

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AGRARIAS



**“TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE CACAO ORGÁNICO”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

ELMER MENDIETA MUDARRA

PROMOCIÓN 2009– II

Tingo María – Perú

2011

P35

M42

Mendieta Mudarra, Elmer

Técnicas de diagnóstico de la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao orgánico
Tingo María, 2011

58 páginas.; 14 cuadros; 12 figuras; 18 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo
María (Perú). Facultad de Agronomía.

1. FERTILIDAD

2. SUELO

3. CACAO

4. ANÁLISIS

5. RADIACIONES

6. CROMAS

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, protegerme, guiarme, iluminarme, brindarme sabiduría y salud para ir por el buen camino en la senda de la vida, por permitirme formar parte de una hermosa familia y darme la madre más maravillosa del mundo, que con el ardor de su juventud y sin desmayo alguno dedicó su vida entera al bienestar de sus hijos con inmenso amor, sacrificio y abnegación.

A mí amada madre: Mudarra Rodríguez, Catalina y adorado padre político Flores Toledo, Francisco Solano; quienes con sus sabios consejos, amor, sacrificio y confianza involucraron en mí, principios de superación, valores y educación, haciendo posible la culminación de mi carrera profesional.

A mis adoradas y amadas hermanas Maximina Mendieta Mudarra y Nelly Mendieta Mudarra, por su apoyo moral, económico, comprensión y amor sin medida.

AGRADECIMIENTO

- A. la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por permitir realizarme como profesional, y hacer grato mi paso por sus aulas.
- A. la Facultad de Agronomía, por acogerme y ofrecerme lo mejor en mi formación.
- A. toda la plana de docentes que conforman la familia agronómica, por su esmerado esfuerzo en superarse cada día, y transmitir sus conocimientos y experiencias.
- A. mi jurado de tesis, Ing. M.Sc. Zavala Solórzano, Wilfredo, Ing. Mansilla Minaya, Luis e Ing. M.Sc. Basilio Atencio, Jaime, por su tiempo y aporte incondicional para hacer las correcciones con fines de mejorar.
- A. mi asesor de tesis, Ing. M.Sc. Huamaní Yupanqui, Hugo Alfredo por su gran ayuda, dedicación, paciencia y generosidad que han permitido la elaboración de esta tesis. Por toda la confianza que ha depositado en mí, hasta el último momento.
- A. Janeth por ser la mejor hermana y estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos, compartir la vida universitaria, decirme las cosas tal cual son para mi bien personal, espiritual y profesional, por brindarme su inmenso afecto de familia a cada instante.
- A. mis cuñados Inga Loarte, Clemente y Del Catillo Meza, Aníbal por apoyarme conjuntamente con mis hermanas, de manera moral y económica.

- A. Santos T. Mendieta Mudarra, Rosario Salazar Minaya, Nancy Adelita Del Águila por su apoyo, dedicación y optimismo mostrado.
- A. los socios de la Cooperativa Agroindustrial Tocache Ltda. que hicieron posible este trabajo de investigación.
- A. Yovoth Mariño, Erick Martínez, Fernando Portocarrero y Jenny Huamán, que durante la redacción y sustentación del trabajo me han apoyado y animado, haciendo grato y satisfactorio todo el tiempo dedicado.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1. Fertilidad de los suelos	12
2.2. Técnicas en el diagnóstico de la fertilidad del suelo	13
2.3. Indicadores de la calidad del suelo	25
2.4. Reactivos que se utilizan en la cromatografía	26
2.5. El cultivo orgánico y su manejo	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación	28
3.2. Materiales.....	28
3.3. Equipos de laboratorio	29
3.4. Reactivos e insumos	29
3.5. Metodología de investigación y diseño experimental	29
3.6. Análisis estadístico	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Del análisis físico químico de los suelos.....	39
4.2. Del análisis cromatográfico de los suelos	42
4.2.1. Colores de las zonas de los cromas.....	42
4.2.2. Dimensiones de las zonas de los cromas	46
4.2.3. Formas de las zonas de los cromas.....	49
4.2.4. Anillos en las zonas de los cromas	50

