

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**EVALUACION DE LOS ELEMENTOS NUTRIMENTALES P, K, Ca Y Mg,
EN FORMAS QUIMICAMENTE DISPONIBLES Y DEL pH EN SUELOS
CAFETALEROS DEL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**

INFORME DE TESIS

**PRESENTADO POR
Mariela del Carmen Ramírez García**

**PARA OPTAR AL TITULO DE
QUIMICO**

GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2003

TESIS QUE DEDICO

A DIOS

Quien me ha brindado bendiciones en mi vida

A MIS PADRES

Héctor Mario Ramírez Motta por su amor, nobleza y paciencia.

Manuela Carmen García de Ramírez (QEPD), por su amor, dedicación incondicional, como un tributo a su memoria.

Que este logro sea para ambos, fruto de su esfuerzo.

A MI ESPOSO

Jorge Eduardo Rodas por todo su amor, colaboración, dedicación, paciencia y apoyo incondicional que me han permitido crecer profesionalmente.

A MIS HIJAS

Carmen Maria Rodas Ramírez

Maria Isabel Rodas Ramírez

Por todo su amor y apoyo.

A MIS HERMANOS Y

HERMANAS

Por su cariño, solidaridad y apoyo incondicional.

A MIS SOBRINAS Y SOBRINOS

A MIS CUÑADAS Y CUÑADOS

A TODA MI FAMILIA

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ESPOSO

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

A LA ASOCIACION NACIONAL DEL CAFÉ

A MIS CATEDRATICOS

Por sus conocimientos y el apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.

A MI ASESOR

Ing. Oscar Humberto Jiménez García , por haber aportado sus conocimientos y apoyo a lo largo de la realización de este trabajo.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Que me brindaron su valioso aporte profesional, técnico y observaciones oportunas, para ellos mi solidaridad, afecto y cariño.

INDICE

1. RESUMEN	i
2. INTRODUCCION.....	1
3. ANTECEDENTES	2
4. JUSTIFICACION	8
5. OBJETIVOS	9
6. HIPOTESIS	10
7. MATERIALES Y METODOS	11
7.1 UNIVERSO DE TRABAJO	11
7.2 MEDIOS	11
7.2.1 RECURSOS HUMANOS	11
7.2.2 RECURSOS MATERIALES	11
7.2.2.1 EQUIPO	12
7.2.2.2 REACTIVOS	13
7.3 PROCEDIMIENTO	13
7.3.1 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA.....	13
7.3.2 ANALISIS QUIMICO DE LA MUESTRA	13
7.3.2.1 Preparación de Filtrados.	13
7.3.2.2 Determinación de Fósforo	13
7.3.2.3 Determinación de Potasio	14
7.3.2.4 Determinación de Calcio	14
7.3.2.5 Determinación de Magnesio	14
7.3.2.5 Determinación de pH	15
7.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	15
8. RESULTADOS	16
8.1 VARIABLE pH.	16
8.2 VARIABLE FOSFORO (P)	17
8.3. VARIABLE POTASIO (K)	18
8.4. VARIABLE CALCIO (Ca)	20
8.5 VARIABLE MAGNESIO (Mg)	21
9. DISCUSION DE RESULTADOS	22
10. CONCLUSIONES.....	27
11. RECOMENDACIONES	29
12. REFERENCIAS.....	30
13. ANEXOS	33
13.1 EL SUELO.....	33
13.1.2 SUELO FERTIL	33
13.1.3 SUELO PRODUCTIVO	33
13.1.4 FERTILIZANTE.....	33
13.1.5 FERTILIZACION.....	34
13.2 COMPOSICION Y CONTENIDO DEL SUELO.....	34
13.3 DINAMICA DEL SUELO.....	34
13.3.1 ELEMENTOS NUTRIENTES Y SU CLASIFICACION	34

13.4 FORMAS DISPONIBLES DE NUTRIENTES EN EL SUELO	36
13.4.1 FOSFORO	36
13.4.2 POTASIO.....	36
13.4.3 CALCIO.....	37
13.4.4 MAGNESIO	37
13.5 EL pH DEL SUELO (REACCION DEL SUELO).....	38
13.6 NIVELES CRITICOS.....	39
13.7 EL CAFE	39
13.8 GLOSARIO	40
13.9 CUADROS	41
13.10 GRAFICAS.....	45
13.11 TABLAS.....	50
13.12 MAPAS.....	51

1. RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objeto de establecer la concentración de los elementos fósforo, potasio, calcio y magnesio presentes en los suelos de la región cafetalera de Santa Rosa. Así como la variación del pH en el suelo, ya que de la cual depende en gran parte la disponibilidad de los iones presentes en el suelo.

Para evaluar la concentración de los elementos se utilizaron resultados de muestras de suelos analizadas durante los años de 1988 a 1993 en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de Asociación Nacional del Café. Tomando los municipios de Barberena, Cuilapa, Nueva Santa Rosa, San Rafael las Flores, Santa Cruz Naranjo, Casillas y Santa Rosa de Lima y tres fincas por cada municipio.

Mediante el análisis estadístico se pudo determinar que cada municipio posee características propias de fertilidad, con respecto al factor tiempo el pH se mantiene estable y los elementos no presentaron un cambio estadísticamente significativo, aunque aritméticamente existe una tendencia a ir incrementando con respecto al tiempo. Mediante este estudio se estableció que respuesta puede tener un suelo con respecto a los programas de fertilización utilizados.

2. INTRODUCCION

El café es uno de los productos agrícolas de mayor exportación a nivel mundial. Entre los mayores productores se incluyen: Brasil (1 millón 416 toneladas métricas), Colombia (780 mil toneladas métricas), Indonesia (391,200 toneladas métricas), México (309,200 toneladas métricas), Guatemala (210,300 toneladas métricas), y Costa de Marfil (204,900 toneladas métricas).⁽¹⁾

Para los países productores, como Guatemala, la caficultura juega un papel importante desde el punto de vista económico y social. En Guatemala, el café Representó en cinco años (1979 a 1983) un 29% del total de ingresos de divisas.⁽²⁾ El café se introdujo a Guatemala en 1760, estableciéndose inicialmente en las regiones montañosas, suelos vírgenes con alto contenido de nutrientes esenciales (P, K, Ca Y Mg) para el desarrollo del cultivo, de donde se fue difundiendo a otras regiones, muchas veces a suelos no aptos debido a su escasa riqueza nutricional. Es por ello que es de vital importancia establecer el análisis de la variabilidad de las diferentes concentraciones de iones presentes en los suelos de las zonas cafetaleras, lo cual permitirá establecer los rangos de fertilidad natural de éstos.

El conocimiento de la variabilidad iónica permite a los caficultores de las diferentes áreas de estudio; la utilización de fórmulas adecuadas de fertilizantes disponibles en el comercio, lo cual redundará en la preservación del medio ambiente y en la optimización de los costos de producción.

Partiendo de la importancia que presentan estos análisis, el siguiente estudio se realizó en el área cafetalera del departamento de Santa Rosa, una de las principales zonas productivas de café del país. Dicho estudio se realizó mediante el empleo del banco de datos del Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de Asociación Nacional del Café - ANACAFE y el análisis de iones P, K, Ca, Mg, y pH correspondientes. Los resultados son muy importantes para conocer la disponibilidad de los elementos esenciales para las plantas, y su variabilidad, lo cual permitirá proponer programas de fertilización adecuados.

3. ANTECEDENTES

Los análisis modernos de evaluación de fertilidad del suelo, comenzaron en Guatemala en julio de 1966 con el establecimiento del concepto de correlación de métodos, uso de la muestra control y la instalación de equipo para análisis múltiple en los Laboratorios del Ministerio de Agricultura de Guatemala.⁽³⁾

Fitts, et al.⁽⁴⁾ indican en la evaluación que llevaron a cabo sobre los programas de fertilidad del suelo en América Latina en 1963, que ningún país disponía de un número suficiente de análisis de suelos que justifique la preparación de un sumario que abarque todo el país. Sin embargo, existían áreas esparcidas dentro de los países, donde el número de muestras analizadas era suficiente para facilitar la elaboración de sumarios con los resultados obtenidos. Esto es especialmente factible donde la información disponible ha sido acumulada durante varios años. La publicación de sumarios será estimulada siempre que haya suficiente información que lo amerite.⁽⁵⁾

Jackson⁽⁵⁾, indica que en primer lugar se trató de encontrar la correlación que existe entre el contenido total de un determinado nutrimento y la producción vegetal. Waugh, Cate y Nelson^(6,7), indican que un análisis de suelo tiene significado para cualquier nutrimento, cuando éste es asociado con la disponibilidad de dicho nutrimento para la planta. Se han ensayado diversas técnicas que relacionan los análisis de los resultados, con el crecimiento de las plantas, fluctuando desde intentos directos para extraer químicamente del suelo la misma cantidad que las raíces extraen biológicamente, hasta correlaciones indirectas o empíricas entre los nutrimentos extraídos y el crecimiento vegetal. Los métodos indirectos de correlación han resultado ser los medios más prácticos para una evaluación.

Palencia⁽⁸⁾, indica que la evaluación de la fertilidad del suelo, mediante la utilización del equipo de análisis múltiple de suelos, tiene su fundamento en la correlación de métodos analíticos y en el uso de la muestra control. Siendo de

suma importancia, deben ser revisados y ajustados periódicamente para aumentar la confiabilidad en el proceso.

Cate y Nelson ^(6,9) presentan una técnica bastante práctica y sencilla para llevar a cabo correlaciones de los resultados de análisis de suelos con información de la respuesta de las plantas. Esta técnica establece un nivel crítico que separa el valor de los análisis de los suelos en dos grupos: suelos con alta probabilidad de respuesta al aplicarse algún fertilizante en particular y suelos con poca probabilidad de respuesta.

Hunter y Fitts⁽¹⁰⁾, dicen que el propósito del análisis del suelo es obtener información que pueda usarse para tomar decisiones en el uso de fertilizantes y otras enmiendas de suelo. Para analizar y ajustar niveles críticos de acuerdo a las condiciones ambientales de campo, es necesario llevar a cabo una cantidad relativamente grande de ensayos. Por lo que se recomienda llevar un experimento sencillo para poder realizar un número mayor de ensayos.

A pesar de la importancia de los estudios de correlación y la facilidad de llevarlos a cabo, Fitts, et al. ⁽⁴⁾ realizaron a partir de junio de 1963 un reconocimiento del trabajo realizado por los laboratorios de análisis de suelos y plantas de América Latina, en relación a las seis fases que componen un buen programa de análisis de suelo. Encontrando con respecto a la correlación de métodos analíticos que en general no se habían llevado a cabo ensayos y demostraciones de campo con el fin de usar los datos para este propósito. Valencia, et al. ⁽¹¹⁾ en 1975 en Guatemala, demostraron que existe diferencia en los resultados de experimentos en invernadero y los obtenidos en experimentos de campo. Establecieron que los niveles críticos para fósforo (P) y potasio (K) encontrados en invernadero fueron 19 ug/ml y 140 ug/ml respectivamente y que los valores de campo correspondientes eran de 7 a 60 ug/ml. La mayor exigencia en invernadero se debe a la menor cantidad de suelo en la cual las plantas se encuentran, comparada con la condición del campo donde existe más suelo por planta.

González ⁽³⁾ , Fassbender⁽¹²⁾ , y Muller ⁽¹³⁾ , han realizado en Guatemala y otros países Centroamericanos, estudios de correlación a nivel de invernadero. Asimismo a nivel de campo, se han venido realizando en Guatemala desde 1972 importantes estudios de correlación, principalmente en cultivos de granos básicos, de acuerdo al informe anual de Nutrición Vegetal del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

En 1976 Brolo⁽¹⁴⁾ , realizó una evaluación del contenido de fósforo (P) y potasio (K) disponibles en los suelos de Guatemala, usando los niveles críticos recomendados por Valencia et al. mediante la sumarización de los datos de análisis de suelos de 80,746 muestras analizadas durante los años de 1968 a 1975 representativas de las áreas agrícolas mas importantes del país, indica que el 10% de las muestras correspondieron a la categoría de P y K deficientes; el 45.7% a la categoría de P y K adecuado; el 4.4% a la categoría de P adecuado y K deficiente. A nivel nacional la mayor deficiencia de P y K se encontró en Alta Verapaz y Petén, que es atribuible al material original de estos suelos y el efecto de la alta precipitación pluvial. La mayoría de municipios mostraron suelos con alto contenido de potasio lo que es atribuible a la influencia volcánica sobre estos suelos. El hecho de no haber encontrado deficiencia de fósforo y potasio en varios municipios de Huehuetenango, Retalhuleu, Jutiapa, y Zacapa, está relacionado con la fertilidad natural de los suelos y con el efecto residual de la fertilización usada en cultivos de alta rentabilidad.

Miyares⁽¹⁵⁾ , en 1977 llevó a cabo una evaluación del grado de acidez y alcalinidad de los suelos naturales que difieren considerablemente en su pH, y estas diferencias que se reflejan en su vegetación. Realizó una sumarización de muestras de suelos de toda la República de Guatemala. Mediante cinco categorías establecidas para el pH, distribuyó los resultados en una forma porcentual. De acuerdo a esta sumarización se encontró para las Regiones agrícolas del país, que el 0.3% corresponde a pH menor de 4.5; el 1.8% corresponde a la categoría de 4.6 - 5.0; el 28.9% de 5.1 - 6.0; el 58.5% de 6.1 a 7.2 y el 10.5% pH mayor de 7.3.

