ...	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Sondas de succión de 20 y 40 cm, y bomba de vacío.	52
Anexo B. Sondas de Succión instaladas en campo.	52
Anexo C. Aplicación de enmienda en campo.	53
Anexo D. Toma de muestras de Solución de Suelo a 20 y 40 cm de profundidad.	53
Anexo E. Solución de suelo para envío a laboratorio	54
Anexo F. Toma de muestras foliares y empaque para envío a laboratorio.	54
Anexo G. Toma de muestras de suelo	55

RESUMEN

La fertilización es una actividad prioritaria en el cultivo de la palma de aceite y puede representar hasta 31% de los costos variables y 16% de los costos totales de producción (Fedepalma, 2010). En Plantaciones Unipalma de Los Llanos S.A. en el Oriente de Colombia, se desarrolló este proyecto el cual por medio de la implementación de la herramienta Sondas de Succión, instaladas a dos profundidades del suelo, 20 y 40 cm de profundidad, ubicadas en cuatro lotes y en un lote testigo; estos ubicados estratégicamente en la plantación, siendo seleccionados de acuerdo a las características de suelos presentes en cada uno de ellos con la finalidad de medir el comportamiento de los nutrientes en ellos.

El presente trabajo se centró en determinar el potencial de uso de la herramienta sondas de succión, para seguimiento de un programa tradicional de manejo nutricional y un programa de encalado establecido por la alta saturación de aluminio presente en los suelos evaluado.

Por medio de los análisis de solución de suelo obtenidos se midieron valores tales como pH del suelo, contenidos de bases como el Calcio, Magnesio y potasio, los cuales mediante gráficas y tablas comparativas se analizaron sus comportamientos frente a muestreos iniciales de suelo, y análisis foliares tomados durante el tiempo del desarrollo del ensayo. Esto con la finalidad de medir el potencial del uso que tiene esta herramienta como ayuda para agricultores, pequeñas, medianas y grandes empresas, para la toma de decisiones de manejo agronómico, esto acorde al comportamiento que se observa en el suelo debido a los diferentes eventos por los cuales este atraviesa, tales como el comportamiento de los nutrientes después de las aplicaciones de fertilizantes, la movilidad de estos en el suelo, niveles de disponibilidad para la planta en el suelo, variabilidad del pH, entre otras. Logrando así mediante análisis detallado el poder determinar las fechas ideales de fertilización, dosis más precisas de productos y efectividad de enmiendas aplicadas al suelo.

Los análisis de laboratorio obtenidos durante el desarrollo del ensayo permitieron ver el comportamiento del pH, Calcio, Magnesio y Potasio en la solución de suelo, observando su comportamiento antes, durante y después de las aplicaciones de fertilizantes y enmiendas correctivas aplicadas al suelo como medida tomada para disminuir niveles de acidez del suelo.

ABSTRACT

Fertilization of the oil palm crops is one of the main practices to ensure high yields and profitability. It represents up to 31% of the variable costs and 16% of the total production cost (Fedepalma, 2010). Plantations Unipalma de Los Llanos S.A. located in Eastern Colombian Zone, this project was developed which through the implementation of the tool suction probes, installed at two depths of soil, 20 and 40 cm deep, located on four lots and a witness lot; these strategically located planting, being selected according to the characteristics of soil present in each in order to measure the behavior of nutrients in them.

This work focused on determining the potential for tool use suction probes to track a traditional program of nutritional management and liming program established by high aluminum saturation present in the soil evaluated.

Through the analysis of soil solution obtained values such as soil pH, content of bases such as calcium, magnesium and potassium, which by comparative graphs and tables behaviors were analyzed against initial soil samples they were measured, and analysis leaf taken during the time of assay development. This was done to measure the potential use of this tool to help farmers, small, medium and large enterprises for decisions agronomic management, this according to the behavior observed in the soil due to the different events by which it crosses, including behavior after fertilizer applications nutrients, their mobility in soil, levels of plant availability in soil, pH variability, among others. Achieving through the detailed analysis to determine the ideal date's fertilization, more accurate products and amendments effective dose applied to the soil.

Laboratory tests obtained during assay development allowed to see the behavior of pH, calcium, magnesium and potassium in the soil solution, observing their behavior before, during and after the application of fertilizers and corrective amendments applied to the soil as a measure taken to decrease levels of soil acidity.

INTRODUCCIÓN

La productividad en el cultivo de la palma implica el manejo del material agronómico y los programas de fertilización de acuerdo a la edad y estado fisiológico del cultivo. Los problemas asociados a suelos en particular suelos ácidos implican el manejo de la alta de saturación de aluminio e hidrogeniones (acidez activa), así mismo una de las características de este suelo es la baja capacidad de intercambio catiónico proveniente de materiales parentales altamente intemperados, en asociación con bajos contenidos de materia orgánica y poca saturación de bases, en especial magnesio, este elemento es clave en la producción de ácidos grasos mediante el proceso de fotosíntesis y la captura de energía lumínica que finalmente va a formar parte de la cadena de ésteres grasos sintetizados. (Ríos R., 2014)

La extracción mediante sondas de succión es un método no destructivo tanto para la estructura del suelo como para el sistema radicular de las plantas (Van der Ploeg y Beese, 1977), y permite la obtención de muestras en condiciones de subsaturación.

Los planes de manejo de fertilización en el cultivo de la palma de aceite en Colombia, se definen de acuerdo a los resultados obtenidos de muestreos foliares realizados con el fin de determinar las necesidades nutricionales de la planta. La metodología de sondas de succión pretende definir y generar resultados los cuales sirvan para realizar un ajuste más equilibrado y puntual, no solo acorde a las necesidades nutricionales, sino también ayuden a determinar las fechas precisas para realizar la aplicación de fertilizantes al cultivo.

Por otro lado no existe mayor información en la cual se analice por medio de esta metodología los periodos ideales de fertilización en palma de aceite y los balances nutricionales idóneos para el cultivo.

El objetivo de este trabajo es determinar bajo condiciones de cultivo, la implementación de la herramienta de muestreo sondas de succión, la viabilidad de su uso y las ventajas que ofrece en desarrollo de nuevos planes y alternativas de manejo de fertilización y suelo en el cultivo de la palma de aceite.

Los resultados obtenidos de los análisis de solución de suelo permitieron ver y analizar el comportamiento del suelo a 20 y 40 cm de profundidad, frente a los diferentes eventos por los cuales esta atraviesa, tales como fertilización edáfica y asimilación de enmiendas correctivas aplicadas al suelo.

1. OBJETIVOS

1.1) General:

- Determinar el potencial de uso de la herramienta Sondas de Succión (AGQ).

1.2) Específicos:

- Comparar la Metodología implementada en el manejo de las sondas de succión con el método tradicional de fertilización.
- Comparar los datos obtenidos de los muestreos foliares versus los resultados de los análisis de la solución de suelo obtenidos de las sondas de succión.
- Realizar un análisis de costos del uso de la herramienta Sondas de Succión para medir la viabilidad económica de la instrumento.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1) Sonda de succión

El uso de la sonda de succión no es un método reciente (Briggs y McCall, 1904) fueron los primeros en proponer su uso para succionar el agua del suelo que realmente pudieran disponer las plantas.

Ha sido utilizada en investigaciones para los estudios de salinidad del suelo (Aragues R., 1986). Algunos autores la han utilizado como herramienta para conocer la acidificación provocada por la deposición de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en suelos forestales (Novak *et al.*, 1995; Carnol *et al.*, 1997), o la acumulación de Al^{3+} en este mismo tipo de suelos (Matzner *et al.*, 1998). Ha sido utilizada como método para conocer el contenido hídrico del suelo (Wu *et al.*, 1995; Holland *et al.*, 2000), y el drenaje del agua y lixiviación de solutos según el método de riego (Jaynes *et al.*, 1993). En 1997 se estudió su eficacia para la determinar la interacción de pesticidas en el suelo (Perranganier *et al.*, 1997) así como su concentración a distintas profundidades (Weaver *et al.*, 1990; Lanwrence *et al.*, 1995). Ha sido empleada en la horticultura almeriense (Cadahía, 1998), y en la actualidad, el uso de la sonda de succión en horticultura tienen una gran importancia dentro del campo de la nutrición como alternativa a otros métodos de extracción de la solución nutritiva (Lao *et al.*, 1996).

La aplicación de la metodología de sondas de succión en el cultivo de la palma de aceite en Colombia, no ha sido implementada, siendo esta una de las mayores motivaciones para la realización de este trabajo, buscando ampliar las alternativas de manejo en fertilización y de esta manera generar conocimientos que beneficien al sector palmero del país y del mundo.

2.2) Solución de suelo

La solución del suelo es el medio de donde las plantas absorben los nutrientes. Los solutos son electrolitos y gases en solución que están en equilibrio con la fase sólida, así como pequeñas cantidades de compuestos orgánicos solubles y también metabolitos (Soon y Warren, 1993)

2.3) pH

Según el artículo “Reacción del suelo”, las letras pH son una abreviación de “pondus hydrogenii”, traducido como potencial de hidrogeno, y fueron propuestas por Sorensen en 1909, que las introdujo para referirse a concentraciones muy pequeñas de iones hidrogeno. Sorensen, creador del concepto de pH lo define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrogeno en una solución: $\text{pH} = -\log [H^+]$.

Según el artículo “Reacción del suelo”, El pH es uno de los principales responsables en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la mayor o menor asimilabilidad de los diferentes nutrientes.

2.4) Bases

En el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo. (FAO)

2.4.1) Calcio

El calcio es un catión divalente, con un radio iónico hidratado de 0,412 nm y una energía de hidratación de 1577 J/mol. Es uno de los elementos más abundantes en la litosfera y puede encontrarse en los suelos en muy variada proporción, dependiendo en gran medida de la roca madre. Sus formas minerales más frecuentes son: carbonatos, fosfatos, sulfatos y algunos silicatos; los dos primeros con una solubilidad muy variable y prácticamente insolubles el resto. (Monge, Val, Sanz, Blanco y Montañés, 1994).

Este elemento suele ser el catión más abundante en el complejo de cambio del suelo, pero la proporción utilizable depende del grado de saturación. En numerosos suelos, el calcio fijado en el complejo coloidal y el unido a los compuestos húmicos son las formas naturales más abundantes. Incluso en suelos ácidos casi siempre hay cantidades suficientes para la adecuada nutrición de las plantas cultivadas, sobre todo cuando las especies son poco exigentes. En

general, para regiones templadas y húmedas, el calcio intercambiable es unas diez veces más abundante que el potasio cambiabile. (Monge *et al.*, 1994).

El contenido de iones totales en la solución del suelo varía según el tipo del mismo pero, en la mayoría de los casos, el 60-80% del total de estos iones se encuentra como Ca^{++} y, aunque las raíces aprovechan menos del 3% del calcio disponible, esta cantidad es suficiente para satisfacer las demandas que, por ejemplo, tienen los frutales (Barber *et al.*, 1963).