4.2.5. Radiaciones de los cromas	50
4.3. Correlaciones entre el análisis físico químico y el cromatográfico...	51
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VIII. ANEXO.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Metodologías del análisis físico químico de suelos	32
2. Características de descripción del análisis cromatográfico	37
3. Análisis de varianza	38
4. Promedio y desviación estándar de las características de los suelos	40
5. Promedio de los indicadores de fertilidad de un suelo ideal y de los suelos en estudio.....	41
6. Frecuencia de colores de la zona de oxigenación de los cromas	43
7. Frecuencia de colores en la zona mineral de los cromas.....	44
8. Frecuencia de colores en la zona proteica de los cromas.....	45
9. Frecuencia de colores en la zona enzimática de los cromas	46
10. Frecuencia del ancho de las zonas de los cromas.....	48
11. Frecuencia de la forma en las zonas de los cromas	50
12. Número de radiaciones de los cromas	51
13. Regresión lineal múltiple entre el ancho de la zona mineral de los cromas con el fósforo disponible, potasio disponible y calcio de los suelos	53
14. Regresión lineal múltiple entre el número de radiaciones con el contenido de nitrógeno y % de limo.....	53
15. Resultados del análisis físico químico de los suelos	61
16. Indicadores químicos y materia orgánica de un suelo ideal vs las parcelas en estudio	62

17. Características de las zonas de los cromas	63
18. Resultados de las correlaciones entre el análisis físico químico y el análisis cromatográfico.....	64
19. Coordenadas y altitud de las parcelas en estudio	65
20. ANVA de la regresión múltiple entre el ancho de la zona mineral de los cromas con el fósforo disponible, potasio disponible y calcio de los suelos .	66
21. ANVA de la regresión múltiple entre el número de radiaciones con el contenido de nitrógeno y % limo de los suelos	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Zonas que presenta un cromograma.....	18
2. Cromatograma de suelos con fertilidad baja	19
3. Cromatograma de suelos con fertilidad media.	20
4. Cromatograma de suelos con fertilidad alta	20
5. Cromatogramas de suelos con fertilidad mala, poca actividad microbiana y estructura mínima.	21
6. Cromatogramas de suelos con poca actividad microbiológica, fertilidad baja/media y situación del suelo inestable	22
7. Cromatogramas de suelos con actividad microbiológica desarrollada, estructura buena y fertilidad del suelo buena/muy buena	22
8. Cromatograma de un suelo de valle con poca fertilidad y anegada.....	23
9. Cromatograma de un suelo negro muy fértil	23
10. Cromatograma de un suelo fértil orgánico de pastizales.....	24
11. Cromatograma de un suelo bien aireado	24
12. Mapa de ubicación de las parcelas en estudio	31
13. Diagrama de análisis de fertilidad de los suelos en estudio	42
14. Cromas de las parcelas 258 (a), 259 (b)	66
15. Cromas de las parcelas 260 (c), 261 (d), 262 (e), 263 (f).....	67
16. Cromas de las parcelas 264 (g), 265 (h), 266 (i), 267 (j).....	67
17. Cromas de las parcelas 268 (k), 269 (l), 270 (m), 271 (n).....	68
18. Cromas de las parcelas 272 (o), 273 (p), 275 (q), 276 (r)	68

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural renovable resultado de una mezcla de sólidos orgánicos e inorgánicos, aire, agua y microorganismos. Un manejo adecuado de los suelos para cualquier actividad agrícola necesita tener conocimiento previo de la fertilidad de los suelos como medio propicio para el crecimiento, desarrollo y calidad de los cultivos aprovechando la productividad de una manera sostenible.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Hay necesidad de contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad de suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables.

Las técnicas de diagnóstico de la fertilidad del suelo están orientados a la parte física y química; estos análisis suelen ser caros y difíciles de manejar en una agricultura donde los agricultores manejan de 1 a 5 Has. Sus ingresos económicos son bajos, lo que limita acceder a tecnologías de diagnóstico de suelo tradicionalmente.

Frente a estas limitantes se presenta un método sencillo que con una mínima practica cualquier persona puede realizarlo. "La cromatografía", es un método que sirve para hacer análisis cualitativos de tierras y

compostas y que puede ser realizado en cualquier lugar a bajo costo y de forma rápida.