Del Valle⁽¹⁶⁾, indica que en 1972 fue creado el laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de la Asociación Nacional del Café, dentro del programa que la Universidad de Carolina del Norte (E.E.U.U.) desarrolló en distintos países latinoamericanos para la evaluación de la fertilidad del suelo. A partir de ese momento hasta el año de 1989 se ha diseñado, conducido y evaluado investigación a nivel de laboratorio, invernadero y campo, lo cual ha permitido, definir los niveles críticos para fósforo y potasio, así como establecer rangos de pH en los que las plantas de café tienen un desarrollo óptimo. Además el laboratorio cuenta con los datos de muestras de suelos cafetaleros, analizadas desde el inicio del laboratorio hasta el año en curso.

Simmons⁽¹⁷⁾, en 1959 realizó una clasificación de los suelos de Guatemala determinando que en el departamento de Santa Rosa los municipios Cuilapa, Casillas, San Rafael Flores, Santa Rosa de Lima, Santa Cruz Naranjo y Nueva Santa Rosa, según la división fisiográfica, se encuentran en una zona denominada Altiplanicie Central y los municipios de Cuilapa, Santa Cruz Naranjo y Barberena se encuentran en la zona denominada Declive del Pacífico, ver mapa No.1 y 2⁽¹⁷⁾, anexos 13.13. La Altiplanicie Central es una región seccionada con elevaciones típicas que varían entre los 900 a 1800 metros sobre el nivel del mar, pero en la parte Este los suelos predominantes de la región se unen al del Litoral del Pacífico con elevaciones de alrededor de 150 metros. (vease en anexos; 13.10, cuadro No.1) Esta zona ha sido cubierta varias veces por ceniza y lava volcánica. La superficie se caracteriza por barrancos profundos y empinados y por colinas fuertemente onduladas. En Santa Rosa son comunes las formaciones de lava con pendientes inclinadas y pedregosas, con numerosos afloramientos de roca. El clima de Santa Rosa se caracteriza por ser extremadamente seco desde noviembre hasta abril, especialmente cerca de la costa, y muy húmedo durante la época lluviosa de mayo a noviembre. En Santa Rosa la temperatura es moderada y las variaciones estacionales son pequeñas, las cuales pueden ser de 2 °C hasta 10 °C y las variaciones estacionales son pequeñas. La Altiplanicie Central es una región fuertemente ondulada e inclinada que se caracteriza por suelos poco profundos, pedregosos en muchos lugares. En esta región, donde hay suficiente lluvia, se

intensifica la producción del café. La división fisiográfica del Declive del Pacífico es generalmente una región fuertemente inclinada con muchos lugares muy pedregosos, que se extienden desde la Altiplanicie Central hasta el Litoral del Pacífico. Las elevaciones máximas varían desde alrededor de los 2,300 metros sobre el nivel del mar en la parte Oeste, hasta alrededor de los 1,000 metros en la parte Este. Barberena y Cuilapa se utilizan extensamente para la producción del café. En Santa Rosa están incluidos los suelos Aluviales no diferenciados y la de los suelos de los Valles no diferenciados, áreas que son buenas para la agricultura.

Alvarado ⁽¹⁸⁾, en 1984 lleva a cabo una caracterización de los suelos de Guatemala e indica que los suelos del área Sur, donde se encuentra localizada Santa Rosa, son de origen volcánico y con influencia de ceniza volcánica. De acuerdo con la información climática la precipitación pluvial varía entre los 1500 a 3000 mm/año pero existen unas áreas que pasan los 4000 mm/año.

Summer y colaboradores ⁽¹⁹⁾ en 1992 indican que en la región Sur el clima es templado húmedo. El promedio anual de las temperaturas varía entre 19°C y 24°C. Indican que la mayoría de los suelos tienen un régimen isotérmico, ya que el promedio mensual de las temperaturas se mantiene uniforme durante el año. Así mismo, realizaron una caracterización de los suelos cafetaleros del área del país lo que estableció que la región sur de Guatemala ha sido favorecida con una variedad de suelos que tienen el potencial de ser altamente productivos. La interacción entre estos suelos de origen volcánico y el clima, con temperaturas óptimas y suficiente humedad, ha producido un ambiente propicio para la producción de café. Para mantener la capacidad productiva, es necesario conocer las clases y distribución de suelos que se encuentran en un área determinada, así como definir las interacciones entre clima, suelos y topografía. Mediante esta información, se puede evaluar la productividad potencial de una región, escoger los tipos de manejo y la tecnología necesaria para aumentar los rendimientos, sin dañar el ambiente y el recurso importante que es el suelo. Para alcanzar el objetivo de esta investigación fue necesario caracterizar, química, física y mineralógicamente los suelos de la región Sur de la agroindustria cafetalera de Guatemala. Los suelos en la Región Sur de

esta agroindustria fueron divididos en dos grandes grupos, en relación al material de origen, los cuales están relacionados con la ubicación geográfica. Se tomó como referencia la ciudad de Guatemala. Los suelos del grupo en la región Este se desarrollaron predominantemente sobre depósitos volcánicos de la época terciaria. En los suelos situados en las hondonadas, el material predominante puede ser andesita o andesita basáltica depositado como escorrentía de lava.

Summer y colaboradores⁽¹⁹⁾ reportan únicamente los resultados obtenidos en los municipios de Barberena y Pueblo Nuevo Viñas. En Barberena reportan físicamente que los suelos poseen una capacidad de humedad baja-media, una velocidad de infiltración mediana, un riesgo de erosión mediano, sin impedimento para que las plantas puedan enraizar. Químicamente reportan que hay saturación de bases media- alta, un riesgo de toxicidad de aluminio baja-media, la capacidad de fijación de fósforo es de media-alta y los niveles de fósforo disponibles son bastantes bajos, las reservas de potasio son adecuadas y se encuentran de forma disponible hasta los 100 cm. en profundidad. La acidez, tanto en la superficie como en los horizontes de profundidad están en el punto que el aluminio comienza a ser tóxico. En Pueblo Nuevo Viñas reportan que las condiciones físicas presentan una capacidad de humedad disponible muy alta, su velocidad de infiltración es mediana, el riesgo de erosión va de medio-alto, posee un buen drenaje, no tiene ningún impedimento para que las plantas puedan enraizar. Químicamente la saturación de bases es muy alta, el riesgo de toxicidad de aluminio es bajo. La capacidad de fijación de fósforo es bajo, la cantidad inicial de fósforo es baja. Las cantidades de potasio son muy bajas en profundidad, por no encontrarse minerales ricos en potasio que al intemperizarse lo liberen.

4. JUSTIFICACION

Los suelos son el medio en el cual los cultivos se desarrollan, además de constituirse en la masa que sostiene a las plantas, las provee de los elementos necesarios para su subsistencia. Guatemala, debido a su localización geográfica y diversidad ecológica, posee suelos fértiles que permiten la adaptación y producción de distintos cultivos como el café, principal fuente de divisas para el país.

Desde la formación del suelo a partir del material original, está sujeto a innumerables cambios físicos, químicos y bioquímicos. Esto, debido principalmente a factores externos como la lluvia, temperatura, aplicación de fertilizantes y otros que a la vez provocan la constante variabilidad iónica de los elementos P, K, Ca y Mg, y cambios en el pH.

Siendo el cultivo de café una de las principales actividades agrícolas del país y el departamento de Santa Rosa uno de los mayores productores, se hizo necesario un estudio de los suelos de este departamento, que permitiera evaluar la variabilidad iónica que se ha venido dando en estos elementos y el pH. Conociendo el estado actual de los suelos de esta zona cafetalera este estudio será la base para definir las categorías de fertilidad en que se encuentran y que permitan un plan de fertilización para proporcionar los elementos químicos adecuados.

5. OBJETIVOS

GENERAL

- Establecer la variabilidad del pH y los diferentes rangos de concentración de los iones presentes en los suelos de la zona cafetalera del departamento de

Santa Rosa, para los nutrimentos P, K, Ca y Mg, a través del tiempo.

ESPECIFICOS

- Establecer el grado de variabilidad de acidez o alcalinidad de los suelos de la zona cafetalera del departamento de Santa Rosa dentro del período comprendido de 1988 a 1993.

- Determinar el contenido de P, K Ca, y Mg en los suelos de la zona cafetalera del departamento de Santa Rosa durante el período comprendido de 1988 a 1993.

6. HIPOTESIS

En los suelos de la región cafetalera del Departamento de Santa Rosa, existe variabilidad iónica de los elementos P, K, Ca y Mg al igual que del pH en relación al tiempo

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

Resultados de los análisis de muestras de suelo provenientes de la región cafetalera del departamento de Santa Rosa, en el período comprendido de octubre de 1988 a septiembre de 1993.

7.2 MEDIOS

7.2.1 RECURSOS HUMANOS

Br. Mariela del Carmen Ramírez García (Autora)

Ing. Químico Oscar Humberto Jiménez García (Asesor)

7.2.2 RECURSOS MATERIALES

El equipo, material y reactivos para realizar el trabajo de investigación, así como los datos de análisis de muestras de los últimos cinco años, serán proporcionados por el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral y Banco de datos de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE).

7.2.2.1 EQUIPO

- Potenciómetro Orion 720 A
- Espectrofotómetro Perkin-Elmer Junior Modelo 35
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer Modelo 3100
- Agitador Custom
- Dispensadores Custom
- Computadora AT & T Globstyl 515
- Destilador Wheaton Autostill-5
- Bandejas con 30 recipientes de muestreo
- Beacker 250 ml
- Varillas de agitación
- Balones aforados de 1000 ml
- Balones aforados de 500 ml
- Probetas de 100 ml
- Balanza Analítica Metler 460 PM
- Recipientes de 5 galones
- Papel filtro Whatman No.2
- Papel encerado
- Bomba de vacío, 120 v. 60 Hz. PSI
- Tamiz de 2 mm

7.2.2.2 REACTIVOS

- Agua Destilada
- Oxido de Lantano g.a.

- Cloruro de sodio g.a.
- Ácido Clorhídrico 37% g.a.
- Ácido Sulfúrico 97% g.a
- Molibdato de Amonio g.a.
- Ácido Ascórbico g.a.
- Nitrato de bismuto (III) pentahidratado. g.a.
- Buffer de pH 4
- Buffer de pH 7
- Buffer de pH 9
- Cloruro de Calcio g.a.
- Cloruro de Potasio g.a.
- Cloruro de Magnesio g.a.
- Fosfato Diácido de Potasio g.a.

7.3 PROCEDIMIENTO.

7.3.1 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

La toma de muestra sigue la técnica recomendada por Cate⁽¹⁶⁾. La cual consiste en tomar muestras representativas de suelo. El muestreo consiste en definir áreas homogéneas de terreno, extraer porciones de suelo con una profundidad de 20 cms. y su posterior mezcla para obtener una sola muestra compuesta. En el laboratorio se le asigna a la muestra un número correlativo de ingreso y la primera fase consiste en el secado de ésta. Para el efecto, se coloca la muestra en un cuarto con calefactores a 30 °C, con circulación de aire y extractor de humedad, donde debe permanecer todo el tiempo necesario para obtener una muestra completamente seca para que pueda pasar por un tamiz. Cada muestra es molida y homogeneizada utilizando un tamiz de 2 mm y colocada en cajas de cartón en espera de su turno de análisis.

7.3.2 ANALISIS QUIMICO DE LA MUESTRA .

7.3.2.1 Preparación de Filtrados.

Para el análisis de P, K, Ca y Mg de cada muestra ya secada y homogénea se utiliza una solución extractora Melnich I (Carolina del Norte) 0.05 N en HCl y 0.025 N en H₂SO₄. A cada muestra se le agrega la solución extractora en relación 1:5 (5 cc. De suelo y 25 ml de solución extractora). Luego se agita durante 5 minutos. Posteriormente la solución es filtrada utilizando papel Wathman No. 2.

7.3.2.2 Determinación de Fósforo

Se prepara una curva de calibración de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 ppm fósforo con una solución estándar patrón de KH₂PO₄. A una alícuota de 2 ml de cada estándar se le agrega 14 ml del reactivo "B" , dejándolo en reposo durante 20 minutos para que desarrolle color (desde celeste a azul intenso). A continuación el mismo procedimiento se lleva a cabo con 2 ml de cada muestra. Se calibra el espectrofotómetro con los estándares a una longitud de onda de 610 nm y se procede a leer las muestras.

Preparación de Reactivo "B":

Se disuelven 11 g de Nitrato de Bismuto (III) en 800 ml de agua destilada y se agregan 250 ml de ácido sulfúrico. Se disuelven 15 g de Molibdato de amonio en 400 ml de agua destilada. Se mezclan las soluciones y la mezcla se afora a 2 litros con agua destilada. Se disuelve 1 g de ácido ascórbico en 100 ml de reactivo A se afora a 1 litro con agua destilada.

7.3.2.3 Determinación de Potasio

Se preparan estándares de KCl de 25, 50 y 100 ppm para elaborar una curva de calibración. A una alícuota de 1 ml de cada estándar se agregan 24 ml de una solución 0.12 % de NaCl. Se coloca la lámpara de potasio en el espectrofotómetro de absorción atómica y se procede a leer los estándares ya preparados a una longitud de onda de 767.18 nm. A una alícuota de 1 ml

de cada muestra se le agrega 24 ml 0.12 % de NaCl. Posteriormente se leen las muestras.