2.4.2) Magnesio

El magnesio (Mg) interviene en varias funciones vitales para la planta. Los procesos metabólicos y reacciones en las cuales interviene el Mg son: 1) Fotofosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), 2) fijación fotosintética del dióxido de carbono (CO_2), 3) síntesis de proteínas, 4) formación de clorofila, 5) recarga del floema, 6) participación y asimilación de los productos de la fotosíntesis, 7) generación de las formas reactivas de oxígeno y 8) fotooxidación de los tejidos de las hojas. En consecuencia, varios procesos fisiológicos y bioquímicos críticos para la planta se alteran cuando existe deficiencia de Mg, afectando el crecimiento y el rendimiento de la planta. En la mayoría de los casos la intervención del Mg en procesos metabólicos radica en la activación de numerosas enzimas. Una importante enzima activada por Mg es la ribulosa-1.5-bisfosfato (RuBP) carboxilasa, que es una enzima más abundante en la tierra. (Cakmak y Yazici, 2010)

Debido al alto potencial de lixiviación de cationes y a la interacción de estos con el aluminio (Al) en los suelos altamente meteorizados, la deficiencia de Mg es crítica en suelos ácidos. Uno de los más documentados mecanismos de adaptación de la planta a suelos ácidos es la liberación por las raíces de aniones orgánicos ácidos. Estos aniones orgánicos quelatan el Al tóxico formando complejos Al-ácido orgánico que neutralizan la fitotoxicidad de Al. Se ha documentado ampliamente el hecho de que se requiere de Mg para que la planta pueda liberar efectivamente los iones orgánicos ácidos para modificar una rizosfera cargada de Al tóxico (Yang *et al.*, 2007). Al igual que el Mg, el calcio (Ca) es también importante para aliviar la toxicidad de Al en suelos ácidos. Sin embargo, el Mg puede proteger la planta contra la toxicidad de Al cuando se lo añade en niveles micromoleculares, mientras que el Ca ejerce su papel protector en concentraciones milimolares (Silva *et al.*, 2001). Todo esto indica que el Mg tiene efectos muy específicos en la protección de la planta contra la toxicidad de Al.

2.4.3) Potasio

Fue descubierto y nombrado en 1807 por el químico británico sir Humphry Davy. Es un metal alcalino de color blanco plateado que puede cortarse con un cuchillo. Tiene una dureza de 0.5. Se da en tres formas isotópicas naturales, de números másicos 39, 40 y 41. El potasio 40 es radiactivo y tiene una vida media de 1,280 millones de años. El isótopo más abundante es el potasio 39. Se han preparado artificialmente varios isótopos radiactivos. El potasio tiene un punto de fusión de 63° C, un punto de ebullición de 760° C y una densidad de 0.86 g cm⁻³; la masa atómica del potasio es 39.098. Pertenecce al grupo IA de la tabla periódica por tener un electrón en su último orbital, es fácilmente ionizable y origina compuestos que en su mayoría son hidrosolubles. (Pratt *et al.*, 1982)

El potasio de la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el K intercambiable; la concentración de equilibrio es una propiedad particular de cada suelo y está determinada por tres factores: 1) cantidad de Ks, 2) contenido de arcillas y 3) mineralogía de las arcillas. También se tiene que tomar en cuenta el tipo de cultivo a desarrollar; hay plantas que tienen la capacidad de tomar el K a concentraciones muy bajas o que son más eficientes en el uso metabólico del K. (Uribe y Cox, 1990)

3. METODOLOGÍA

3.1) Generalidades

La interpretación de los resultados obtenidos en las soluciones de suelo, es una herramienta básica en la toma de decisiones relativas al riego y a la fertilización. El instrumental utilizado para extraer la solución del suelo son las denominadas sondas de succión.

Según (Aragues R., 1986), la utilización de las sondas de succión, es un método no destructivo por el que puede medirse “in situ” la evolución de los distintos nutrientes a lo largo del tiempo.

Con el objetivo de resolver la mayoría de todas las incógnitas, y mas las que se puedan plantear; el seguimiento nutricional de los cultivos, supone una metodología de trabajo que pretende resolver todas estas dudas de la manera mas eficaz posible. Para ello, se realizaron en este ensayo muestreos de los siguientes tipos de muestra: suelo, soluciones del suelo y organos vegetales.

Figura 1. Sondas de succión de 20 y 40 cm.



3.2) Muestreo solución de suelo.

La toma de las muestras de solución del suelo se realiza del siguiente modo: previamente al día de muestreo (24 horas antes) se practica el vacío de aire (entre -0,4 y -0.6 Kg/cm²) a las sondas de succión mediante la bomba de vacío y se deja actuar durante 24 horas. Se debe procurar que el suelo tenga una mínima hidratación para que este vacío no se pierda inmediatamente, ya que si el suelo esta demasiado seco, la entrada de aire a través de la cápsula porosa es la principal causa del fallo de la sonda. Pasado este tiempo, se toma cada una de las soluciones que hay en el interior de cada sonda y se identifican por separado, a la vez que se toman 2 muestras de la solución del recipiente para ser comparadas. Estas muestras se envían de inmediato al laboratorio para su análisis.

Los parámetros a analizar en la solución de suelo fueron: pH, conductividad eléctrica, fosfatos, cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, N-ureico, calcio, magnesio, sodio potasio, boro, hierro, manganeso, cobre y zinc.

Es muy importante asegurar que la sonda quede completamente vacía, de manera que en el siguiente muestreo no posea solución de suelo de semanas anteriores.

los muestreos de los analisis de solución de suelo se realizaron desde el mes de Noviembre del año 2014 hasta finales del mes de agosto del año 2015, siendo un trabajo realizado durante casi 1 año.

Figura 2. Toma de solución de suelo en campo



3.2.1) Aporte de la solución suelo

El estudio de las soluciones de suelo, nos ayuda a lograr establecer el índice de demanda de nutrientes básicos, de manera que su aporte en la SFR (solución fertilizante real) y el contenido en la solución de suelo a 20 y 40 cm, nos ofrezca una orientación de la demanda y disponibilidad de estos nutrientes. Asimismo, también nos da una idea, bastante aproximada, del índice de disponibilidad y lixiviación de un determinado tipo de abono.

Figura 3. Solución de suelo.



3.3) Muestreo de suelo.

La toma de los análisis de suelo se realizó en todos los lotes evaluados antes de iniciar con el muestreo de solución de suelo de acuerdo a los lineamientos establecidos para el desarrollo del trabajo; teniendo como base el tipo de suelo de los lotes 3, 9, 23, 30 y 31, el cual es de textura Franca para el lote 3, textura Franco Arcillosa para los lotes 9, 23 y 30; y textura Franco Arcillo Arenosa para el lote 31.

Figura 4. Toma de muestra de suelo con barreno.



3.4) Muestreo Foliar.

La toma de las muestras foliares se realizó de acuerdo a las indicaciones planteadas por los técnicos de AGQ. Se seleccionan 10 palmas al azar, circundantes de la palma donde se encuentra ubicada la sonda de succión. Seguido a esto, se procede a ubicar la hoja número 17 de la palma, una vez ubicada, se toman de 5 a 6 foliolos de la parte media de la hoja, por ambos lados de la hoja (izquierda y derecha) para un total de 10 a 12 foliolos por hoja. Una vez tomados los foliolos, a estos se les debe cortar la parte apical y basal, únicamente dejando 20 cm de la parte media del foliolo. Tomadas las muestras, se procede a limpiarlas con agua limpia o destilada, seguido de un secado con una gasa o material suave de limpieza.

La muestra total de cada parcela debe ser de aproximadamente 400 a 500 gr. Las muestras se deben empacar en bolsas de papel, las cuales ayudan a conservar los foliolos. Estas deben de ir marcadas con el nombre de la plantación, finca, parcela, fecha de muestreo y tipo de muestra. Terminado estos pasos, se proceden a enviar inmediatamente a los laboratorios de AGQ, ubicados en Bogotá, esto para evitar pudrición o degradación de las muestras tomadas.

La toma de las muestras foliares debe realizarse el mismo día en que se toman las muestras de solución de suelo, puesto que los resultados obtenidos de las muestras, deben ser comparativos a la misma fecha de muestreo.

Figura 5. Toma de foliolos hoja número 17 para muestreo foliar.



3.5) Metodología de análisis de suelo

Los análisis de suelos son la parte esencial sobre la que se basa cualquier programa de manejo agronómico en una producción agrícola. Sin un correcto análisis de suelo estaríamos a ciegas ante la toma de decisiones en el abonado, aplicando de menos, impidiendo conseguir los objetivos de cosecha o aportando en exceso, encareciendo, así, nuestro proceso productivo. La eficacia de los análisis de suelos dependerá en gran medida de la representatividad del mismo. Los parámetros que se analizan en estos son los siguientes:

Textura. Este parámetro nos dirá cuál será la mejor estrategia de riego para sacarle el máximo provecho al agua aportada. En el plano de la nutrición nos indicará grosso modo el contenido en sales y nos dará una previsión de la capacidad de

retención de nutrientes. Todo ello nos indicará qué elementos deben ser aportados, en qué dosis y qué forma química de aplicación es la más recomendable.

PH. Nos indicará la reacción que tendrá el suelo, si ácida o alcalina. Este carácter dará idea de la disponibilidad que tendrán en la solución de suelo elementos como el fósforo y los micronutrientes, muy sensibles a variaciones en este factor.

Conductividad Eléctrica. Indica la salinidad del suelo. Dependiendo de este valor sabremos si el cultivo a sembrar/plantar es tolerante a nuestro suelo o la mejor estrategia de abonado y riego para conseguir el mejor resultado.

Nutrientes a disposición de la planta. Ya sean macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) o micronutrientes (hierro, boro, manganeso, cinc, molibdeno y cobre) debemos saber en qué proporciones podemos encontrarlos en nuestro suelo, siempre hablando de su forma disponible ya que de poco nos servirá conocer la cantidad total que habrá de uno de ellos si luego sólo un mínimo porcentaje se encuentra soluble para entrar por las raíces. (Laboratorios AGQ, 2015)

3.6) Metodología de análisis de solución de suelo

En este análisis se cuantifican los cationes solubles en agua a punto de saturación.

Permite conocer la composición nutricional de las muestras, con el objetivo de realizar correcciones durante el ciclo productivo. Los parámetros que se analizan son: pH, Conductividad Eléctrica, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Amonio, Cloruro, Sulfato, Nitrato, Carbonato, Bicarbonato, Fósforo, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso y Boro. (Universidad Valle Grande, 2015)

3.7) Ubicación y generalidades del ensayo

Tabla 1. Ubicación, área, año de siembra, tipo de suelo y variedad del cultivo

Lote	Área (ha)	Año de siembra	Textura de suelo	Variedad
3	30,77	2007	Franca	<i>E. guineensis (DxP)</i>
9	27,36	2007	Franco Arcillosa	<i>E. guineensis (DxP)</i>
23	17,90	2006	Franco Arcillosa	<i>E. guineensis (DxP)</i>
30	24,40	2006	Franco Arcillosa	<i>E. guineensis (DxP)</i>
31	23,55	2006	Franco Arcillo Arenosa	<i>E. guineensis (DxP)</i>

3.8) Ubicación de las Sondas de succión en campo.

Tabla 2. Ubicación sondas de succión. Lote, área, parcela, línea, palma

Lote	Área (ha)	Parcela	Línea	Palma
3	14.40	C	72	10
9	13.54	G	60	11
23	9.46	B	233	15
30	9.69	A	216	11
31	16.99	A	248	9

3.9) Mapa del sitio

El ensayo se llevó acabo en la Empresa PLANTACIONES UNIPALMA DE LOS LLANOS S.A., "UNIPALMA S.A.", la cual tiene sus plantaciones de palma de aceite en los Llanos Orientales de Colombia, en los Municipios de Cumaral (Meta) y Paratebueno (Cundinamarca).

Específicamente ubicada entre los 4° 13' 33" de latitud Norte y los 73° 14' 50" de longitud Oeste.