Permite conocer, de manera inmediata y gráfica, la salud de las tierras y la calidad de sus aspectos biológicos, físicos y químicos.

En este contexto se realizó la presente investigación con dos técnicas de diagnóstico para determinar la fertilidad de los suelos del cultivo de cacao, planteándonos como problema si existe o no correlación entre el análisis cromatográfico y el análisis físico químico de suelos. Determinando como hipótesis que el análisis cromatográfico es lo más apropiado para el cultivo de cacao orgánico; en función a ello definimos los siguientes objetivos:

- Comprobar el uso de dos técnicas de diagnóstico de la fertilidad del suelo en los predios de cacao orgánico de los socios de la COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL TOCACHE Ltda.
- Correlacionar el análisis físico químico con el análisis cromatográfico de los suelos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Fertilidad de los suelos

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales (fertilidad química) pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa (ANDERSON e INGRAM, 1993). Respecto a su constitución, en general y en promedio el volumen se encuentra en una proporción ideal y está dada por 45 – 48 % de partículas minerales, 2 – 5 % de materia orgánica, 25 % de aire y 25 % de agua (FUENTES, 1989).

Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas; entonces es un suelo fértil, no productivo (FUENTES, 1989).

La fertilidad del suelo indica la condición de los nutrimentos de la planta

en el suelo, mientras que la productividad del suelo señala la resultante de factores diversos que influyen en la producción de los cultivos, tanto dentro como más allá del suelo (TAMHANE, *et al.*, 1978).

El bajo nivel de fertilidad también esta asociada a la textura que pueda presentar un suelo. Suelos arenosos son menos fértiles que los arcillosos (SANCHÉZ, 2000).

2.2. Técnicas en el diagnóstico de la fertilidad del suelo

El método ideal para determinar la fertilidad del suelo seria medir el contenido disponible de nutrimentos de la planta en un momento dado y calcular, a la vez, la capacidad de un suelo para mantener un suministro continuo de nutrimentos de la planta para un cultivo hasta la madurez (TAMHANE, *et al.*, 1978 y TISDALE Y NELSON, 1991).

2.2.1. Análisis de suelo

El análisis de suelos es una herramienta valiosa del manejo de los suelos. Un análisis de suelos hecho en un laboratorio bien controlado puede determinar el contenido de nutrientes disponibles a la planta, así como la capacidad nutritiva del suelo estudiado. Para que el agricultor haga un uso óptimo del suelo y de sus condiciones climáticas para la producción de cultivos, es importante que conozca la reacción del suelo y sus niveles nutritivos. Con este conocimiento y con las recomendaciones dadas por el laboratorio de suelos, el agricultor ya puede decidir cuánto debe gastar para obtener los resultados deseados (HINRICH, 1993).

El informe del análisis de suelo contiene información sobre valores del pH, del contenido de materia orgánica, de fósforo y potasio disponible del suelo; el laboratorio dará también contenidos del calcio y de magnesio en los lugares donde se le requiera. La información de los análisis se complementa con una interpretación que expresa los niveles de los nutrientes individuales valorados como bajos, medios o altos. El informe acaba con recomendaciones sobre el uso de fertilizantes para los cultivos en las tierras investigadas, aquí se incluyen también sugerencias relacionadas con los tipos adecuados de fertilizantes, las cantidades de cal y fertilizante, y su correcta aplicación. El análisis de suelos se realizan cada tres o cuatro años. Si éstos son debidamente registrados, proporcionan una información excelente sobre los cambios en los niveles de fertilidad, sobre la existencia de nutrientes residuales y sobre la probabilidad de un desbalance de nutrientes (FUENTES, 1989).

El análisis químico del suelo constituye una de las técnicas más utilizadas para la recomendación de fertilizantes. Es una fuente de información vital para el manejo de suelos que permite: clasificar los suelos en grupos afines, predecir las probabilidades de obtener respuesta positiva a la aplicación de elementos nutritivos, ayudar en la evaluación de la fertilidad del suelo y determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas (HINRICH, 1993).