7.3.2.4 Determinación de Calcio

Se preparan estándares de CaCl_2 de 75, 150 y 300 ppm para elaborar una curva de calibración. A una alícuota de 1 ml de cada estándar se le agrega 24 ml de la solución 0.25% de óxido de lantano. Se coloca la lámpara de calcio y se deja calentar durante 15 minutos, se procede a leer a una longitud de onda de 442.70 nm los estándares ya preparados. A una alícuota de 1 ml de muestra se le agrega 24 ml de la solución 0.25% de óxido de lantano. Se leen las muestras.

7.3.2.5 Determinación de Magnesio

Se preparan estándares de MgCl_2 de 25, 50 y 75 ppm para elaborar una curva de calibración. A una alícuota de 1 ml de cada estándar se le agrega 24 ml de una solución 0.25% de óxido de lantano. Se coloca la lámpara de magnesio en el espectrofotómetro de absorción atómica y se procede a leer los estándares preparados, a una longitud de onda de 285.2 nm. A una alícuota de 1 ml de muestra se le agrega 24 ml de una solución 0.25% de óxido de lantano. Se leen las muestras.

7.3.2.5 Determinación de pH

Cada muestra se prepara con una suspensión suelo - agua en relación 1:2.5 (10 cc. de suelo en 25 ml de agua). Se agita durante 10 minutos y se hacen las lecturas en un potenciómetro ORION 720A previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 9.

7.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para medir el efecto del tiempo y el espacio sobre el pH y las concentraciones de P, K, Ca y Mg, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Los factores a estudiar fueron los siguientes: municipios (factor A), años (factor B). Se tomó siete de los municipios del área cafetalera del departamento de Santa Rosa y se analizó tres fincas en cada uno, para hacer un total de veintiuna fincas. Los años comparados fueron cinco. El año cafetalero comienza en octubre y finaliza en septiembre del

siguiente año comercial. Los años para el estudio fueron denominados períodos: **P1** (1988 - 1989), **P2** (1989 -1990), **P3** (1990 -1991), **P4** (1991-1992) y **P5** (1992-1993). Las variables respuesta fueron 5 (pH, P, K, Ca y Mg) con tres réplicas para cada muestra de suelo proveniente de cada finca, durante los cinco años. Para las variables se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existen diferencias significativas, en este caso se utilizó el test Student - Newman - Keuls (SNK) comparador múltiple al 95%.

8. RESULTADOS

8.1 VARIABLE pH.

TABLA 1. ANALISIS DE VARIANZA DE VARIABLE pH

FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F _{obs}	PROB	CV	INTER. EST.
VAR. TOTAL	29.02	104	0.28				
VAR. FACT 1	7.31	6	1.22	4.94	0.0003		**
VAR. FACT 2	0.06	4	0.02	0.06	0.9895		NS
INTER FACT	4.37	24	0.18	0.74	0.7956		NS
RESIDUO	17.27	70	0.25			9.2 %	

SC = suma de cuadrados GL = grados de libertad CM = cuadrados de medias CV = coeficiente de variación

FACT 1 = MUNICIPIO
FACT 2 = AÑOS

** = SIGNIFICATIVO AL 5 %
NS = NO SIGNIFICATIVO

TABLA 2. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE pH EN EL FACTOR MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENEOS
NUEVA SANTA ROSA (NSR)	5.18	B
SAN RAFAEL LAS FLORES (SRF)	5.18	B
SANTA CRUZ NARANJO (SCN)	5.20	B

CUILAPA (CUI)	5.23	B
BARBERENA (BAR)	5.51	AB
SANTA ROSA DE LIMA (SRL)	5.67	AB
CASILLAS (CAS)	5.89	A

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa.

TABLA 3. PRESENTACION DE MEDIAS PARA LA VARIABLE pH EN EL FACTOR AÑO.

AÑOS	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
MEDIAS	5.41	5.39	5.43	5.44	5.38

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia

TABLA 4. PRESENTACION DE MEDIAS DE LA VARIABLE pH EN LA INTERACCION DE LOS FACTORES MUNICIPIO/AÑO.

AÑO/MUNICIPIO	BAR	CUI	CAS	SCN	NSR	SRF	SRL
88/89	5.15	5.51	5.91	5.57	4.91	5.16	5.69
89/90	5.11	5.13	5.86	5.45	5.20	5.29	5.66
90/91	5.49	5.19	5.91	5.26	5.25	5.28	5.64
91/92	5.65	5.24	5.93	5.08	5.29	5.20	5.69
92/93	6.14	5.09	5.82	4.67	5.27	4.97	5.68

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia

8.2 VARIABLE FOSFORO (P)

TABLA 5. ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE FOSFORO.

FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F _{obs}	PROB	CV	INTER. EST.
VAR. TOTAL	28715.32	104	276.11				
VAR. FACT 1	16233.96	6	2705.6	16.98	0.0000		**
VAR. FACT 2	255.32	4	63.83	0.40	0.8095		NS
INTER FACT	1068.78	24	44.53	0.28	0.9900		NS
RESIDUO	11157.25	70	159.39			85.1%	

SC = suma de cuadrados GL = grados de libertad CM = cuadrados de medias CV = coeficiente de variación

FACT 1 = MUNICIPIO

**= SIGNIFICATIVO AL 5 %

FACT 2 = AÑOS

NS= NO SIGNIFICATIVO

TABLA 6. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE P EN EL FACTOR MUNICIPIO.

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENEOS
NUEVA SANTA ROSA (NSR)	42.43	A
BARBERENA (BAR)	17.70	B

SAN RAFAEL LAS FLORES (SRF)	15.75	C
CUILAPA (CUI)	13.32	D
SANTA CRUZ NARANJO (SCN)	7.80	E
SANTA ROSA DE LIMA (SRL)	4.15	F
CASILLAS (CAS)	2.64	G

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa

TABLA 7. PRESENTACION DE MEDIAS PARA LA VARIABLE P EN EL FACTOR AÑO.

AÑOS	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
MEDIAS	13.44	13.98	13.61	15.57	17.56

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia estadística.

TABLA 8. PRESENTACION DE MEDIAS DE LA VARIABLE P EN LA INTERACCION DE LOS FACTORES MUNICIPIO/AÑO.

AÑO\MUNICIPIO	BAR	CUI	CAS	SCN	NSR	SRF	SRL
88/89	11.21	14.88	2.12	12.74	41.67	9.65	1.78
89/90	14.71	14.34	2.55	10.26	43.16	10.69	2.16
90/91	16.11	13.56	2.47	6.88	41.23	11.56	3.44
91/92	20.33	12.28	2.44	5.40	42.88	20.55	5.11
92/93	26.18	11.56	3.82	3.74	43.03	26.31	8.27

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia estadística.

8.3. VARIABLE POTASIO (K)

TABLA 9. ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE POTASIO.

FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F _{obs}	PROB	CV	INTER. EST.
VAR. TOTAL	19.64	104	0.19				
VAR. FACT 1	4.50	6	0.75	6.59	0.0000		**
VAR. FACT 2	1.32	4	0.33	2.90	0.0277		**
INTER FACT	5.84	24	0.24	2.14	0.0075		**
RESIDUO	7.97	70	0.11			6.7 %	

SC = suma de cuadrados GL = grados de libertad CM = cuadrados de medias CV = coeficiente de variación

FACT 1 = MUNICIPIO
FACT 2 = AÑOS

** = SIGNIFICATIVO AL 5 %
NS = NO SIGNIFICATIVO

TABLA 10. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE K EN EL FACTOR MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENOS
NUEVA SANTA ROSA (NSR)	249.93	A
CASILLAS (CAS)	193.42	B
BARBERENA (BAR)	176.06	C
SANTA CRUZ NARANJO (SCN)	163.17	D
CUILAPA (CUI)	150.74	E
SAN RAFAEL LAS FLORES (SRF)	144.64	F
SANTA ROSA LIMA (SRL)	130.35	G

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa

TABLA 11. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE K EN EL FACTOR AÑO.

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENEOS
1988/1989	152.09	C
1989/1990	160.58	BC
1990/1991	167.11	BC
1991/1992	179.37	B
1992/1993	203.93	A

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa

TABLA 12. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE K EN LA INTERACCION DE LOS FACTORES MUNICIPIO/AÑO.

AÑO\MUNICIPIO	BAR	CUI	CAS	SCN	NSR	SRF	SRL
88/89	131.33 AB	160.11 ABC	125.00 ABC	254.56 AB	220.44 ABC	92.56 BC	80.67 C
89/90	146.44 ABC	152.67 ABC	161.67 ABC	190.89 ABC	254.89 ABC	110.55 ABC	107.0 0ABC
90/91	174.89 ABC	146.11 ABC	181.34 ABC	256.11 AB	256.11 AB	123.44 ABC	118.4 4ABC
91/92	209.11 ABC	147.17 ABC	212.55 ABC	256.22 AB	256.22 AB	184.22 ABC	141.9 9ABC
92/93	218.56 ABC	147.17 ABC	297.00 A	262.00 AB	262.00 AB	212.45 ABC	203.6 7ABC

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia estadística.

8.4. VARIABLE CALCIO (Ca)

TABLA 13. ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE CALCIO.

FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F _{obs}	PROB	CV	INTER. EST.
VAR. TOTAL	54.66	104	0.53				

VAR. FACT 1	19.67	6	3.28	8.79	0.0000	**
VAR. FACT 2	1.52	4	0.38	1.02	0.4028	NS
INTER FACT	7.36	24	0.31	0.82	0.6978	NS
RESIDUO	26.11	70	0.37		37.2 %	

SC = suma de cuadrados GL = grados de libertad CM = cuadrados de medias CV = coeficiente de variación

FACT 1 = MUNICIPIO

** = SIGNIFICATIVO AL 5 %

FACT 2 = AÑOS

NS = NO SIGNIFICATIVO

TABLA 14. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE Ca EN EL FACTOR MUNICIPIO.

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENOS
NUEVA SANTA ROSA (NSR)	12.64	A
BARBERENA (BAR)	8.58	B
CASILLAS (CAS)	8.12	B
SANTA CRUZ NARANJO (SCN)	5.58	BC
CUILAPA (CUI)	5.27	BC
SANTA ROSA DE LIMA (SRL)	3.28	C
SAN RAFAEL LAS FLORES (SRF)	3.08	C

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa.

TABLA 15. PRESENTACION DE MEDIAS PARA LA VARIABLE Ca EN EL FACTOR AÑO.

AÑOS	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
MEDIAS	5.98	6.36	6.46	6.68	7.84

La ausencia de newman-keuls, manifiesta la ausencia de significancia.

TABLA 16. PRESENTACION DE MEDIAS DE LA VARIABLE Ca EN LA INTERACCION DE LOS FACTORES MUNICIPIO/AÑO.

AÑO\MUNICIPIO	BAR	CUI	CAS	SCN	NSR	SRF	SRL
88/89	5.16	5.79	6.53	8.78	12.08	1.67	1.87
89/90	6.92	5.65	7.19	7.18	13.00	2.23	2.33
90/91	8.38	5.56	7.65	5.46	12.31	2.79	3.08
91/92	9.53	4.60	8.71	3.72	12.14	3.85	4.18
92/93	13.06	4.75	10.79	2.75	13.68	4.86	4.96

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia

8.5 VARIABLE MAGNESIO (Mg)

TABLA 17. ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE MAGNESIO.

FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F _{obs}	PROB	CV	INTER. EST.
---------------------	----	----	----	------------------	------	----	-------------

VAR. TOTAL	94.24	104	0.91				
VAR. FACT 1	27.88	6	4.65	8.12	0.0000		**
VAR. FACT 2	1.21	4	0.30	1.83	0.7168		NS
INTER FACT	25.11	24	1.05	1.83	0.0268		**
RESIDUO	40.04	70	0.57			40.7 %	

SC = suma de cuadrados GL = grados de libertad CM = cuadrados de medias CV = coeficiente de variación

FACT 1 = MUNICIPIO

** = SIGNIFICATIVO AL 5 %

FACT 2 = AÑOS

NS = NO SIGNIFICATIVO

TABLA 18. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN-KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE Mg EN EL FACTOR MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGENOS
BARBERENA (BAR)	2.56	A
CUILAPA (CUI)	2.44	AB
SANTA CRUZ NARANJO (SCN)	2.17	ABC
CASILLAS (CAS)	1.82	BCD
SANTA ROSA DE LIMA (SRL)	1.59	CDE
NUEVA SANTA ROSA (NSR)	1.34	DE
SAN RAFAEL LAS FLORES (SRF)	1.10	E

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa.

TABLA 19. PRESENTACION DE MEDIAS PARA LA VARIABLE Mg EN EL FACTOR AÑO.

AÑOS	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
MEDIAS	1.74	1.79	1.80	1.94	2.03

La ausencia de Newman-Keuls, manifiesta la ausencia de significancia.

TABLA 20. PRUEBA DE MEDIAS DE NEWMAN- KEULS - NIVEL 5 % - PARA LA VARIABLE Mg EN LA INTERACCION DE LOS FACTORES MUNICIPIO/AÑO.