La región donde está ubicada se caracteriza por estar a 500 m.s.n.m, con precipitaciones anuales de 2.878 mm, 153 días de lluvia, 1.849 horas de sol y una radiación integrada de 5.620 calorías/cm² (promedio de 24 años). (Unipalma S.A.)

Figura 6. Plantación UNIPALMA S.A. Ubicación de las fincas donde se ubicaron las sondas de succión.



3.10) Diseño de aplicación de enmienda

Se definió un programa de encalado basándose en los análisis de suelo, observando una alta saturación de aluminio. Para neutralizar los niveles de aluminio se define un programa de encalado basado en aplicaciones de Calcio, Yeso y Magnesio.

Tabla 3. Diseño de aplicación de tratamientos programa de enmiendas

Lote	Año de siembra	Suelo	Hectáreas	Ton / Ha
30	2006	Franco Arcilloso	23.55	10.7
31	2006	Franco Arcillo Arenoso	24.40	12.09
3	2007	Franca	30.77	11.6
9	2007	Franco Arcilloso	27.36	14.9
23	2006	Franco Arcilloso	17.90	Testigo

3.11) Descripción del programa de encalado

Tabla 4. Descripción detallada del programa de encalado

SUELO	LOTE	Año Siembra	Ha	pH	Ton Ca		Ton Mg		Ton Yeso	Total Enmienda (Ton)
					Ton CaCO ₃	Ton Ca(OH) ₂	Ton MgCO ₃	Ton Mg(OH) ₂		
Franco Arcilloso	30	2006	24,40	4,22	2,51	2,51	0,50	0,34	24,40	30,27
Franco Arcillo Arenoso	31	2006	23,50	4,75	1,16	1,16	0,23	0,16	11,75	14,47
Franca	3	2007	30,77	4,25	16,52	16,52	3,26	2,25	46,16	84,71
Franco Arcilloso	9	2007	27,36	4,39	10,61	10,61	2,09	1,44	27,36	52,11
Franco Arcilloso	23	2006	24,40	4.57	LOTE TESTIGO					

3.12) Programa encalado (sulfato de magnesio)

Tabla 5. Sulfato de Magnesio aplicado en fincas de ensayo

Ident. muestra	SUELO	FINCA	MATERIAL	SB	Ha	ton MgSO ₄ arc/Ha	Ton total Ha	Kg /planta	grs/planta
la planta	LA PLANTA LP	30	UNIPALMA	2006	24,4	0,250	6,100	2,001	2001
la planta	LA PLANTA LP	31	UNIPALMA	2006	23,5	0,250	5,875	1,745	1745
Santa Bárbara	SANTA BARBARA SP	3	UNIPALMA	2007	30,77	0,250	7,693	2,524	2524
Santa Bárbara	SANTA BARBARA SP	9	UNIPALMA	2007	27,36	1,000	27,360	6,994	6994

3.13) Fechas de eventos realizados

3.13.1) Fertilización edáfica

Tabla 6. Fecha de fertilización edáfica, Ubicación, fertilizantes aplicados, volumen por palma.

Ubicación	Fecha	Volumen	MEZCLA 0-0-30 K20-12,5 Mg-10 S	MEZCLA 18 N - 26 P2O5 - 0	KCL	Ácido Bórico	SAM o NITRAX	MEZCLA 4- 17-40
3 C	2014	Kg/Palma	0	0	1,2	0,05	0,5	0
3 C	2015-A	Kg/Palma	1,2	1,2	0,6	0,06	0	0
3 C	2015-B	Kg/Palma	0	0	0	0,05	0	1,5
9 G	2014	Kg/Palma	0	0	1,2	0,05	0,5	0
9 G	2015-A	Kg/Palma	1,2	1,2	0,6	0,06	0	0
9 G	2015-B	Kg/Palma	0	0	0	0,05	0	1,5
23 B	2014	Kg/Palma	0	0	1,2	0,05	0,5	0
23 B	2015-A	Kg/Palma	1,5	1,2	0,75	0,06	0	0
23 B	2015-B	Kg/Palma	0	0	0	0,05	0	1,6
30 A	2014	Kg/Palma	0	0	1,2	0,05	0,5	0
30 A	2015-A	Kg/Palma	1,5	1,2	0,75	0,06	0	0
30 A	2015-B	Kg/Palma	0	0	0	0,05	0	1,6
31 A	2014	Kg/Palma	0	0	1,2	0,05	0,5	0
31 A	2015-A	Kg/Palma	1,5	1,2	0,75	0,06	0	0
31 A	2015-B	Kg/Palma	0	0	0	0,05	0	1,6

3.13.2) Aplicación de enmienda en lotes del ensayo.

Tabla 7. Fecha de aplicación de enmiendas. Lotes 3, 9, 30 y 31. Hacienda Santa Bárbara. Unipalma S.A.

Lote	Aplicación de enmienda
30	03/06/2015
31	12/06/2015
3	19/06/2015
9	23/06/2015

3.14) Análisis estadístico.

Los análisis de datos se realizarán con estadística descriptiva, puesto que el modelo del ensayo se plantea de manera exploratoria.

4. RESULTADOS

4.1) pH en Solución de Suelo.

En las tablas 8 a la 17 se observa el comportamiento del pH en la solución de suelo a 20 y 40 cm de profundidad en el suelo, desde Noviembre del 2014 a Agosto del 2015, en los lotes 3, 9, 23, 30 y 31 parcela C, G, B, A y A, correspondientemente; de la hacienda Santa Bárbara en la plantación UNIPALMA S.A., ubicada en el municipio de Cumaral (Meta).

4.1.1) pH en Lote 3 – PARCELA C

Tabla 8. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 3 parcela C.

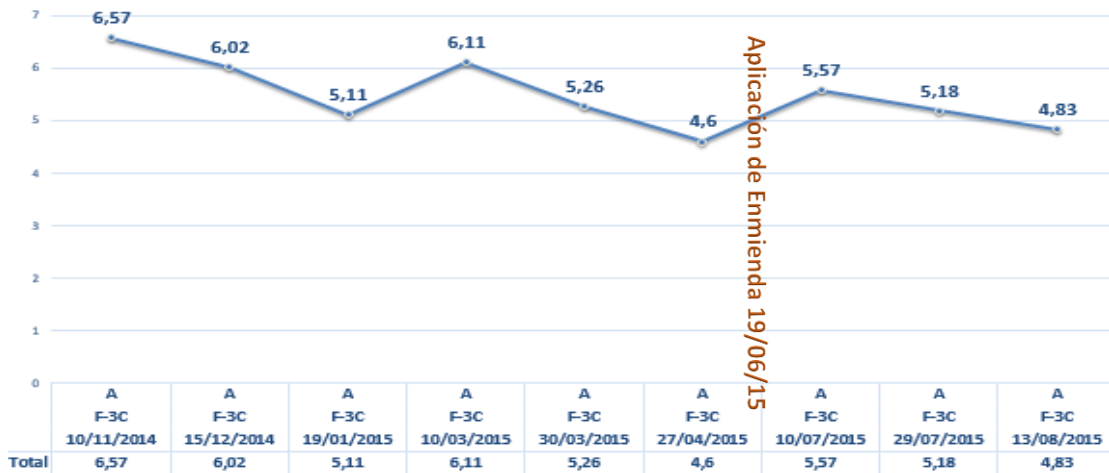
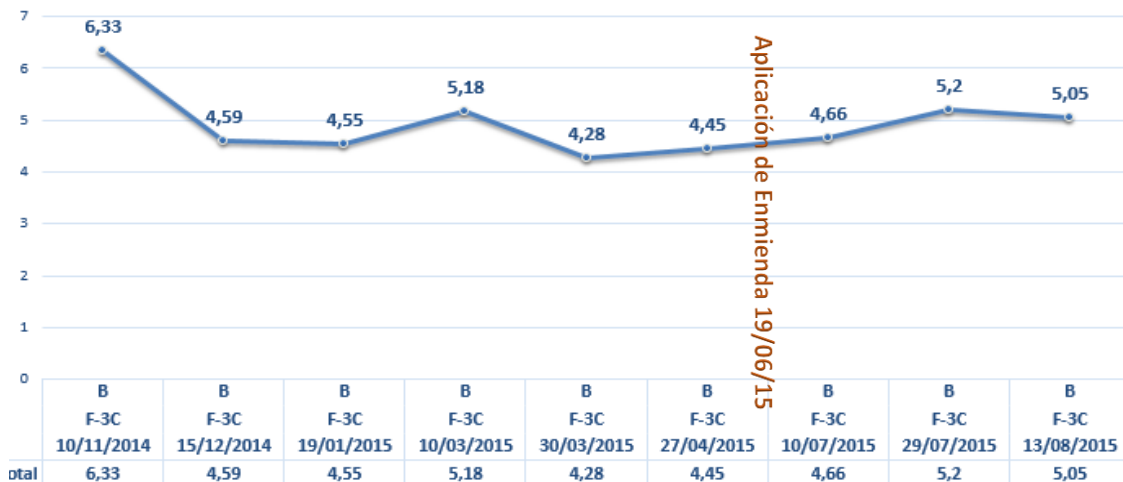


Tabla 9. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 3 parcela C



4.1.2) pH en Lote 9 – PARCELA G

Tabla 10. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 9 parcela G.

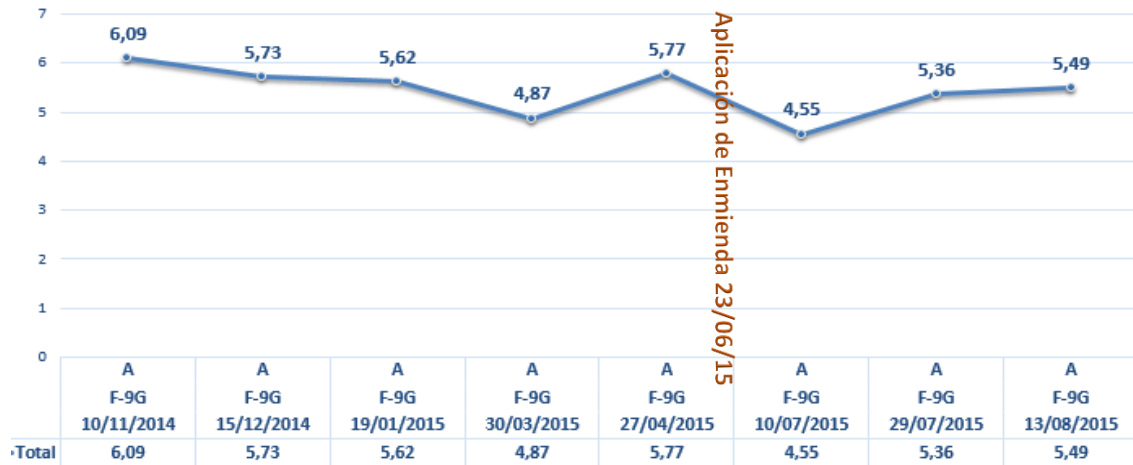
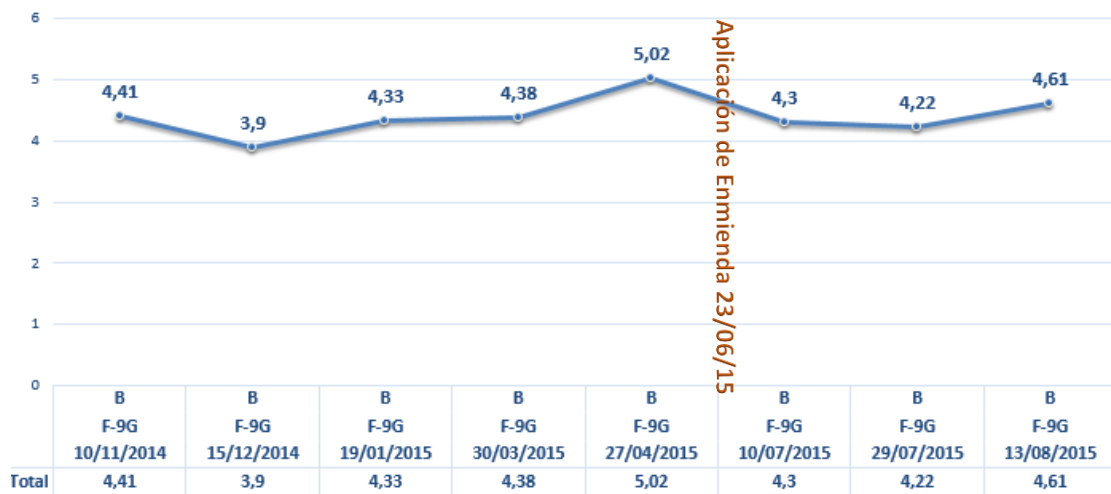


Tabla 11. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 9 parcela G.