Se ha demostrado que dichos análisis constituyen una excelente guía para el uso racional de los fertilizantes. Sin embargo, no debe olvidarse que en la producción de cultivos, interviene un conjunto de factores de gran

importancia como: clima, variedades, control fitosanitario, manejo general y otras, que podrían limitar el desarrollo adecuado de una planta si no se encuentra en el grado óptimo requerido. De todas maneras, la eliminación de las deficiencias nutricionales se considera la más decisiva, responsable en la mayoría de los casos hasta aumentos de 50 % en el rendimiento. El resultado del análisis de suelo indica la probabilidad de obtener una respuesta adicional con el fertilizante que se utiliza. En general, mientras más elevado sea el contenido de nutrimentos en el suelo, menor será la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de fertilizantes. El uso de análisis químico del suelo como guía para la adición de fertilizantes, involucra dos etapas: La interpretación se refiere a la estimación de obtener respuesta mediante el empleo de fertilizantes, mientras que la recomendación es la interpretación práctica de los resultados obtenidos para aplicarla en la producción comercial de cultivos (ROMERA, 2009).

Jaramillo (2002) citado por PEÑA (2009), indica que las propiedades químicas de los suelos varían más que las físicas y se encuentra menor variabilidad en las propiedades en su condición natural, que en condiciones de cultivo.

2.2.2. Análisis de la planta

Los análisis de plantas se basan en la premisa de que la cantidad de un elemento dado en una planta es una indicación del suministro de este nutriente particular, y por tanto se relaciona directamente con la cantidad presente en el suelo.

Los ensayos de tejidos de la planta, son pruebas rápidas y

esencialmente cualitativas, los nutrimentos son absorbidos por las raíces y transportados a las partes de la planta que las necesita. Las pruebas rápidas para la determinación de elementos nutrientes en la savia de la planta o en los tejidos frescos ocupan un lugar muy importante en la diagnosis de las necesidades para el crecimiento de las plantas (TAMHANE, *et al.*, 1978 y TISDALEY NELSON, 1991).

2.2.3. Cromatografía

La cromatografía es una forma independiente, barata y rápida de conocer la salud de las tierras; con este método se obtiene información acerca de su manejo biológico, físico y químico.

La cromatografía es un método que sirve para hacer análisis cualitativos de tierras y compostas y que puede ser realizado en cualquier lugar a bajo costo y de forma rápida. Permite conocer, de manera inmediata y gráfica, la salud de las tierras y la calidad de sus aspectos biológicos, físicos y químicos. El método es tan sencillo que con una práctica mínima, cualquier persona puede realizarlo (RODRIGUEZ, 2009).

2.2.3.1. Interpretación

El principio de la interpretación de la "prueba del croma" se basa en el hecho de que el humus se forma durante el composteo o génesis del suelo y que, a medida que el proceso avanza, las sustancias húmicas de peso molecular relativamente bajo, producidas inicialmente, se polimerizan y convierten en humus maduro menos soluble y macromolecular. Los cromas se

interpretan por la forma y color de cada zona (central o de oxigenación, interna o mineral, externa o proteica y de actividad enzimática). Varios son los colores a observar: blanco, rosa, violeta, verde, amarillo y naranja; asimismo se analizan las formas tales como suave, dentado o irregular (CHACON, 2009).

La prueba del croma proporciona una idea visual de la salud del suelo/composta en el momento en que se procesa la muestra. Sin embargo, deberá considerarse que el proceso de composteo y la biología del suelo son procesos dinámicos, de tal forma que los cromas hechos en diferentes épocas del año o diferentes momentos en el proceso de compostaje pueden variar enormemente. Por otro lado, debido a que los microorganismos del suelo son responsables de la humificación de la materia orgánica cruda en los suelos (o durante el proceso de composteo), la “prueba del croma” es un buen indicador de la actividad microbiana en el suelo. Las sustancias húmicas migran diferentes distancias por acción capilar dependiendo del peso molecular que posean y la afinidad con el solvente y la fase estacionaria (papel filtro). El grado de humificación que presenten es también un indicador del nivel de actividad microbiana. Para aprender a interpretar las imágenes de la “prueba del croma” es fundamental iniciar con sustancias o muestras conocidas y gradualmente formar con éstas una colección de cromas patrón o estándares. A continuación se detallan los puntos más importantes a considerar en un croma:

- Número, ancho y color de las diferentes zonas formadas, así como la regularidad o irregularidad de su forma.
- Formación de anillos entre la zona media (interna o mineral) y la zona externa o proteica.