AÑO\MUNICIPIO	BAR	CUI	CAS	SCN	NSR	SRF	SRL
88/89	1.74 ABCD	2.74 ABCD	1.51 ABCD	3.44 AB	1.07 BCD	0.62 D	1.07 BCD
89/90	1.94 ABC	2.46 ABCD	1.64 ABCD	2.88 ABCD	1.37 ABCD	0.91 CD	1.34 ABCD
90/91	2.32 ABC	2.27 ABCD	1.77 ABCD	2.18 ABCD	1.45 ABCD	1.02 BCD	1.59 ABCD
91/92	3.20 ABC	2.60 ABCD	1.91 ABCD	1.39 ABCD	1.40 ABCD	1.35 ABCD	1.73 ABCD
92/93	3.61	2.16	0.96	1.40	1.40	1.58	2.20

	A	ABCD	CD	ABCD	ABCD	ABCD	ABCD
--	---	------	----	------	------	------	------

Tratamientos con la misma letra, no muestran diferencia estadística significativa.

9. DISCUSION DE RESULTADOS

FACTOR MUNICIPIO

pH

El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre municipios, para la variable pH, mediante la prueba de medias se estableció que existen varios grupos estadísticamente homogéneos encontrándose que el municipio de Casillas refleja el pH más alto y los municipios de San Rafael las Flores y Nueva Santa Rosa el pH más bajo (Ver resultados tabla 2). Las medias de los resultados de pH en los suelos no presentan mayor diferencia en la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo del café. Este comportamiento señala que los suelos, en la mayoría de los casos, presentan capacidad amortiguadora a los cambios de pH, a pesar de que han recibido fertilizantes de reacción ácida y básica los suelos de los municipios se mantienen estables.

FOSFORO

Mediante el análisis de varianza, se estableció una diferencia significativa entre municipios. Por la comparación de medias se determinó que existen varios grupos estadísticamente homogéneos (Ver resultados tabla 6), encontrándose que Nueva Santa Rosa pertenece a un grupo estadísticamente homogéneo que posee un nivel de fósforo de 42.43 ug/ml el cual refleja que la fijación de fósforo es poca en estos suelos, mientras que el municipio de Casillas pertenece a otro grupo, se puede observar que el nivel de fósforo es bajo encontrándose en 2.64 ug/ml, lo que refleja un alto grado de fijación de fósforo. En el estudio de suelos denominado “ Suelos de la Agroindustria Cafetalera, Región Sur “⁽¹⁹⁾, se estableció que los municipios del departamento de Santa Rosa, donde se cultiva café, existen suelos muy variables con diferentes tipos de arcilla, esta variabilidad de arcillas fija en diferentes grados al

fósforo, el cual es aplicado como fertilizante. Los resultados de fósforo obtenidos en este estudio confirman lo anterior.

POTASIO

El estudio demostró que existe una diferencia estadística con respecto a la concentración de potasio entre municipios. Estableciéndose mediante la prueba de medias SNK que existen diferentes grupos estadísticamente homogéneos, siendo el municipio de Nueva Santa Rosa el que presenta el contenido más alto de potasio y el contenido más bajo lo refleja Santa Rosa de Lima (Ver resultados tabla 10). La variabilidad encontrada en el elemento Potasio entre municipios se justifica por varias razones: 1) Porque en el cultivo del café éste nutrimento es importante para varias funciones en el desarrollo de la planta,^(22, 23) por lo que el caficultor lo aplica en diferentes dosis, dependiendo su condición económica y en raras ocasiones deja de aplicarlo. 2) Los suelos presentan diferente grado de lixiviación, debido a las diferentes clases texturales. 3) Las plantaciones en producción consumen mayor contenido de potasio que las plantas jóvenes (1 a 2 años de edad) . 4) La fijación de potasio por el tipo de arcilla.⁽²²⁾

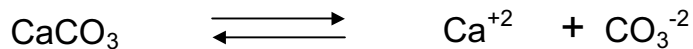
CALCIO

Para este elemento el estudio mostró que existe diferencia significativa entre municipios con respecto a su concentración. Mediante la prueba de medias se pudo establecer que existen varios grupos estadísticamente homogéneos encontrándose a Nueva Santa Rosa con el contenido de calcio más alto mientras que San Rafael las Flores presenta el nivel más bajo de calcio. (Ver tabla resultados 14) Las variaciones a nivel de municipio dependen de la fuente de calcio utilizada, ya que estas poseen diferente grado de solubilidad, por ejemplo, el hidróxido de calcio reacciona en el suelo (contrarrestando la acidez) en un corto plazo, sin embargo el sulfato de calcio (yeso) su grado de solubilidad es más lento pero es mayor que el que posee la cal dolomítica (Carbonato de Calcio y Magnesio), esta diferencia en el grado de solubilidad produce la variabilidad de calcio en el suelo. Por muchos años a los

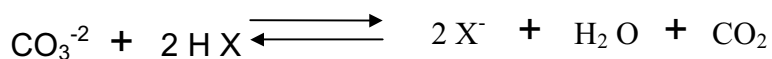
suelos utilizados para el cultivo del café solamente se les aplicaba fertilizantes completos (N-P-K) y fuentes nitrogenadas que dieron origen a una acidificación lo cual obligó a los caficultores a usar las fuentes de calcio. Estas aplicaciones se reflejan en los niveles de calcio encontrados que van de un nivel adecuado a alto.

Siendo el nivel adecuado para el cultivo del café de 3 - 6 meq/ 100 ml. Las reacciones químicas involucradas en la neutralización de la acidez del suelo por ejemplo, con CaCO_3 , se llevan a cabo en la neutralización del hidrógeno en los sitios de carga dependientes del pH (sitios de carga en la materia orgánica y de arista en los minerales), la siguientes reacciones pueden ocurrir:

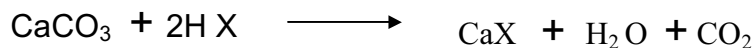
a) Primero se disuelve el CaCO_3 lentamente en el agua



b) Los iones CO_3^{-2} poseen una alta afinidad de los protones; por lo cual lo cual :



c) Los iones Ca^{+2} sustituyen al ion H^+ siendo la reacción:



Un aspecto de mucha importancia de esta reacción es que el ión carbonato hace del CaCO_3 un material de encalado.

MAGNESIO

Esta variable mostró una diferencia significativa entre municipios, estableciéndose varios grupos estadísticamente homogéneos, encontrándose que Barberena presenta el contenido más alto y San Rafael las Flores presenta el contenido más bajo. (Ver resultados Tabla 18) El comportamiento observado en la variabilidad del magnesio en gran parte se debe a diferentes fuentes del elemento aplicados al suelo, como cal dolomítica, sulfato de magnesio y magnesita. Encontrándose que los niveles de magnesio se encuentran de un nivel adecuado a alto, en base a los requerimientos del cultivo del café, siendo el nivel adecuado de 0.80-1.70 meq/100ml y el requerimiento es de 140 kilogramos de magnesio /Ha.

FACTOR AÑO

El análisis mostró que no existe diferencia significativa con respecto al tiempo en las variables pH, fósforo, calcio, magnesio, mientras que si existe en la variable potasio. Se estableció que existen diferentes grupos estadísticamente homogéneos

con respecto al tiempo, con una tendencia al incremento (Ver resultados Tabla 11). Los resultados obtenidos en las Tablas No. 3, 7, 15 y 19 procedentes de los municipios fueron analizados y comparados entre años y no se encontró diferencia significativa como se señaló anteriormente, por lo cual en el caso del pH se puede establecer que este comportamiento clasifica a los suelos de Santa Rosa como suelos que resisten a los cambios de pH (buffer), manteniéndose en todos los años en un nivel ligeramente bajo por lo que los valores están muy próximos al nivel inferior (pH = 5.5) del rango adecuado para el cultivo del café. El comportamiento de los nutrientes esenciales fósforo, calcio y magnesio presentan una tendencia favorable para el cultivo del café, incrementándose el contenido con respecto a los años encontrándose en un nivel adecuado en el primer año y en el último año analizado refleja un nivel alto.

La variabilidad estadística del Potasio comprueba la importancia que el caficultor le da a dicho elemento, porque la tendencia encontrada fue de ir incrementando en los suelos con respecto a los años. Desde un nivel adecuado a un nivel alto, siendo el nivel adecuado de 130-160 ug/ml. Una de las razones de este incremento se debe en gran parte a las fuentes aplicadas al suelo, como sulfato de potasio, cloruro de potasio y K-mag, debido a la tendencia bienal o bianual de los cafetales, es decir que cada año el café tiene diferente respuesta en producción y en consecuencia la absorción de potasio por parte de las plantas varía año con año. La importancia de aplicar este elemento radica en evitar la caída del fruto (purga), generar resistencia a la planta contra varias enfermedades y contribuye a mejorar el tamaño y calidad del fruto.

FACTOR MUNICIPIO * PERIODO

El análisis mostró que no existe una diferencia significativa del efecto municipio con respecto al tiempo en las variables pH fósforo, calcio, mientras que fue positivo en la variable potasio. La prueba Student Newman Keuls estableció que existen varios grupos estadísticamente homogéneos, encontrándose que los municipios Casillas, Nueva Santa Rosa, Barberena, San Rafael las Flores Santa Cruz Naranjo y Santa Rosa de Lima presentan una tendencia de incremento con respecto al tiempo, mientras que el municipio de Cuilapa presentan una tendencia a

disminuir (ver Resultados Tabla No.12). El incremento de potasio es debido a la alta capacidad de absorción de este elemento por la planta, por lo cual es agregado al suelo en función del grado de fertilidad y por un pronóstico de cosecha que el caficultor realiza en cada lote de su finca. El Magnesio fue el otro elemento que mostró diferencia en el efecto municipio-año, estableciéndose varios grupos estadísticamente homogéneos, encontrándose una ligera tendencia a incrementar con respecto a los años en los municipios de Barberena, Casillas, San Rafael las Flores y Santa Rosa de Lima. Sin embargo el municipio de Cuilapa presento una tendencia a disminuir con respecto al tiempo. A continuación se describe las tendencias de la variables estudiadas por municipio en función de los años: pH (Ver Resultados Tabla 4). Los municipios con tendencia a incrementar el pH con respecto a los años son Barberena y Nueva Santa Rosa. Los municipios con tendencia a disminuir el pH (acidificación del suelo) son Santa Cruz Naranjo y San Rafael Las Flores. Únicamente los municipios de Santa Rosa de Lima, Cuilapa y Casillas presenta valores de pH estables. FOSFORO (Ver Resultados Tabla 8)

Los municipios que presentaron una tendencia de incrementar esta variable fueron Barberena, Casillas, San Rafael las Flores y Santa Rosa de Lima. Los municipios con tendencia a disminuir con respecto a esta variable fueron Cuilapa y Santa Cruz Naranjo. El único municipio que permaneció estable fue Nueva Santa Rosa, presentado el contenido mas alto de fósforo con respecto a los demás, lo cual refleja la baja fijación de fósforo. POTASIO (Ver Resultados Tabla No.12)

Los municipios presentaron una tendencia al incremento con respecto al tiempo a excepción del municipio de Cuilapa que manifiesta una tendencia a disminuir. CALCIO (Ver Resultados Tabla No.16). Los municipios que presentaron una tendencia a disminuir son Cuilapa y Santa Cruz Naranjo, los que presentaron un incremento fueron Barberena, Casillas, San Rafael las Flores y Santa Rosa de lima y a permanecer estable Nueva Santa Rosa. MAGNESIO (Ver Resultados Tabla No.20) El efecto que produce la interacción tiende al incremento en la mayoría de los municipios analizados, únicamente el municipio de Cuilapa presento una tendencia a disminuir.

10. CONCLUSIONES

- 10.1 El análisis estadístico reflejó que el departamento de Santa Rosa no presenta variabilidad con respecto al tiempo en el pH y en el contenido de fósforo, calcio y magnesio, únicamente con respecto al potasio con una tendencia al incremento que va de 152.09 a 203.93 ug/ml.
- 10.2 Los suelos de los municipios del área cafetalera del Departamento de Santa Rosa analizados en el presente estudio reflejan una capacidad amortiguadora (buffer) a los cambios de pH.
- 10.3 Cada municipio analizado presenta características propias con respecto del contenido de nutrientes (P,K, Ca y Mg) a excepción del pH el cual mantiene un valor estable.
- 10.4 Para el cultivo del café se considera un nivel adecuado en fósforo adecuado 10-15 $\mu\text{g/ml}$ cumpliendolo únicamente los municipios de San Rafael las Flores y Cuilapa. Nueva Santa Rosa y Barberena poseen un nivel alto ($>15 \mu\text{g/ml}$) y Santa Rosa de Lima y Casillas poseen un nivel bajo ($< 10 \mu\text{g/ml}$) .
- 10.5 Para el cultivo del café se considera un nivel adecuado en potasio 130-160 $\mu\text{g/ml}$ cumpliendolo únicamente los municipios Santa Rosa de Lima, San Rafael las Flores y Cuilapa. Santa Cruz Naranjo, Barberena, Casillas y Nueva Santa Rosa se encuentran en un nivel alto ($>160 \mu\text{g/ml}$) en el contenido de Potasio.
- 10.6 Para el cultivo del café se considera un nivel adecuado en calcio 3-6 meq/100ml cumpliendolo únicamente los municipios de Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa de Lima, Cuilapa y San Rafael las Flores. Nueva Santa Rosa,

Barberena y Casillas presentan un nivel alto (>6 meq/100 ml) en el contenido de Calcio.