4.1.3) pH en Lote 23 – PARCELA B (Finca testigo)

Tabla 12. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B.

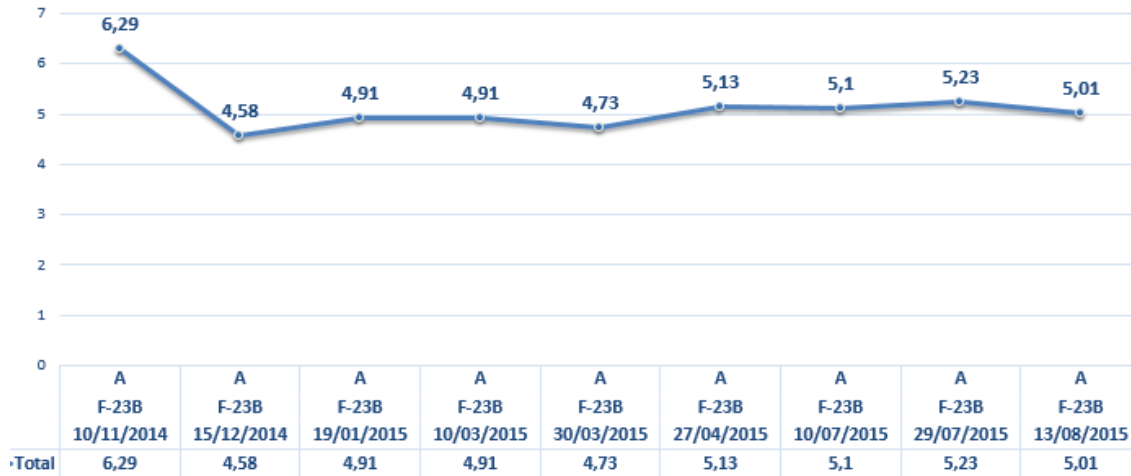
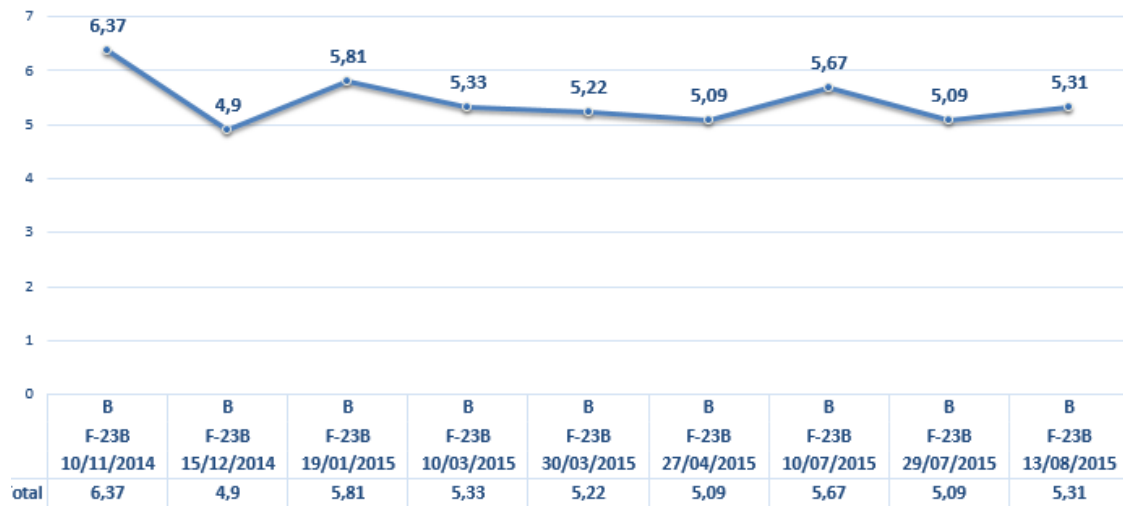


Tabla 13. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 23 parcela B.



4.1.4) pH en Lote 30 – PARCELA A

Tabla 14. pH en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 30 parcela A.

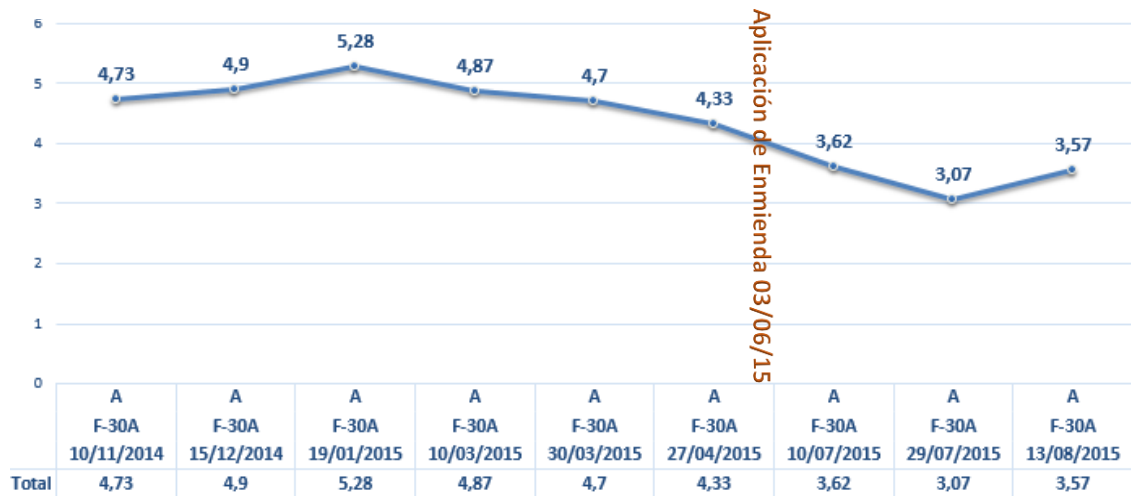
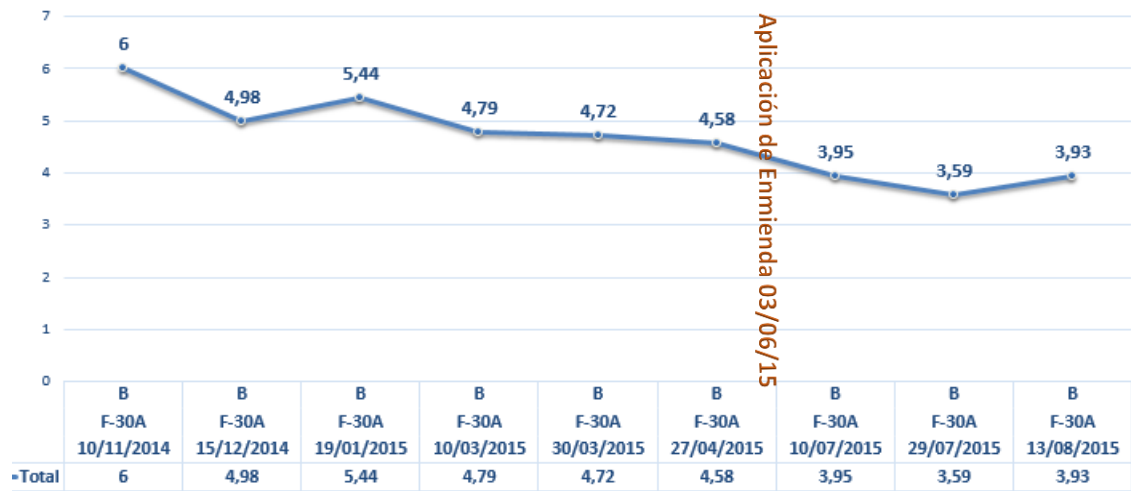


Tabla 15. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 30 parcela A.



4.1.5) pH en Lote 31 – PARCELA A

Tabla 16. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A.

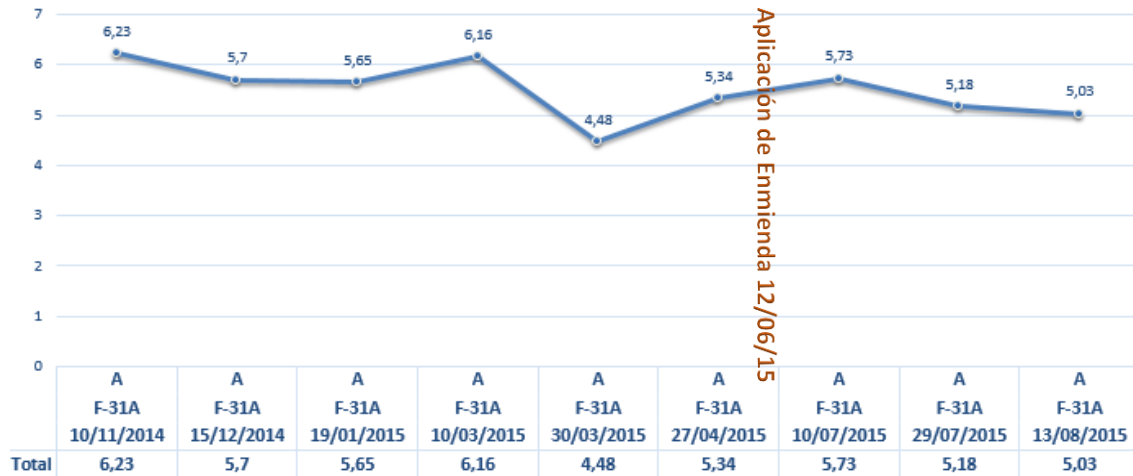
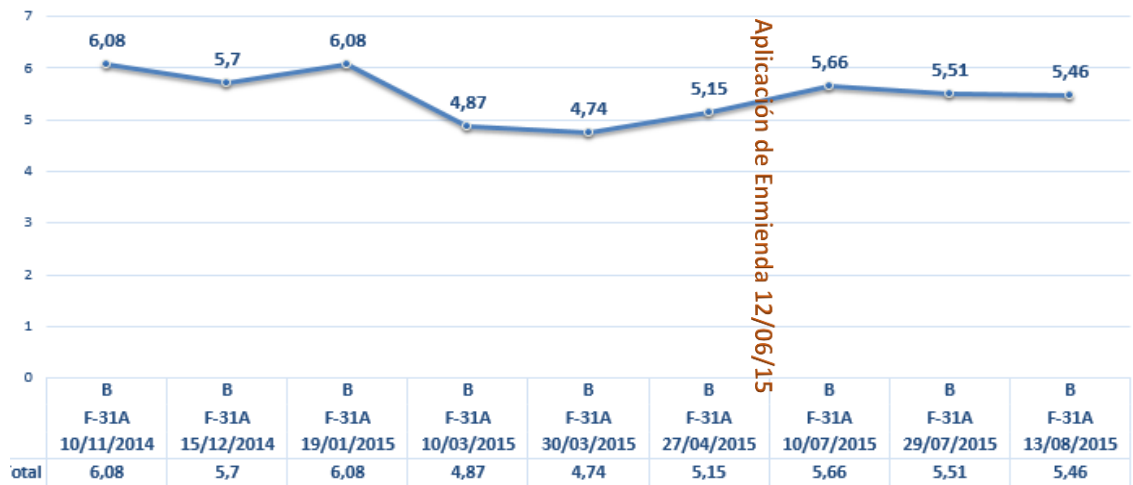


Tabla 17. pH en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A.