- Color de las zonas: el color café en diferentes tonalidades distribuido en gran parte de la imagen se atribuye a una buena formación de humus coloidal; el café oscuro se relaciona con ácidos húmicos; las radiaciones de color violeta son sustancias minerales o reducción de materia orgánica.

- Forma de la terminación de las radiaciones (terminación en punta), número y color. Las radiaciones color violeta en la zona interna o mineral son indicadores del proceso de descomposición de minerales o mineralización. Las diferentes fases de fermentación (1 – descomposición, 2 – formación de humus, 3 – mineralización y 4 – descomposición avanzada) están claramente indicadas en los cromatogramas de suelos y compostas (RODRIGUEZ, 2009).

Las zonas que presentan los cromas se muestran a continuación:

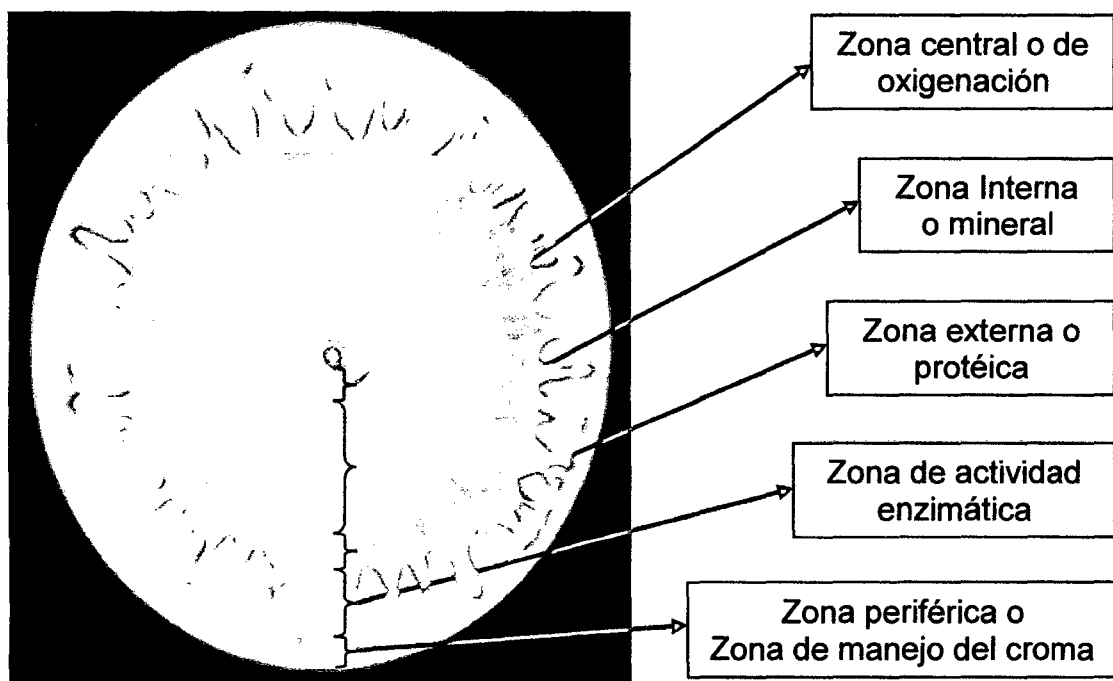
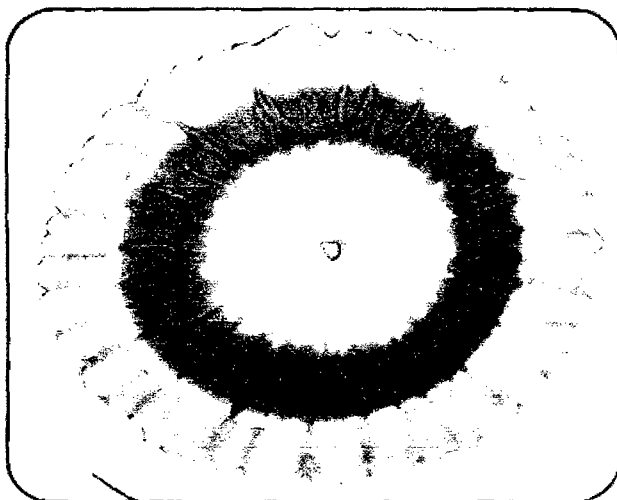


Figura 1. Zonas que presenta un cromatograma.