10.7 Para el cultivo del café se considera un nivel adecuado en magnesio 0.80-1.70 meq/100 ml cumpliendo únicamente San Rafael Las Flores, Nueva Santa Rosa y Santa Rosa de Lima. Barberena, Cuilapa, Casillas y Santa Cruz Naranjo se encuentran en un nivel alto (>1.70 meq/100ml) de magnesio.

10.8 Ninguno de los suelos del área cafetalera de los municipios del Departamento de Santa Rosa estudiados tiene en su composición los niveles adecuados de todos los nutrientes.

10.9 Para el cultivo del café se considera un nivel adecuado en pH 5.50-6.50 cumpliendo únicamente el municipio de Casillas.

11. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los caficultores departamento de Santa Rosa, utilizar

fuentes de calcio con un alto poder de neutralización, como carbonatos e hidróxidos de calcio y/o magnesio debido al efecto amortiguador que presentan estos suelos.

2. Se recomienda determinar el grado de fijación de fósforo en cada uno de los diferentes suelos de la zona cafetalera del departamento de Santa Rosa, debido a la importancia de este elemento para el desarrollo de la planta, además del alto costo que este elemento presenta en la fertilización.
3. Se recomienda al realizar un programa de fertilización de café para la zona cafetalera del departamento de Santa Rosa, que se debe incluir si es necesario el elemento potasio. Ya que este estudio demostró que los suelos de esta región responden satisfactoriamente a su aplicación.
4. Se recomienda continuar el estudio a nivel de cada municipio, utilizando un mayor número de variables (elementos mayores, menores y el equilibrio entre sus bases). Lo que conduciría a tener una mejor aproximación de la fertilidad y fertilización con relación al tiempo.

12. REFERENCIAS

1. **Sondahl M.R.**, et.al Propagación in Vitro del Café en : Roca W; Mroginski y aplicaciones. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT 1991 840 pp,

2. **Carvalho A.** Principal and Coffee Plant Breeding for Productivity and Quality Factors Coffed Arabica In. Coffe Agronomy, Vol 4. De. Elsevier Aplied Science publisher London. 270pp
3. **Bornemisza, E.** Calibración y Correlación del Análisis de Suelos y Plantasen el Cultivo del Café. Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
4. **Fitts Jw. Et al.** Evaluación de la fertilidad del suelo en América Latina; Análisis de suelo y plantas. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID, 1973 .143 pp
5. **Jackson ML.** Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán Martínez Barcelona: Ediciones Omega, 1964. 423 pp
6. **Cate RB, Nelson LA.** Un procedimiento estadístico para separar los datos de correlación de análisis de suelo en dos clases. Carolina de l Norte: Estación Experimental Agrícola u AID, 1971. 11 pp
7. **Waugh DL, Cate RB.** Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas los fertilizantes. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID 1973, 89pp
8. **Palencia, J.A.** Programa de Nutrición Vegetal, Memoria Anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) junio 1974 91pp
9. **Cate, R.B. y Nelson L.A.** Un método rápido para correlación de análisis suelos con ensayos de fertilizantes. Raleigh, Universidad del Estado de Carolina del Norte, Estación Experimental Agrícola i AID, 1965. 18pp
10. **Hunter AH, Fitts JW.** Estudio de interpretación de análisis de suelos: ensayo de campo. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID,1969, 120 pp
11. **Valencia G.** Niveles Adecuados en Suelos y en Hojas de varios cultivos. Colombia: CENICAFE. 1986. 20 pp
12. **Fassbender, HW.** Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Costa Rica: CIDIA e Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola IICA, 1984. XXVII + 422 pp

13. **Muller, L.** et al. Estudio del fósforo en América Central I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. En: Turrialba, 18(4):319-332. 1968. 420pp
14. **Brolo JC.** Evaluación preliminar del contenido de P y K disponibles en los Suelos de Guatemala. Guatemala: USAC (Tesis de Graduación, Facultad de Agronomía), 1976. 47 pp
15. **Miyares RE.** Evaluación preliminar de los Suelos de Guatemala en cuanto a Acidez y Alcalinidad. Guatemala: USAC (Tesis de Graduación, Facultad de Agronomía), 1977. 56 pp
16. **Del Valle.** Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
17. **Simmons CS, Tarano JM, Pinto JH.** Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional y Ministerio de Agronomía, 1959. 1000 pp
18. **Alvarado GD.** Caracterización de los Suelos del área Cafetalera de Guatemala. Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE -USAID, 1992. 107 pp
19. **Sumner M E, West L, Leal J E.** Suelos de la Agroindustria Cafetalera de Guatemala: Región Sur Georgia: Universidad de Georgia, 1992. 16pp
20. **Fort, HD.** Fundamentos de la ciencia del Suelo. México:CECSA, 1986. 433p.
21. **ANACAFE.** Manual de Caficultura. Guatemala: 1991. 117 pp
22. **ANACAFE/ INPOFOS.** Manual de Fertilidad de los Suelos. Guatemala: 1992. 85 pp
23. **Teuscher y Adler.** El Suelo y su Fertilidad. México: CECSA, 1987.510 pp
24. **Molina, M.** Agronomía y Agricultura. Guatemala: USAC, 1981. 412 pp
25. **Espinosa, J.** Acidez y Encalado de los Suelos. Memoria del Seminario de Fertilización Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/ USAID, 1992. 107 pp
26. **Bertsch, G.** Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Costa Rica. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, 1987 81pp
27. **Sierra , R. R.** El Análisis de suelos y Foliar, Aplicación en el Cultivo del Cafeto.

Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala:
ANACAFE -USAID, 1992. 107 pp

- 28. IBC/GERCA.** Instituto Brasileiro do Café. Sector de Programación visual y gráfica. Brasil: 1985. 580 pp
- 29. Spiegelner N. J. E.** Glosario de términos usados en el estudio de la ciencia del Suelo. Ministerio de Agricultura. Ganadería y Alimentación Unidad de Comunicación Social. Guatemala 1984. 100 pp

13. ANEXOS

13.1 EI SUELO.

Es un cuerpo natural, sintetizado en forma de perfil, de una mezcla variable de minerales meteorizados y materia orgánica en descomposición que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona, cuando tiene condiciones adecuadas de agua y aire, soporte mecánico y en parte sustento para la planta^(20,18).

13.1.2 SUELO FERTIL.

Es aquel suelo que tiene la capacidad de proporcionar las cantidades adecuadas de nutrientes a un cultivo⁽²¹⁾, en tal forma que puedan ser absorbidos fácilmente, para lo cual dichos nutrientes deben encontrarse en equilibrio con las propiedades químicas y características físicas de ese sustrato^(20,22) y aprovechar en un alto porcentaje los elementos nutrimentales que le son agregados al suelo al fertilizar. La fertilidad del suelo depende en gran parte de la materia orgánica, textura y estructura⁽²¹⁾.

13.1.3 SUELO PRODUCTIVO

Es aquel que debe tener una capacidad adecuada de retención de agua, buena aireación, buena cantidad de materia orgánica en proceso de descomposición, la presencia de nutrientes en cantidades adecuadas y alta capacidad de intercambio catiónico entre otras propiedades⁽²²⁾.

13.1.4 FERTILIZANTE

Son todas aquellas sustancias o materiales sólidos, líquidos, gaseosos o en suspensión, que contienen uno o más elementos esenciales para las plantas⁽²⁰⁾,

13.1.5 FERTILIZACION

Es el método o la práctica de aplicar fertilizantes, los abonos orgánicos y/o enmiendas basándose en un programa elaborado con base en la investigación o una larga experiencia, para la cual se hace necesario conocer previamente el estado de fertilidad del suelo y los requerimientos nutrimentales del cultivo en función de su edad, potencial de rendimiento y las prácticas de manejo que se utilizarán⁽²³⁾.

13.2 COMPOSICION Y CONTENIDO DEL SUELO

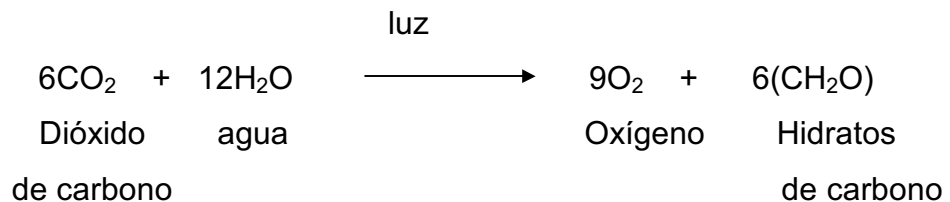
En el suelo se distinguen 3 fases bien diferenciadas, sólida, líquida y gaseosa que aportan los cuatro componentes que lo conforman, cuya distribución volumétrica ideal en términos relativos es la siguiente:

- Minerales	-----	45%
- Materia Orgánica	-----	5%
- Agua	-----	25%
- Aire	-----	25%

13.3 DINAMICA DEL SUELO

13.3.1 ELEMENTOS NUTRIENTES Y SU CLASIFICACION

Se conocen 16 elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas. Se les ha dividido en dos grupos principales, no minerales y minerales⁽²²⁾.
Nutrientes no minerales: Es el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Estos nutrientes se encuentran en la atmósfera y en el agua. Son utilizados en la fotosíntesis de la siguiente forma:



Los productos de la fotosíntesis son los responsables de la mayor parte del aumento en crecimiento de las plantas. Si existen cantidades insuficientes de dióxido de carbono, agua o luz se reduce el crecimiento. La cantidad de agua utilizada en la fotosíntesis es tan pequeña que las plantas mostrarán primero síntomas de carencia de agua antes de que ésta esté lo suficientemente escasa como para afectar la tasa de fotosíntesis⁽²²⁾.

Los 13 nutrientes minerales restantes, en su mayor parte provienen del suelo. Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) se encuentran clasificados en un grupo llamado de elementos primarios, el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) se

clasifican como elementos secundarios⁽²²⁾. Estos son requeridos en cantidades grandes y se les llama en conjunto principales o macroelementos⁽²⁰⁾. A los nutrientes que se encuentran en cantidades considerablemente pequeñas se les denomina elementos menores o micro elementos, incluyendo entre ellos al Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl)^(20,12, 22).

La mayoría de los nutrientes existen en la materia orgánica y en forma mineral y como tales son insolubles y no disponibles para las plantas. Los nutrientes se vuelven disponibles mediante la intemperización de los minerales y la descomposición de la materia orgánica⁽²²⁾. Los nutrientes son absorbidos de la solución del suelo o de las superficies de los coloides como cationes y aniones. En el Cuadro No.2 (Ver anexos 13.10) se enumeran trece elementos esenciales, sus símbolos químicos y las formas en que son absorbidos por las raíces de las plantas⁽²⁰⁾.

13.4 FORMAS DISPONIBLES DE NUTRIENTES EN EL SUELO

13.4.1 FOSFORO

El fósforo es esencial para la planta, éstas no pueden completar su ciclo productivo si este elemento falta y no puede ser sustituido por ningún otro⁽²²⁾. Las plantas absorben la mayor parte del fósforo que necesitan como ion ortofosfato primario, y en cantidades menores como ion ortofosfato secundario (ver cuadro No.2, anexos 13.10)⁽²²⁾, provenientes de la apatita $(Ca_{10} PO_4)_6 Fe_2$ ⁽²⁰⁾, iones generalmente solubles y se les puede encontrar disueltos en pequeñas cantidades en la solución del suelo^(20,12).

Una parte del P formará compuestos con el calcio, hierro y aluminio, los cuales se solubilizan lentamente por lo que la mayoría ya no son utilizados por la planta. El P actúa en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular, alargamiento celular. Promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces, es vital para la formación de semillas^(12, 22, 23). Permite a las plantas soportar inviernos rigurosos, aumenta la eficiencia de uso del agua. Acelera la madurez, lo cual es importante para la cosecha y para la calidad del cultivo.

13.4.2 POTASIO

El potasio es absorbido (desde el suelo) por las plantas en su forma iónica (K^+), aunque la mayoría de suelos contienen miles de kilos de potasio, solo una pequeña parte está disponible para las plantas en el estadio de crecimiento, probablemente un 2%^(20,24). El potasio disponible en forma inmediata está constituido por el que se encuentra en la solución del suelo más el K que se encuentra retenido en forma intercambiable de las arcillas y materia orgánica⁽²²⁾. Es vital para la fotosíntesis. Si hay deficiencia, la fotosíntesis disminuye, y la respiración aumenta, lo cual reduce el nivel de carbohidratos de la planta⁽²²⁾.

Es esencial en la síntesis de proteínas, ayuda a la planta a hacer un uso eficiente del agua, promoviendo la turgencia para mantener la presión interna de la planta⁽²²⁾. Es importante en la formación de frutos, en la translocación de metales tales como el hierro (Fe) y en el balance iónico. Activa enzimas y controla su velocidad de reacción. Mejora la calidad del cultivo y aumenta la resistencia a enfermedades^(22,23).

13.4.3 CALCIO

Los suelos orgánicos recién drenados poseen muy poco calcio y además tienen valores de pH extremadamente bajos. Los suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos⁽²²⁾. El Ca, al igual que el K, existe en la solución del suelo como catión (Ca^{2+}). Está gobernado por el fenómeno del intercambio catiónico. El calcio estimula el desarrollo de las raíces y hojas. Forma compuestos que son parte de las paredes celulares, fortaleciendo la estructura de la planta⁽²²⁾.