4.2) Calcio, Magnesio y Potasio en Solución de Suelo

En las tablas 18 a la 27 se observa el comportamiento de las bases Ca, Mg y K en la solución de suelo a 20 y 40 cm de profundidad en el suelo, desde Noviembre del 2014 a Agosto del 2015, en los Lotes 3, 9, 23, 30 y 31 parcela C, G, B, A y A, correspondientemente; de la hacienda Santa Bárbara, en la plantación UNIPALMA S.A., ubicada en el municipio de Cumaral (Meta).

4.2.1) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 3 – Parcela C

Tabla 18. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 3 parcela C.

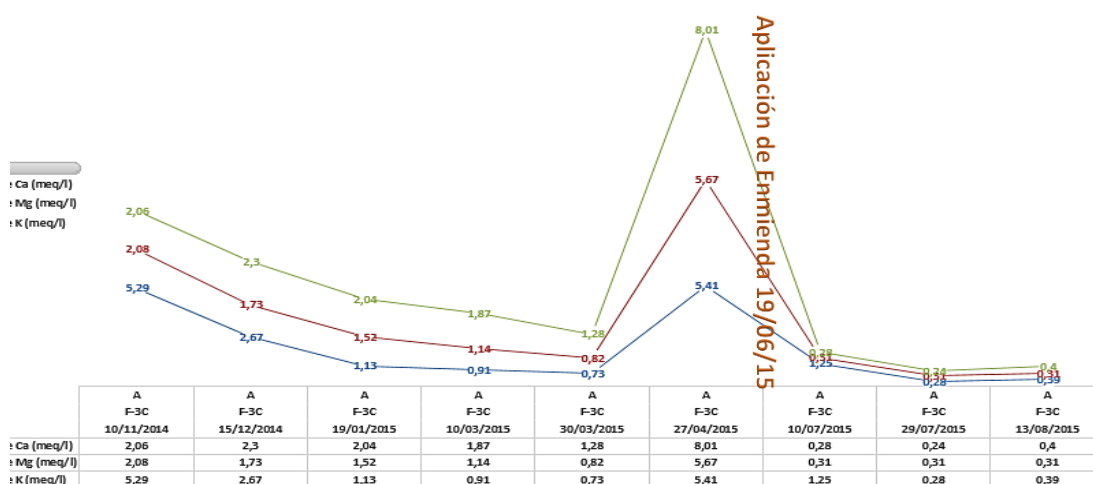
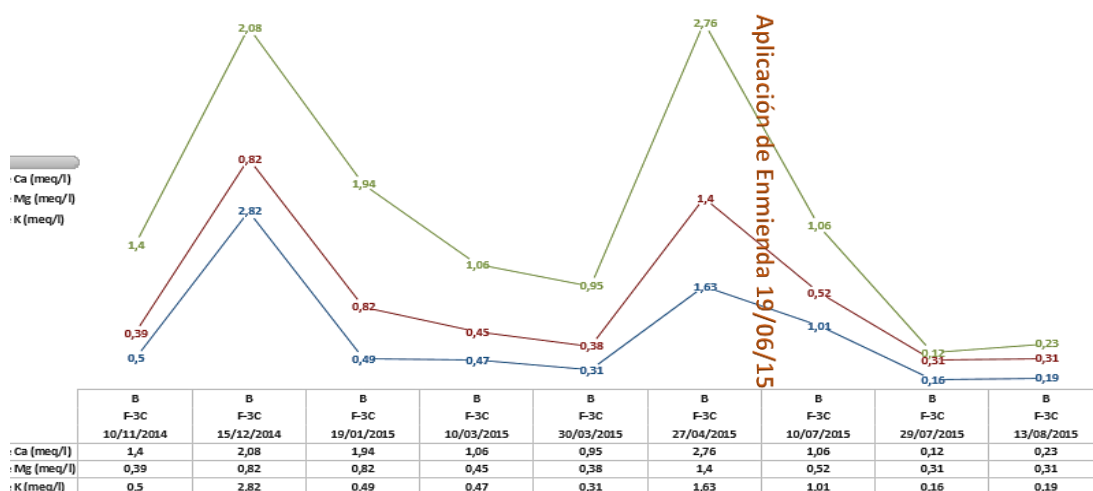


Tabla 19. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 3 parcela C.



4.2.2) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 9 – Parcela G

Tabla 20. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 9 parcela G.

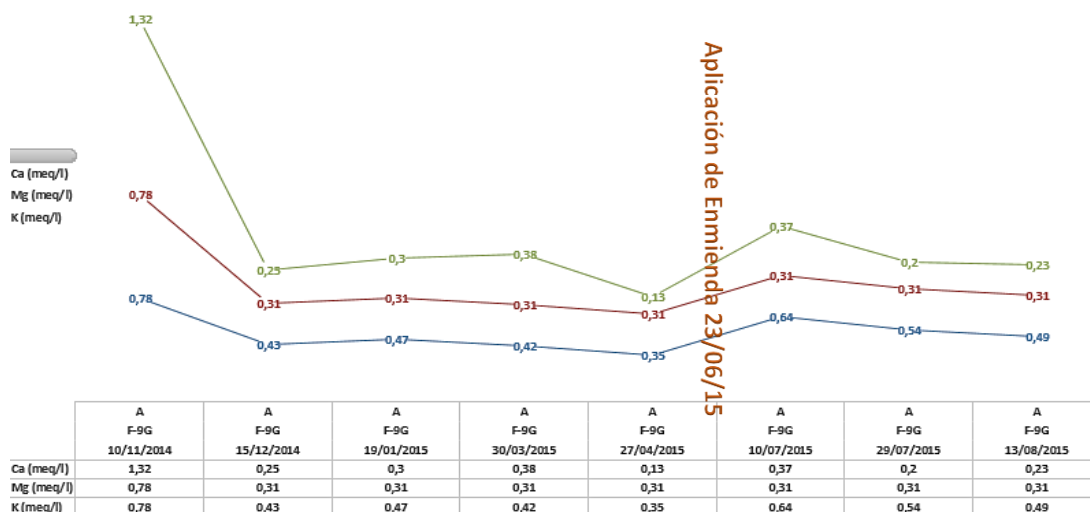
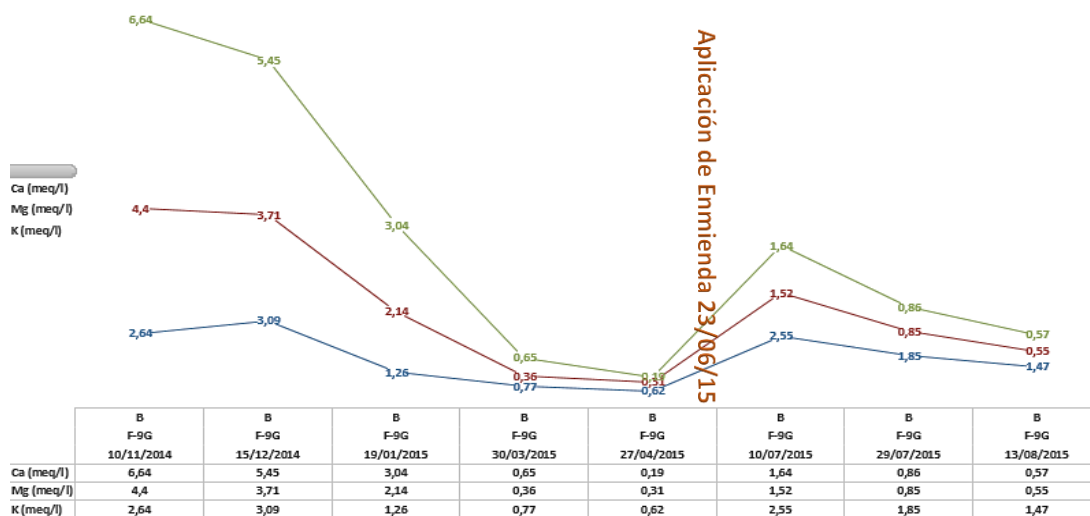


Tabla 21. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 9 parcela G.



4.2.3) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 23 – Parcela B (Lote testigo)

Tabla 22. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B.

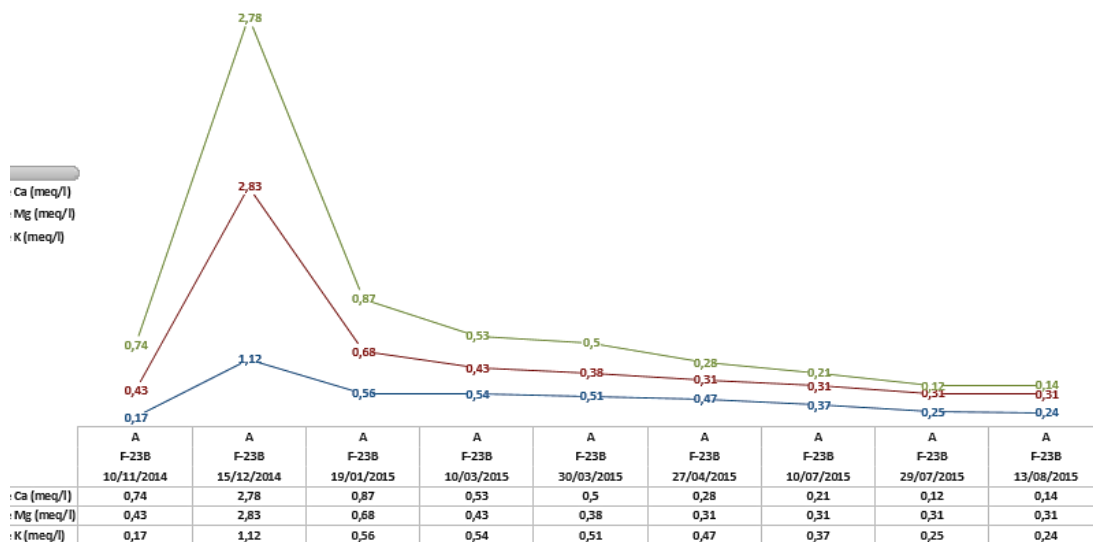
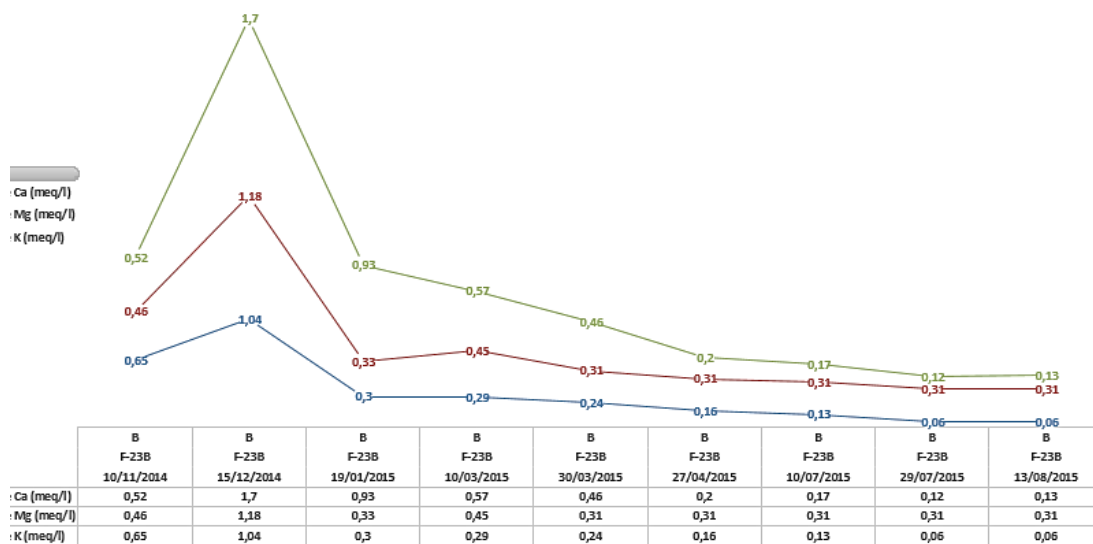


Tabla 23. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 23 parcela B.