El Ca ayuda a reducir los nitratos en los tejidos de las plantas, activa numerosos sistemas enzimáticos, neutraliza los ácidos orgánicos de las plantas. Influye en los rendimientos en forma indirecta al reducir la acidez de los suelos. Esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso (Mn), cobre (Cu) y aluminio (Al). Ayuda a aumentar los rendimientos del cultivo, mejorando las condiciones de crecimiento de las raíces y estimulando la actividad microbiana, la disponibilidad de molibdeno y la absorción de otros elementos nutritivos^(22, 23).

13.4.4 MAGNESIO

El magnesio Mg, al igual que el Ca, es clasificado como elemento secundario. Es tan importante para la nutrición de las plantas como los nutrientes principales, aunque las plantas normalmente los requiere en menor cantidad⁽²²⁾. En general los suelos contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg es más soluble y por lo tanto es más lixiviable. También los materiales madre del suelo contienen menos Mg que Ca⁽²²⁾. El Mg^{2+} siendo un catión, está sujeto al intercambio catiónico. Se le encuentra en la solución del suelo y es absorbido en la superficie de las arcillas y de la materia orgánica⁽²²⁾. El magnesio es un mineral constituyente de la clorofila de las plantas, de modo que está involucrado activamente en la fotosíntesis. La mayor parte del Mg de las plantas se encuentra en la clorofila. Las semillas también tienen niveles altos del elemento. Ayuda en el metabolismo de los fosfatos, la respiración de la planta y la activación de numerosos sistemas enzimáticos^(22, 23).

13.6 EL pH DEL SUELO (REACCION DEL SUELO)

La acidez del suelo es una de las principales limitantes de la producción agrícola⁽²⁵⁾. Esta acidez proviene de diferentes fuentes y puede ser medida por el pH de la solución del suelo. Un ácido es una sustancia que tiende a donar protones (iones hidrógeno). Por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución está determinada entonces por la concentración de iones hidrógeno (H^+). Aplicando estos principios, la acidez de un suelo se determina midiendo la concentración de H^+ ^(12, 11) en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial de hidrógeno (pH)⁽¹¹⁾.

El pH del suelo se define como la inversa del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno en moles por litro de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{(\text{H}^+)}$$

El término pH define la acidez y basicidad relativas de una sustancia. La escala de pH (en sistemas acuosos) cubre valores desde cero hasta 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Los valores inferiores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son básicos. La mayoría de los suelos productivos tienen niveles de pH que oscilan entre 4.0 y 9.0. Los grados de acidez y basicidad se muestran en el cuadro No. 3 ⁽²²⁾, de anexos 13.10.

Un suelo con pH 5.0 tiene 10 veces más H⁺ activo que un suelo con pH 6.0. Esto tiene un importante significado en la nutrición de los cultivos y en el manejo efectivo de los fertilizantes. En el cuadro No. 4 (ver anexos 13.10) se presenta el grado de acidez o basicidad comparado con el pH neutro (7.0)⁽²⁵⁾.

13.7 NIVELES CRITICOS

Un nivel crítico de un elemento es aquella concentración extraída del suelo por encima de la cual existe una alta probabilidad de no obtener incrementos sensibles en la producción, mientras los valores inferiores muy probablemente corresponderán a producciones pobres. Como los requisitos de los cultivos son diferentes y cada solución tiene características propias, los niveles críticos variarán según el cultivo y según la solución extractora usada⁽²⁶⁾. Los rangos de concentración crítica de los macronutrientes utilizados actualmente para cafetales en producción se muestran en el cuadro No. 5 ⁽²⁷⁾ (ver anexos 13.10). Con respecto al pH el rango de variación normal se estableció entre 5.5 - 6.5 porque en esos límites existe una buena disponibilidad de nutrientes y minerales. Además, es el rango de mejor adaptabilidad genética del café en suelos orgánicos⁽²⁷⁾.

13.8 EL CAFE

El café pertenece al género Coffea, de la familia Rubiaceae y orden Rubiales. Actualmente existen más de 100 especies del género Coffea en el mundo, entre ellas Coffea arábica que constituye el 75% del café de exportación y se produce en 60 países. La mayor parte en Sur y Centroamérica⁽⁰³⁾. Esta especie es originaria de la región montañosa del sudeste de Etiopía^(23, 20) y se cultiva en regiones de altura, principalmente en América Latina ⁽²⁸⁾

13.9 GLOSARIO

Acidez activa: Hidrógeno (H^+) disociado en la solución del suelo⁽¹¹⁾.

Acidez intercambiable: Aluminio e hidrógeno intercambiables, ($Al^{3+} + H^+$) retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas⁽¹¹⁾.

Acidez no intercambiable: H^+ en ligamiento covalente en coloides con carga negativa variable y óxidos de aluminio⁽¹¹⁾.

Acidez potencial: Acidez intercambiable + acidez no intercambiable⁽¹¹⁾.

Andesita: Roca ígnea de grano fino que contiene como feldespato dominante, una Plagioclase que corresponde a la andesina. ⁽²⁹⁾

Erosión hídrica: Erosión del suelo provocada por el agua. ⁽²⁹⁾

Lava: Se denomina el material solidificado proveniente de erupciones volcánicas que corre por las laderas en forma de magma incandescentes. ⁽²⁹⁾

Lixiviación: Remoción de materiales por lavado. ⁽²⁹⁾

Meteorización: Desintegración y descomposición de las rocas y minerales por factores externos. ⁽²⁹⁾

Mineral: Sustancia que se forma por procesos de naturaleza inorgánica. Posee una estructura atómica característica y composición química definida generalmente. ⁽²⁹⁾

Roca: Cualquier agregado o masa de material mineral sólido que forma parte esencial de la corteza terrestre, en estado consolidado o disgregado y constituido por una o más especies mineralógicas o por sustancias amórficas. ⁽²⁹⁾

Serie de Suelos: Grupo de suelo, que tienen el mismo carácter de perfil el mismo rango de color, estructura, consistencia y sucesión de horizontes, las mismas condiciones generales de drenaje, relieve y corrientemente un mismo origen y modo de formación o muy similar. ⁽²⁹⁾

Terciaria: La era geológica durante la cual se depositaron los estratos que comprenden desde el eoceno y plioceno. ⁽²⁹⁾

Turgencia: Rigidez producida por un suministro adecuado de agua en las células de las hojas. ⁽²²⁾

Plástico: Dúctil, blando que se deja modelar fácilmente. Las condiciones de plasticidad en el suelo están dadas por su mayor o menor contenido de arcilla. ⁽²⁹⁾

Plioceno: Periodo geológico de hace doce millones de años que sigue al mioceno y precede al pleistoceno. ⁽²⁹⁾

13.10 CUADROS

CUADRO No. 1

Ubicación geográfica de los Municipios del Area Cafetalera del Departamento de Santa Rosa.

MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR
Barberena	14° 18' 20"	90° 21' 35"	1200 m.
Casillas	14° 25' 05"	90° 14' 40"	1071 m.
Cuilapa	14° 16' 40"	90° 17' 55"	893 m.

Nva. Sta. Rosa	14° 22' 50"	90° 17' 10"	1001 m.
Sn.Raf. Las Flores	14° 28' 30"	90° 10' 50"	1330 m.
Sta. Cruz Naranjo	14° 23' 05"	90° 22' 15"	1770 m.
Sta. Rosa de Lima	14° 23' 20"	90° 17' 40"	947 m.

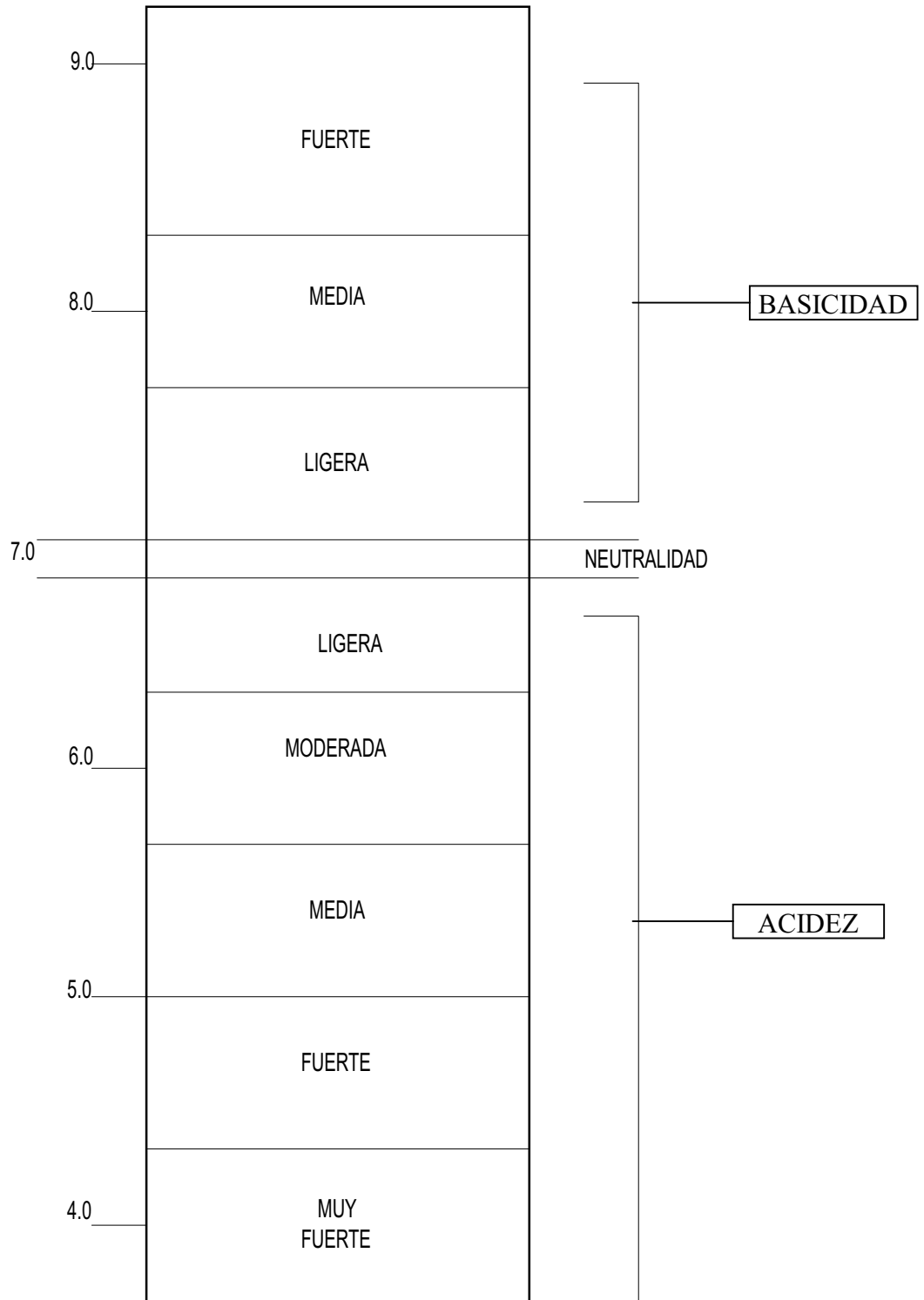
CUADRO No. 2

Símbolos químicos y formas iónicas comunes de los elementos esenciales absorbidos de los suelos por las raíces de las plantas.

NUTRIENTE	Símbolo Químico	Formas iónicas Absorbidas por las Plantas
Macronutrientes		
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+
Fósforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
Potasio	K	K^+
Calcio	Ca	Ca^{2+}
Magnesio	Mg	Mg^{2+}
Azufre	S	SO_4^{2-}

Micronutrientes		
Manganeso	Mn	Mn ²⁺
Hierro	Fe	Fe ²⁺
Boro	B	BO ₃ ³⁺
Cinc	Zn	Zn ²⁺
Cobre	Cu	Cu ²⁺
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻
Cloro	Cl	Cl ⁻

CUADRO No. 3
VALORES DE pH



CUADRO No. 4

pH del suelo y el grado de acidez o basicidad

Acidez / Basicidad

pH del suelo		comparadas con pH 7.0
9.0		100
8.0	Basicidad	10
7.0	Neutro	
6.0		10
5.0	Acidez	100
4.0		1000

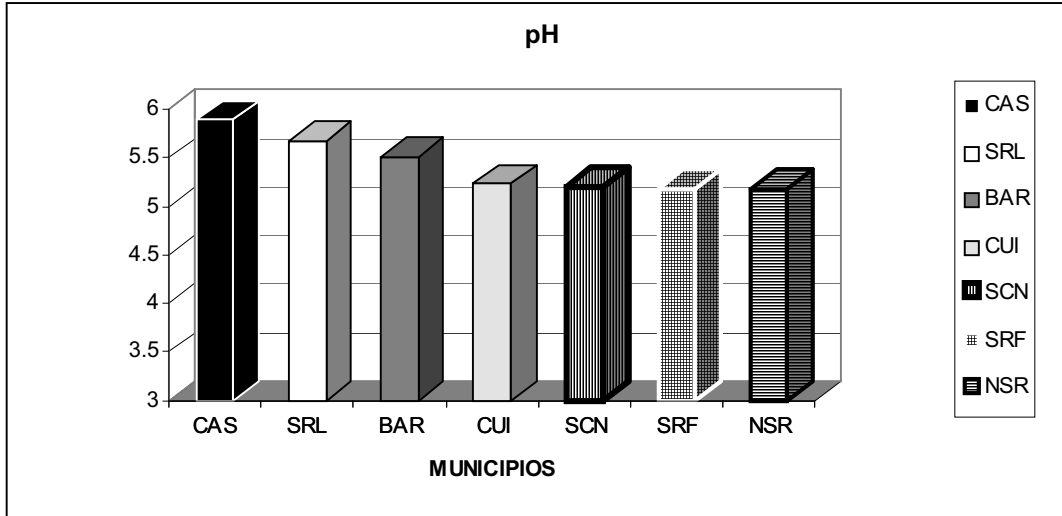
CUADRO No. 5

Rangos de concentración crítica de nutrientes

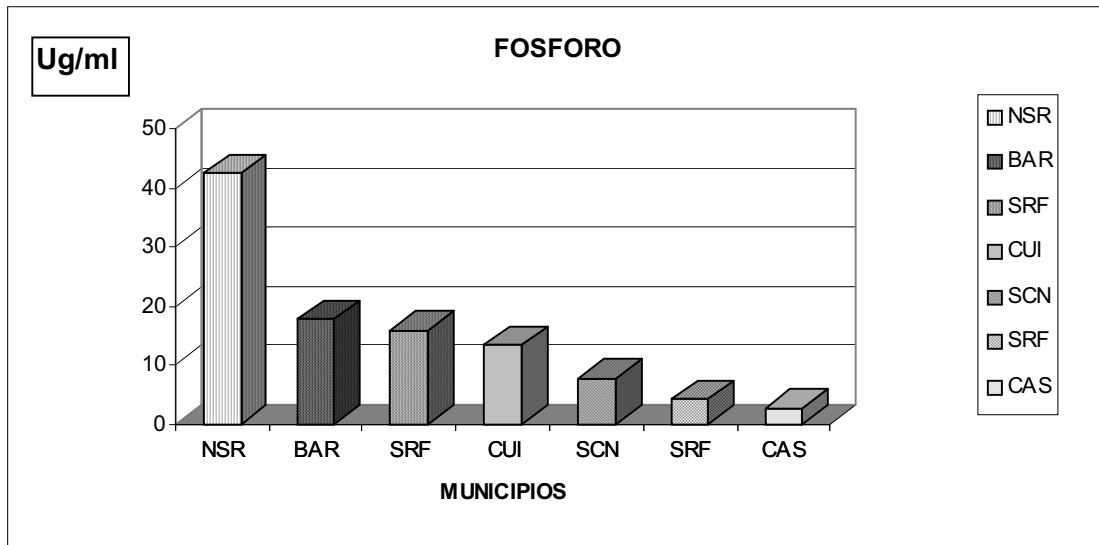
Nutriente	Rangos de Concentración Crítica
pH	5.5 - 6.5
P (µg/ml)	10 - 15
K (µg/ml)	130 - 160
Ca (meq/100ml)	3 - 6
Mg (meq/100ml)	0.8 - 1.7

13.11 GRAFICAS

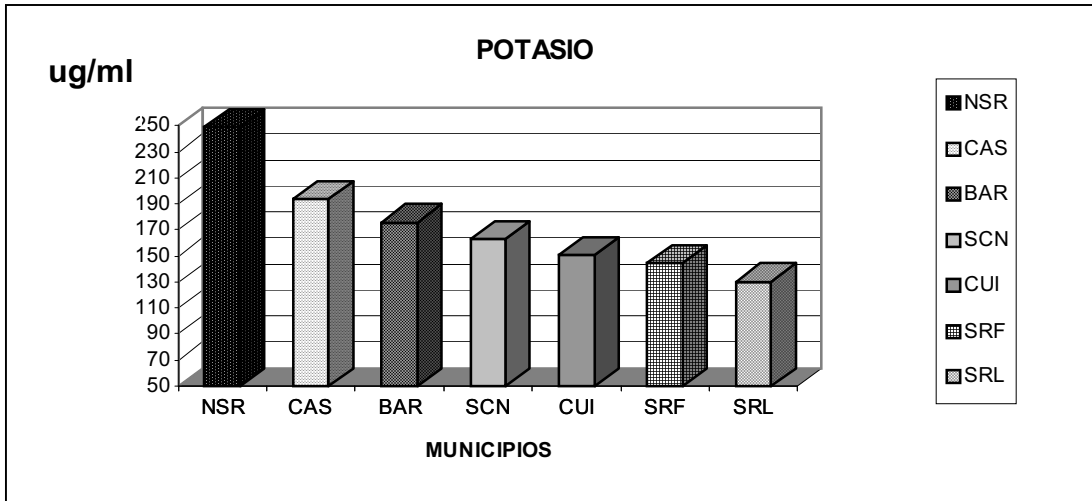
GRAFICA 1. EFECTO DEL pH SOBRE EL FACTOR MUNICIPIO



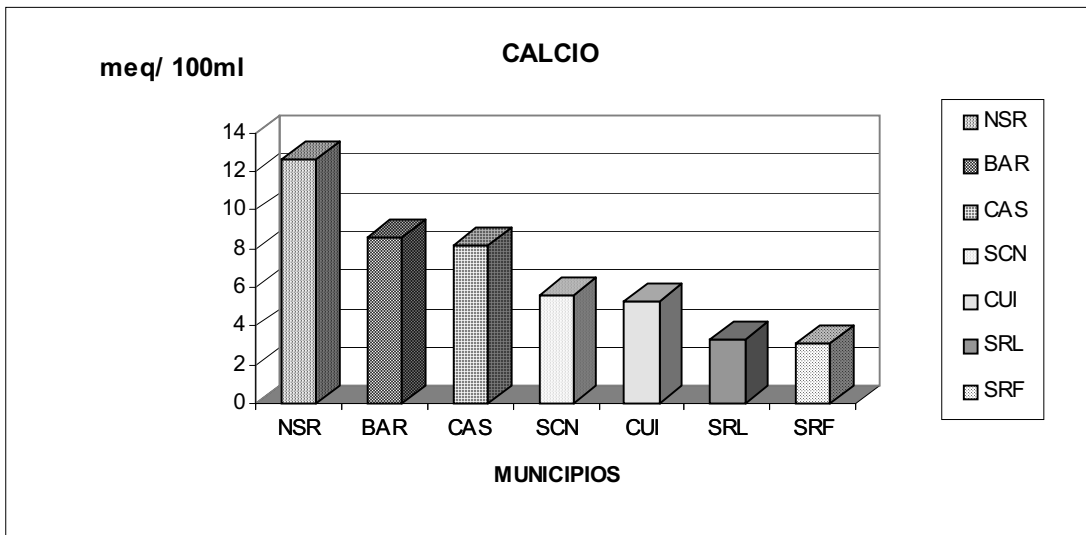
GRAFICA 2. COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO EN EL FACTOR MUNICIPIO.



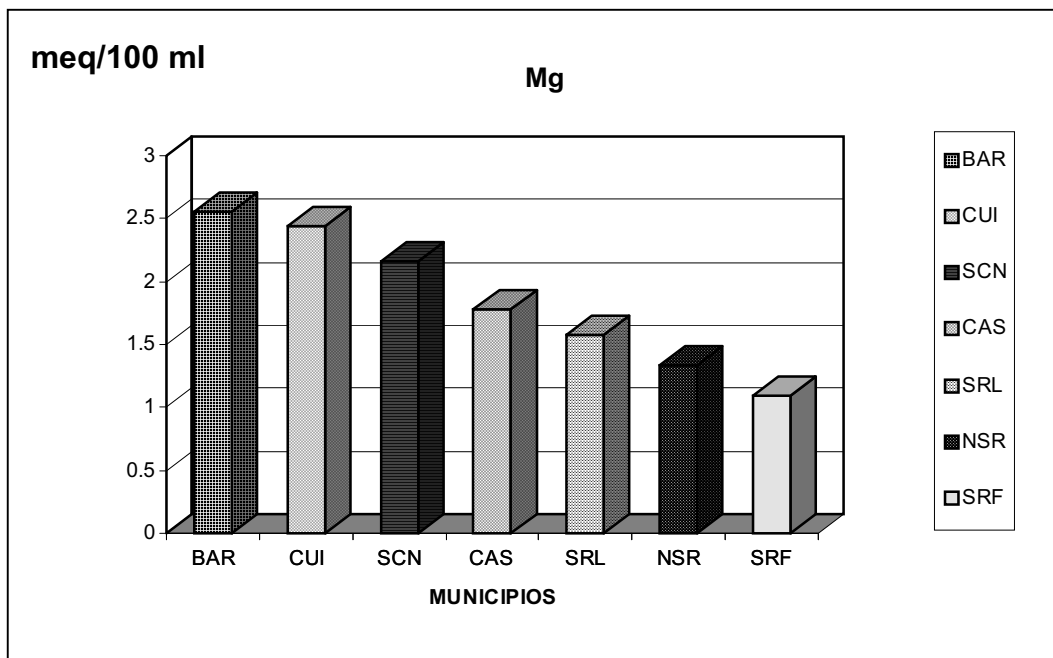
GRAFICA 3. COMPORTAMIENTO DEL POTASIO SOBRE EL FACTOR MUNICIPIO



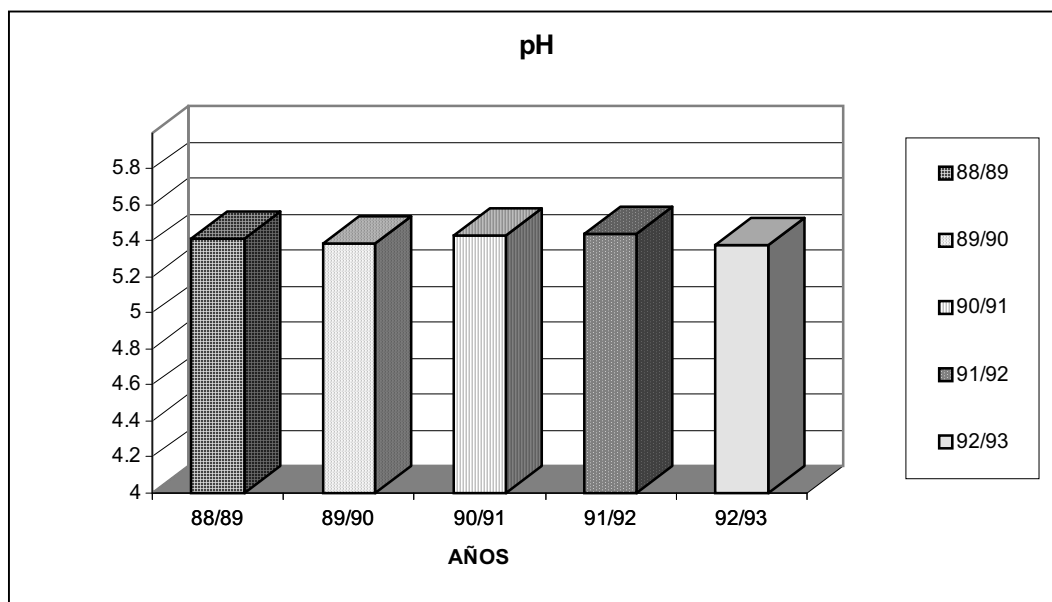
GRAFICA 4. COMPORTAMIENTO DEL CALCIO SOBRE EL FACTOR MUNICIPIO



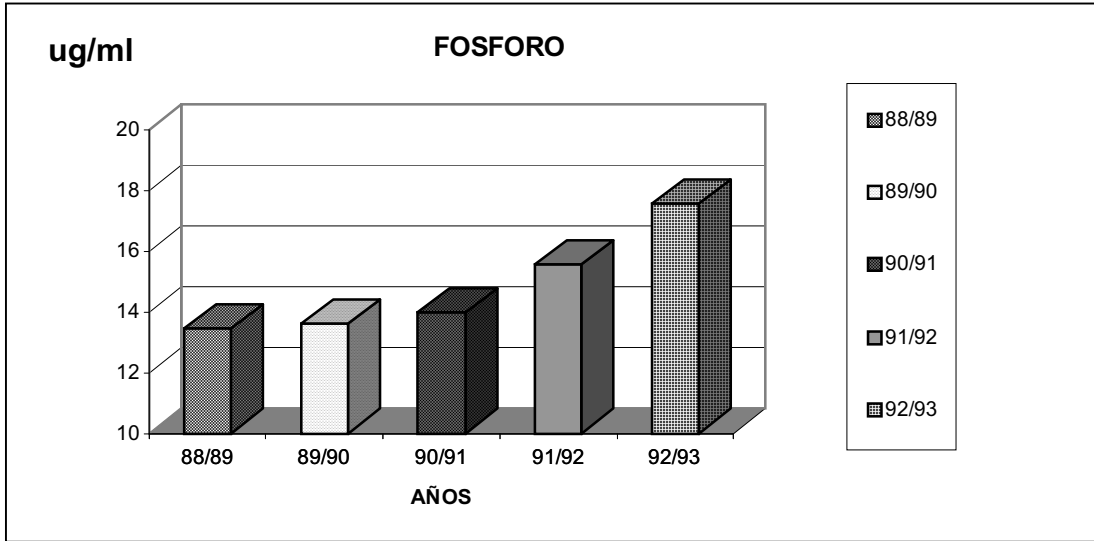
GRAFICA 5. COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO SOBRE EL FACTOR MUNICIPIO