4.2.4) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 30 – Parcela A

Tabla 24. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 30 parcela A.

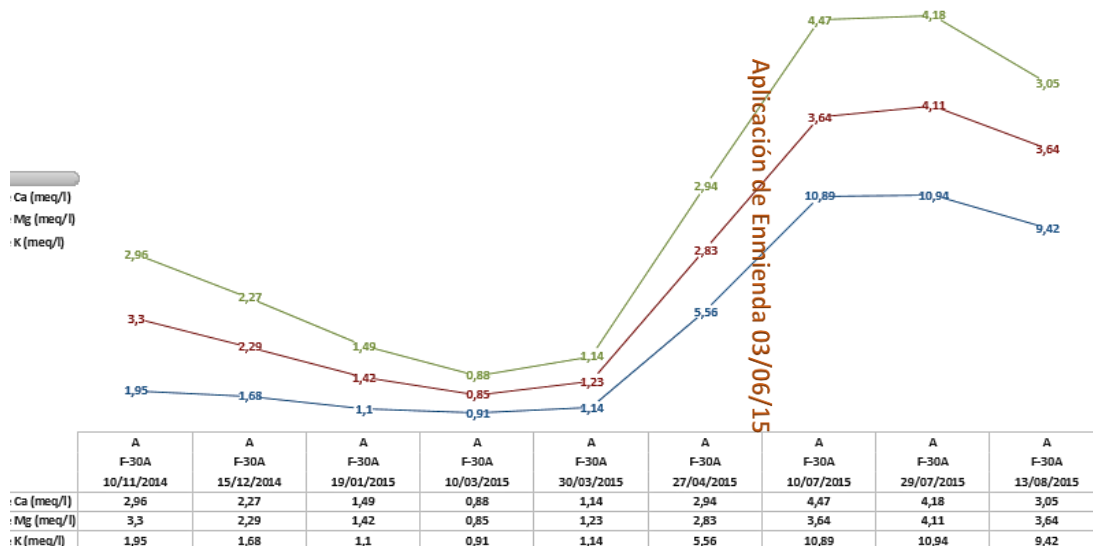
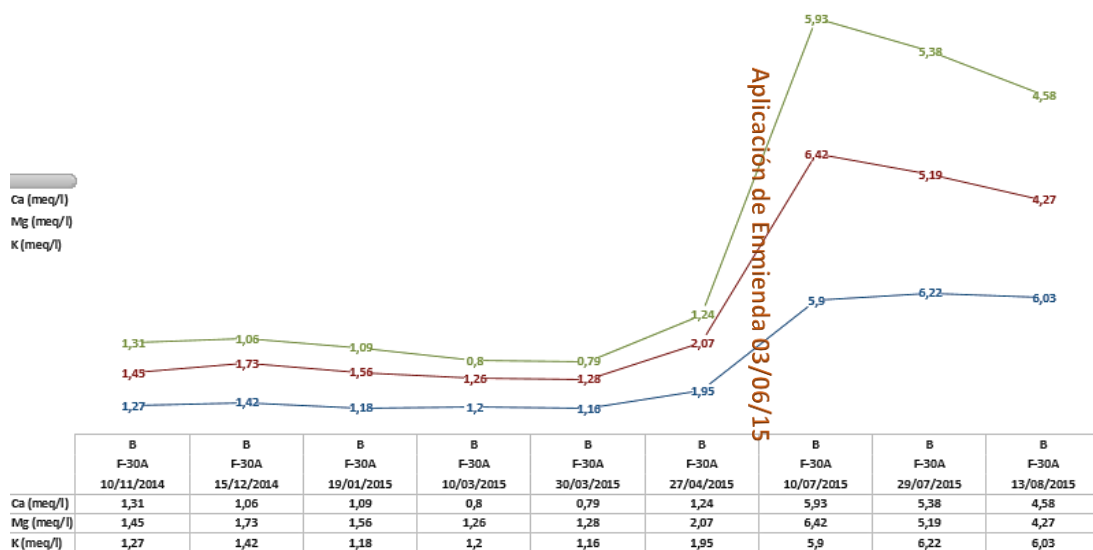


Tabla 25. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 30 parcela A.



4.2.5) Ca, Mg, K (meq/l) en Lote 31 – Parcela A

Tabla 26. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 20 cm. Lote 31 parcela A.

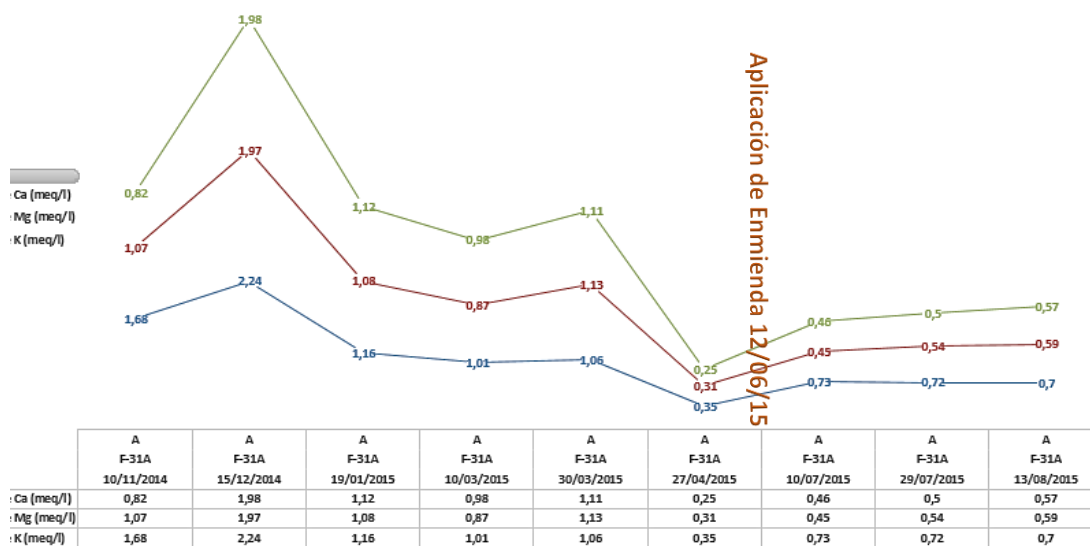
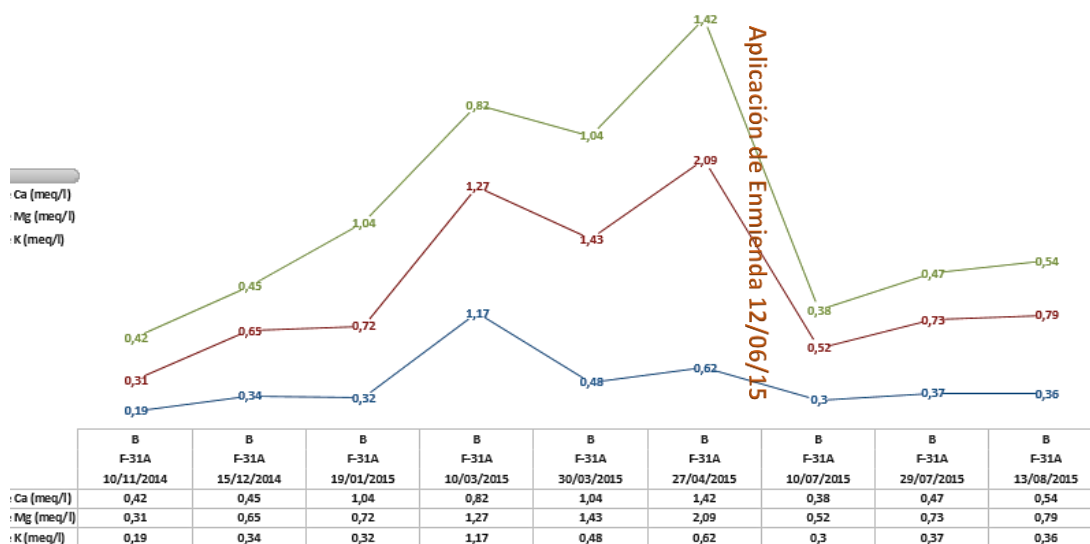


Tabla 27. Ca, Mg y K en solución de suelo a profundidad de 40 cm. Lote 31 parcela A.



4.3) Resultados de análisis químicos de suelo y de solución de suelo realizados al inicio y final del ensayo.

Tabla 28. Registro inicial de pH, Ca, Mg y K en Análisis de suelo y Análisis de solución de Suelo a 20 y 40 cm de profundidad.

Lote	Textura de suelo	Registro Inicial Analisis de Suelo				Registro Inicial Solucion de suelo (20 cm)				Registro Inicial Solucion de suelo (40 cm)			
		pH	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	pH	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	K (meq/l)	pH	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	K (meq/l)
3	Franca	4,81	0,51	0,28	0,17	6,57	2,06	2,08	5,29	6,33	1,40	0,39	0,50
9	Franco Arcillosa	4,54	0,66	0,41	0,39	6,09	1,32	0,78	0,78	4,41	6,64	4,4	2,64
23	Franco Arcillosa	4,61	0,41	0,31	0,37	6,29	0,74	0,43	0,17	6,37	0,52	0,46	0,65
30	Franco Arcillosa	4,48	0,68	0,34	0,42	4,73	2,96	3,30	1,95	6,00	1,31	1,45	1,27
31	Franco Arcillo Arenosa	4,63	0,44	0,32	0,44	6,23	0,82	1,07	1,68	6,08	0,42	0,31	0,19

Tabla 29. Registro de pH, Ca, Mg y K en análisis de solución de suelo a 20 y 40 cm de profundidad.

Lote	Textura de suelo	Registro final Solucion de suelo (20 cm)				Registro final Solucion de suelo (40 cm)			
		pH	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	K (meq/l)	pH	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	K (meq/l)
3	Franca	4,83	0,40	0,31	0,39	5,05	0,23	0,31	0,19
9	Franco Arcillosa	5,49	0,23	0,31	0,49	4,61	0,57	0,55	1,47
23	Franco Arcillosa	5,01	0,14	0,31	0,24	5,31	0,13	0,31	0,06
30	Franco Arcillosa	3,57	3,05	3,64	9,42	3,93	4,58	4,27	6,03
31	Franco Arcillo Arenosa	5,03	0,57	0,59	0,70	5,46	0,54	0,79	0,36

Se observa el comportamiento del pH como en todas las muestras disminuye en los resultados finales, esto se debe a la acción de la enmienda correctiva la cual busca estabilizar el pH, a excepción del lote 9 a 40 cm de profundidad el resultado obtenido fue mayor que en el primer análisis.

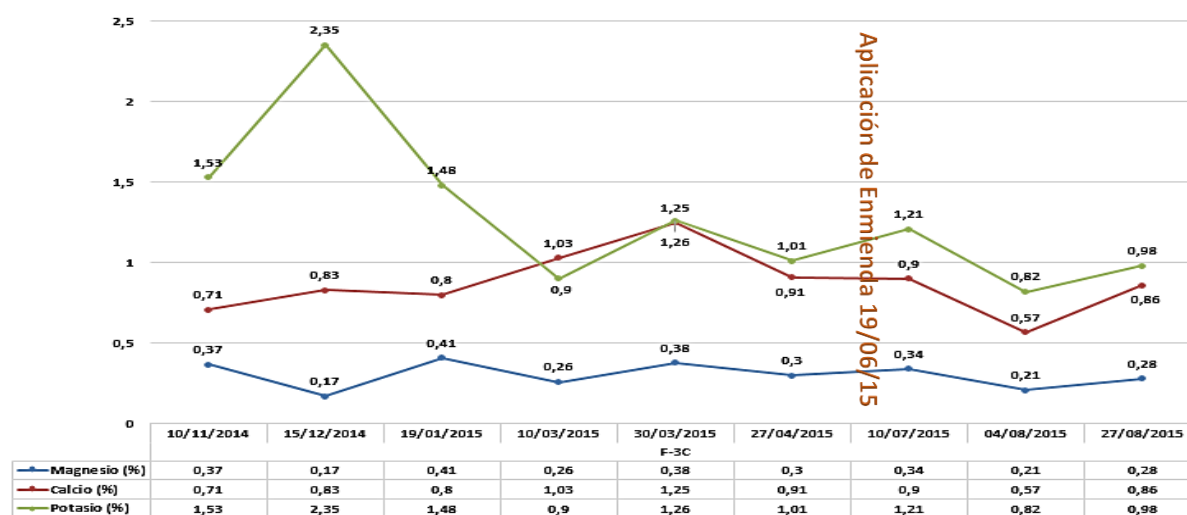
La disponibilidad del Potasio y Magnesio a una profundidad de 40 cm, en el lote 30, muestra una gran diferencia en comparación el primer análisis practicado, observándose mayores niveles de disponibilidad de estos elementos en la solución de suelo.

4.4) Análisis foliares

En las tablas 30 a la 34 se observa el comportamiento de las bases Ca, Mg y K en el área foliar de la palma, desde Noviembre del 2014 a Agosto del 2015, en los Lotes 3, 9, 23, 30 y 31 parcela C, G, B, A y A, correspondientemente; de la hacienda Santa Bárbara, en la plantación UNIPALMA S.A., ubicada en el municipio de Cumaral (Meta).

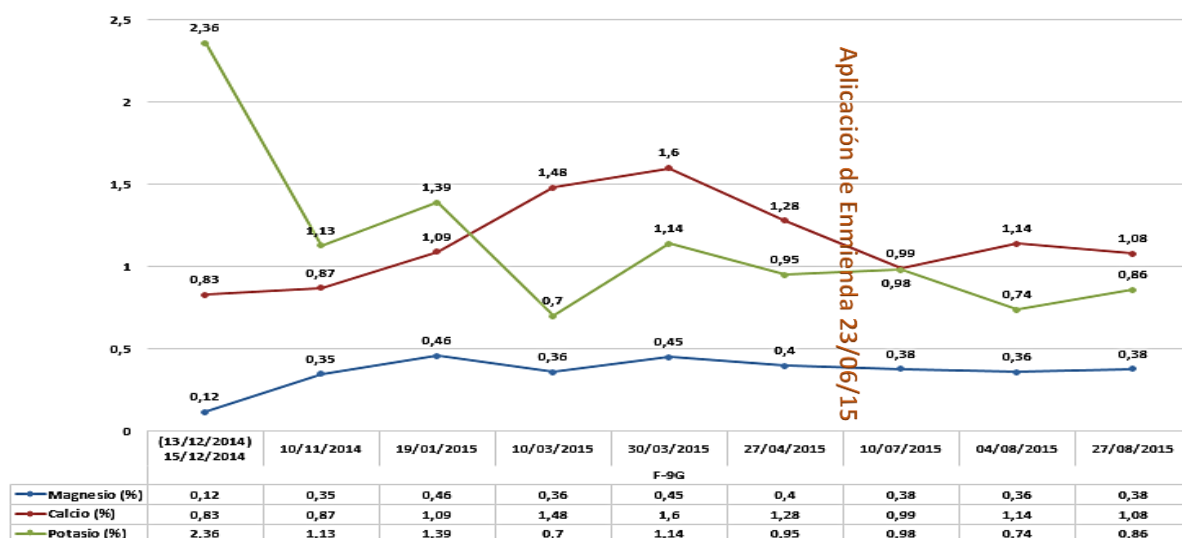
4.4.1) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 3 parcela C.

Tabla 30. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 3 parcela C



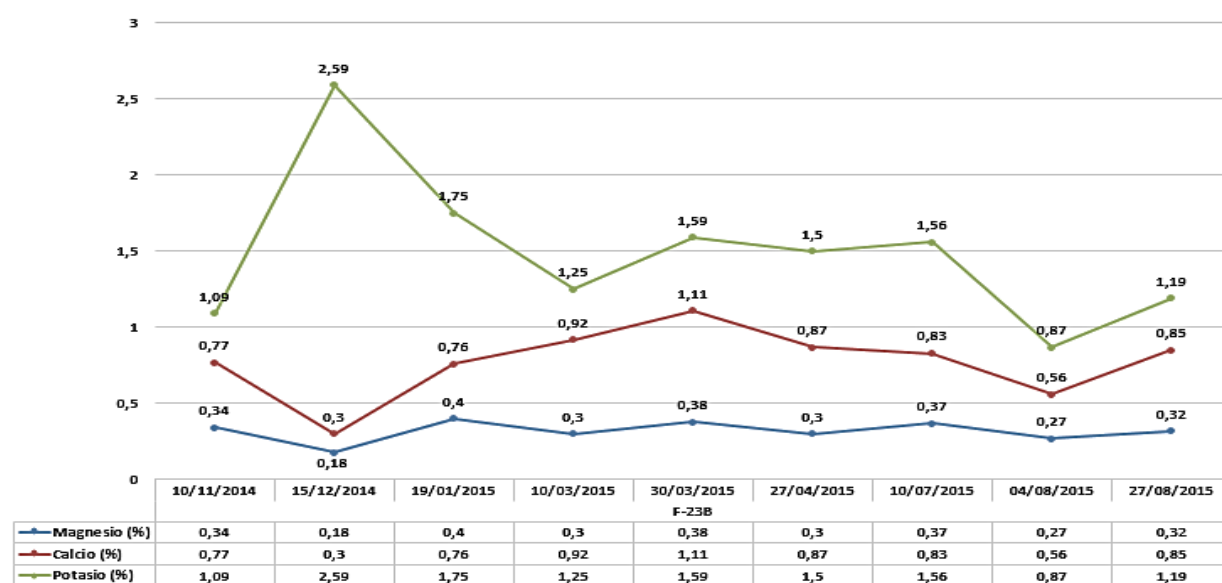
4.4.2) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 9 parcela G.

Tabla 31. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 9 parcela G



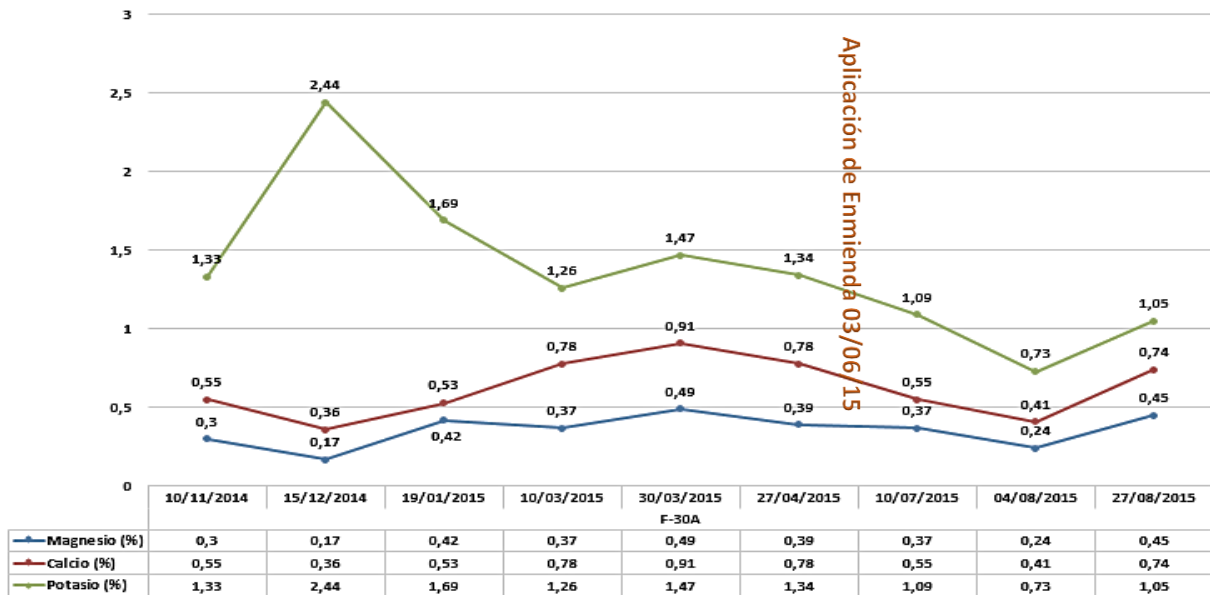
4.4.3) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 23 parcela B. (Finca testigo)

Tabla 32. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 23 parcela B.



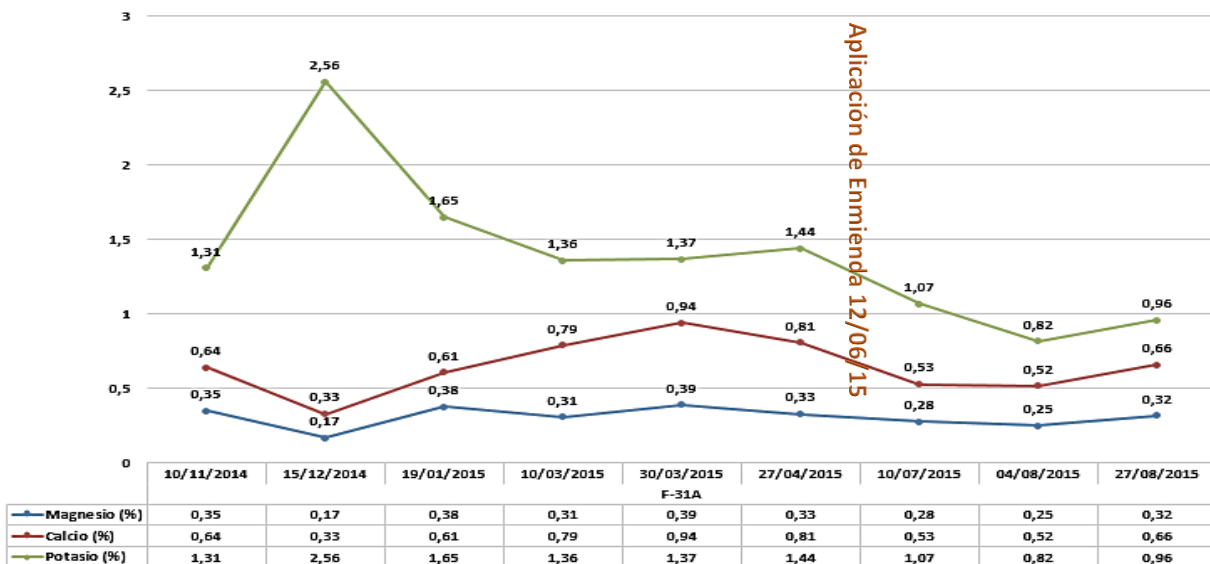
4.4.4) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 30 parcela A.