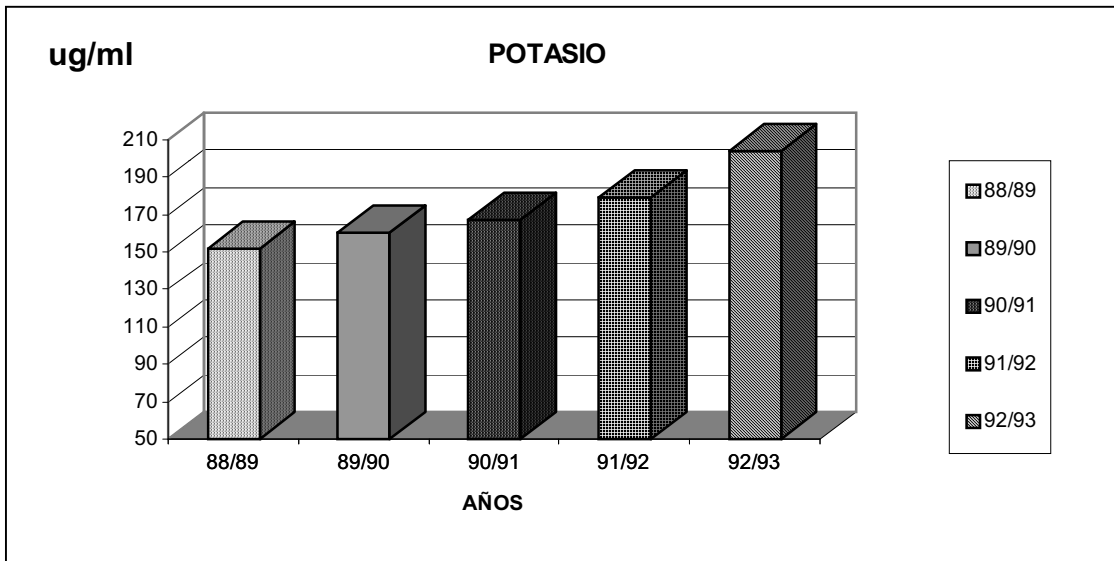
GRAFICA 6. EFECTO DEL pH SOBRE EL FACTOR AÑO.



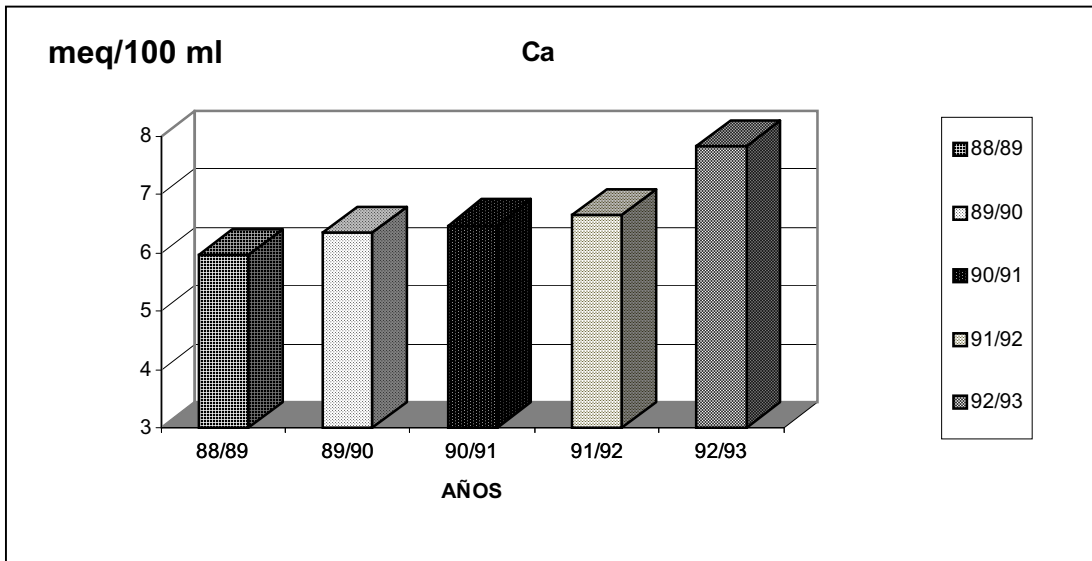
GRAFICA 7. COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO EN EL FACTOR AÑO



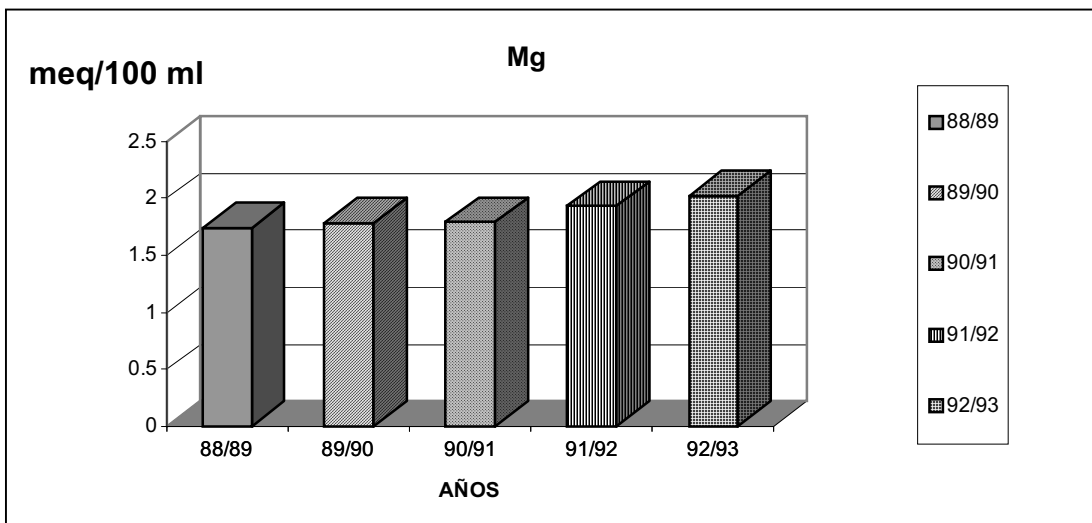
GRAFICA 8. COMPORTAMIENTO DEL POTASIO EN EL FACTOR AÑO.



GRAFICA 9. COMPORTAMIENTO DEL CALCIO EN EL FACTOR AÑO.



GRAFICA 10. COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO EN EL FACTOR AÑO.



TABLAS 13.11

TABLA No. 21

PROMEDIO POR AÑO DE LAS VARIABLES
RESPUESTA

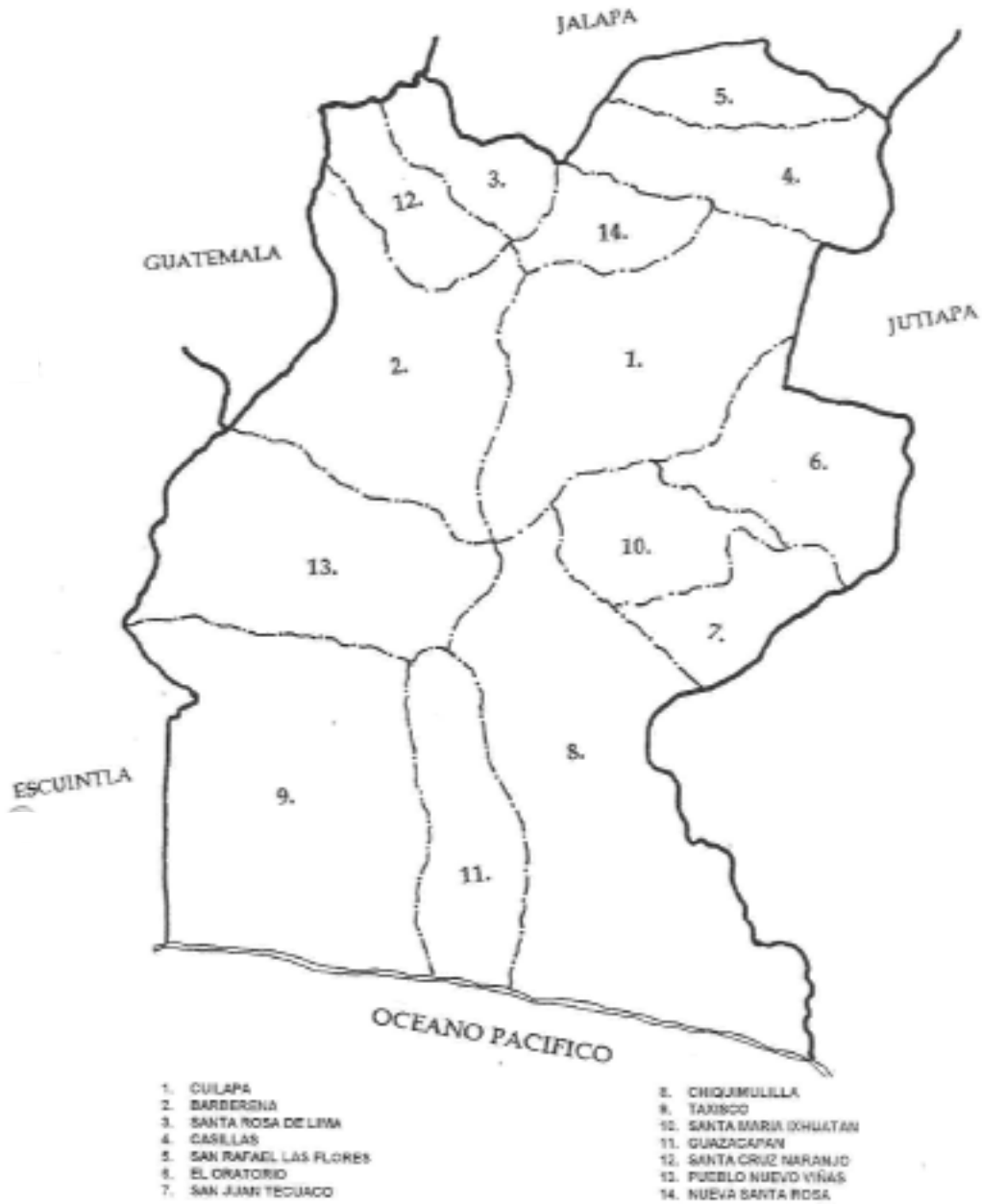
MUNICIPIO	AÑOS	pH	P ug/ml	K ug/ml	Ca meq/100m l	Mg meq/100m l
BARBERENA	88/89	5.15	11.20	131.33	5.09	1.74
	89/90	5.11	14.71	146.44	6.85	1.93
	90/91	5.49	16.10	174.88	8.38	2.31
	91/92	5.64	20.33	209.11	9.53	3.20
	92/93	6.14	26.17	218.55	13.05	3.60
CASILLAS	88/89	5.87	2.12	125.00	6.53	1.51
	89/90	5.86	2.54	161.66	7.18	1.63
	90/91	5.89	2.32	187.77	7.75	1.68
	91/92	5.91	2.43	200.77	8.52	1.88
	92/93	5.82	3.82	291.88	10.62	2.21
CUILAPA	88/89	5.50	14.87	160.11	5.79	2.73
	89/90	5.13	14.34	152.66	5.64	2.45
	90/91	5.19	13.56	146.11	5.55	2.26
	91/92	5.23	12.28	147.16	4.59	2.59
	92/93	5.08	11.56	147.66	4.74	2.15
SANTA CRUZ NARANJO	88/89	5.56	12.73	254.55	8.77	3.43
	89/90	5.45	10.25	190.88	7.18	2.88
	90/91	5.25	6.88	163.00	5.46	2.17
	91/92	5.08	5.39	116.11	3.71	1.35
	92/93	4.66	3.74	91.33	2.74	0.96
NUEVA SANTA ROSA	88/89	4.91	41.85	220.44	12.07	1.07
	89/90	5.19	43.16	254.88	12.99	1.37
	90/91	5.24	41.23	256.11	12.3	1.45
	91/92	5.28	42.87	256.22	12.13	1.40
	92/93	5.26	43.03	262.00	13.6	1.40
SAN RAFAEL LAS FLORES	88/89	5.16	9.65	92.55	1.67	0.61
	89/90	5.28	10.69	110.55	2.23	0.90
	90/91	5.27	11.56	123.44	2.78	1.02
	91/92	5.19	20.54	184.22	3.85	1.34
	92/93	4.96	26.31	212.44	4.86	1.57
SANTA ROSA DE LIMA	88/89	5.68	1.78	80.66	1.86	1.06
	89/90	5.66	2.16	107.00	2.33	1.34
	90/91	5.64	3.43	118.44	3.07	1.59
	91/92	5.68	5.11	141.99	4.18	1.73

92/93	5.68	8.27	203.67	4.96	2.20
-------	------	------	--------	------	------

13.12 MAPAS

MAPA No.1

Localización de los municipios del departamento de Santa Rosa



MAPA No.2
División fisiográfica del departamento de Santa Rosa



- I. SUELOS DE LA ALTIPLANICIE CENTRAL
- II. SUELOS DEL DECLIVE DEL PACIFICO
- III. SUELOS DEL LITORAL DEL PACIFICO