Tabla 33. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 30 parcela A.



4.4.5) Ca, Mg y K (%) foliar en la palma. Lote 31 parcela A.

Tabla 34. Ca, Mg y K en área foliar de la palma. Lote 31 parcela A.



4.5) Comportamiento de los minerales a nivel foliar.

Las hojas y sus partes (pecíolos, láminas, fluidos) representan la inversión de los recursos nutricionales de las plantas en procesos fisiológicos directamente ligados a las tasas de intercambio gaseoso (asimilación fotosintética del CO₂, transpiración). La composición química típica de la materia seca de una hoja puede ser: 60% carbohidratos, 25% proteínas, 5% lípidos y 10% minerales (Universidad de Costa Rica, 2002)

La demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida, y muestra una relación estrecha con la tasa y las características del crecimiento. La longevidad de las hojas está fuertemente determinada por el estado fisiológico de las plantas en el momento de su producción. La aplicación de nutrimentos en función de la demanda (una consecuencia del ciclo fenológico) debería constituir la base de la fertilización científica de los cultivos. (Universidad de Costa Rica, 2002)

El K, Na, Mg, Ca, Mn y Cl (son absorbidos como iones de la solución del suelo). Desde el punto de vista del diagnóstico nutricional de las plantas, las hojas son de enorme utilidad. Por un lado, la relación entre el contenido de nutrimentos en los tejidos (foliares) y el rendimiento es clara. Representa el fundamento científico del análisis químico de los tejidos para diagnosticar el estado nutricional de las plantas, pero requiere de investigación previa para determinar la reacción del rendimiento ante cambios en la concentración de nutrimentos en los tejidos. (Universidad de Costa Rica, 2002)

4.6) Comparación de costos de operación

Tabla 35. Comparación costos de análisis de suelo, foliar y solución de suelo.

ANALISIS	COSTO	
	METODOLOGIA SONDAS DE SUCCIÓN	COSTOS ANALISIS TRADICIONAL
SUELO (1)	107.800	126.500
FOLIAR (1)	107.800	126.500
SOLUCION DE SUELO (1)	107.800	107.800
TOTAL	323.400	360.800

5. CONCLUSIONES

La solución de suelo obtenida por medio de las sondas de succión permitió observar el comportamiento del pH y elementos bases tales como el Calcio, Magnesio y Potasio a través del tiempo muestreado, siendo esta una herramienta con la capacidad de arrojar datos más precisos de los elementos químicos presentes no solo en el suelo, sino de la composición química de la solución de suelo, que son en realidad los nutrientes que se encuentra disponible para la planta en ese momento.

Partiendo como primer parámetro, el pH del suelo se utiliza como indicador de acidez o salinidad del suelo. Los análisis de solución de suelo arrojados por las sondas de succión, brindan resultados de cómo ha sido el comportamiento de este en relación a los muestreos realizados a través del tiempo, durante el cual el suelo ha pasado por una serie de eventos, siendo estos las aplicaciones de fertilizantes como ácido bórico, KCL y mezclas de diferentes minerales, llegando a un evento final el cual es la aplicación de las enmiendas correctivas, esta con la finalidad de ayudar en la corrección de la acidez presente en el suelo y aportar magnesio, obteniendo como resultado final un comportamiento variable del pH en el suelo observado por medio de la toma de las soluciones de suelo.

Las sondas de succión, son una herramienta que permiten no solamente observar el comportamiento de las variables analizadas a dos profundidades, sino que también posibilita realizar un análisis más a fondo en cuanto a los factores que pueden estar afectando el comportamiento de minerales y pH del suelo, ya que en todos los lotes muestreadas el comportamiento de estos varia acorde a la profundidad muestreada.

El costo de operación de las sondas de succión en relación a la toma de muestras para los análisis químicos de suelo, análisis foliares y análisis de solución de suelo, por cada estación de muestreo, la cual es equivalente a dos sondas, una instalada a 20 cm y otra a 40 cm de profundidad del suelo, está en un 27.8% más del costo de manejo tradicional, teniendo en cuenta que CENIPALMA no realiza análisis de solución de suelo. Si se observa desde el punto de vista técnico la diversidad de usos que se le pueden dar a los análisis de solución de suelo obtenidos por medio de las sondas de succión, y el beneficio que estos pueden brindar a empresas o agricultores en cuanto a la identificación de deficiencias nutricionales edáficas, comportamiento de pH en el suelo, presencia o ausencia de nutrientes, y otros parámetros arrojados por los análisis. Son estos un factor fundamental para lograr identificar épocas ideales de aplicación de fertilizantes,

dosis más precisas; generando así un ahorro sustancial en los costos de fertilizantes los cuales representan un 40% del porcentaje total de gastos en el manejo del cultivo de la palma de aceite en Colombia.

6. RECOMENDACIONES

El desarrollo del presente proyecto sienta las bases de los beneficios del uso de las sondas de succión para el seguimiento de programas de fertilización u otro tipo de enmiendas que se le apliquen al suelo, esto gracias a que permite ver y seguir el comportamiento del suelo frente a los diferentes eventos por los cuales atraviesa.

Es de suma importancia al realizar aplicaciones de enmiendas en el cultivo de palma de aceite, que al momento de ejecutar estos procedimientos las parcelas se encuentren libres de cobertura o malezas que puedan interferir en la incorporación de las mezclas al suelo.

Se recomienda que por medio de la implementación del uso de las sondas de succión, empresas y agricultores particulares logren disminuir los precios de aplicación de fertilizantes, buscando la época ideal de aplicación así evitando el desperdicio del fertilizante, esto gracias al seguimiento continuo del suelo, debido al uso de esta herramienta

Es importante contar con suficiente humedad en el suelo cercano a las sondas, lo cual permitirá la absorción del volumen ideal de muestra de solución de suelo para ser enviada a laboratorio.

La metodología de muestreo implementada con las sondas de succión, es el punto de partida del uso de esta herramienta para ser utilizada en el manejo de otros cultivos a nivel departamental, buscando potencializar y optimizar el uso de los suelos en los Llanos Orientales.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, D.; Martínez, E.; Trigo, A.; Domínguez, A.; Sánchez, R; García, R. Ghorbel, R. y Tomas, J. (2006). Control de la nutrición mineral mediante el estudio de la solución de suelo y de la dinámica foliar. Dpto. Agronómico de AGQ. Oct 2006.

Cakmak, I. and A.M. Yazici. 2010. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. Better Crops 94(2): 23-25

E. Monge; J. Val; M. Sanz; A. Blanco and L. Montañés (1994). Calcium as a nutrient for plants. The bitter pit in apple. An. Estac. Exp. Aula Dei (Zaragoza) 21(3): 189-201.

Fedepalma (2010). Actualización de los costos de producción del aceite de palma. Documento interno. (p. 68).

Holland D. F.; Yitayew M. Warrich A. W. (2000). Measurement of subsurface unsaturated hydraulic conductivity. Journals of Irrigation and Drainage Engineering. 126: 1, 21-27; 19 ref.

Laboratorios AGQ (2015). Análisis de suelo. Memoria. Recuperado el 28 de Octubre 2015 de: <http://www.agq.com.es/agronomia/analisis-suelos>

Lao M. T.; Jiménez S.; Del Moral F.; (1996). Aplicación de las sondas de succión. HortoInformación. N° 73(4):39-42.

Novak M.; Bottrell S.; Groscheova H.; Buzek F.; Cerny J. (1995). Sulphur isotope characteristics of two north Bohemian forest catchments. 5th International Conference on Acidic Deposition: Science and Policy, Goteborg, Sweden. Water, Air and Soil Pollution. 85: 3, 1641-1646; 10 ref

Pérez, L. (1981). *Importancia de la reacción del suelo*. Salamanca: Centro de edafología y biología aplicada. EXCMA. Diputación provincial.

Perriganier C.; Schiavon M.; Portal J.; Breuzin C.; Babut M. (1997). Porous cups for pesticides monitoring in soil solution-laboratory tests. Chemosphere. 26(12):2231-2239.

Pratt, P. F., D. Knudsen & G. A. Peterson. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. In: P. F. Pratt (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy # 9. ASA, SSSA. Madison WI. USA.

Reacción del suelo. Consultado en octubre 9, 2015, de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Reaccion%20del%20suelo.pdf>

Revista Ingeniería Del Agua – Vol. 11 - N^o 3 Septiembre 2004.

Soon, Y. K. & C. J. Warren. 1993. Soil solution. In Soil sampling and methods of analysis. Ed by Martin R. Carter for Canadian society of soil science. Lewis Publisher. Florida.

Universidad de Costa Rica (2002). Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Memoria. Recuperado el 14 de Octubre 2015 de: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>

Uribe, E., y F. R., Cox. 1990. Dinámica y manejo de potasio en sistemas de altos y bajos insumos en Ultisoles amazónicos. Memorias del taller de investigación en suelos tropicales. RISTROP. San José, Costa Rica.

Universidad Valle Grande (2015). Análisis de solución de suelo. Memoria. Recuperado el 28 de Octubre 2015 de <http://www.vallegrande.edu.pe/laboratorio-de-quimica-agricola/analisis-de-laboratorio/analisis-de-solucion-de-suelo>

8. ANEXOS

Anexo A. Sondas de succión de 20 y 40 cm, y bomba de vacío.



Anexo B. Sondas de Succión instaladas en campo.



Anexo C. Aplicación de enmienda en campo.



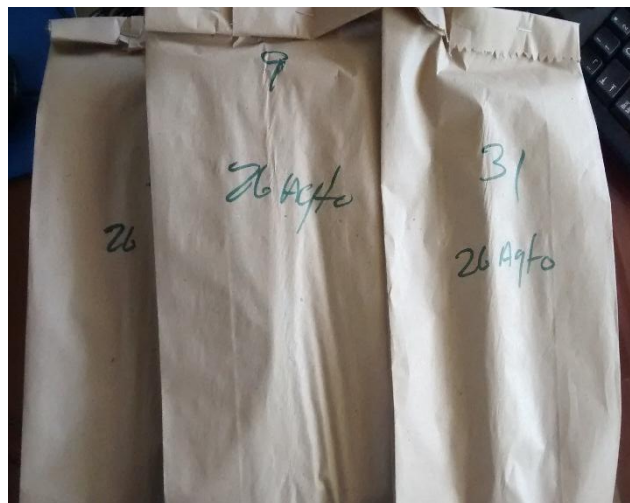
Anexo D. Toma de muestras de Solución de Suelo a 20 y 40 cm de profundidad.



Anexo E. Solución de suelo para envío a laboratorio



Anexo F. Toma de muestras foliares y empaque para envío a laboratorio.



Anexo G. Toma de muestras de suelo



Foto: Daniel Garcia