Fuente: (RODRIGUEZ, 2009).

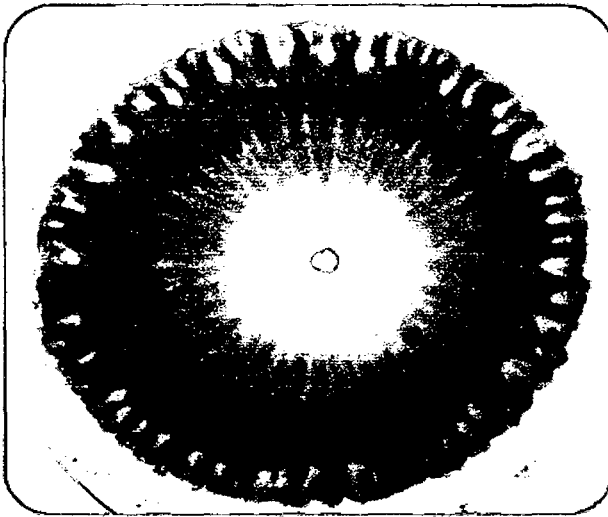
2.2.3.2. Patrones de fertilidad

Los suelos de fertilidad baja tienden a expresar una imagen radial poco definida, no muy armoniosa e interrumpida por una porción de materia orgánica cruda sin integrar, hay bajo contenido de humus y poca actividad de los microorganismos como se observa en la Figura 2. En los suelos de fertilidad media muchas veces el contenido de materia orgánica es alto; aunque se presenta aislada, hay buena actividad de los microorganismos el cual influye en un buen desarrollo de estrías y puntas definidas. La imagen radial es armoniosa (Figura 3). Asimismo los suelos con buena fertilidad, presentan colores marrones en la zona proteica, el cual indica gran contenido de materia orgánica. La buena actividad de los microorganismos hace que la imagen presente estrías uniformes y bien definidas. La imagen radial es armoniosa y bien estructurada, hay indicios de una buena mineralización y buena oxigenación (centro), las manchas oscuras en el borde indican una porción de materia orgánica humificada como se observa en la Figura 4 (VALENCIA, 2009).



El cromatograma expresa las condiciones de un suelo con baja actividad microbiana (radiaciones y estrías poco desarrolladas), una zona central grande y muy clara que indica estructura deficiente. La zona intermedia es muy reducida.

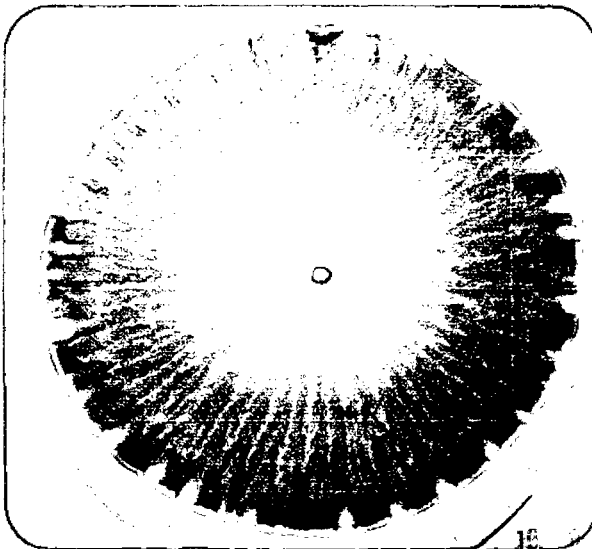
Figura 2. Cromatograma de suelos con fertilidad baja (VALENCIA, 2009).



El color de la zona central del cromatograma indica una estructura medianamente desarrollada, la zona media refleja poca mineralización.

Figura 3. Cromatograma de suelos con fertilidad media.

Fuente. (VALENCIA, 2009).



Se observa buena cantidad de radiaciones con terminación en punta y estrías bien desarrolladas. El color claro de la zona central indica buena estructura, la presencia de anillos y el color amarillo de la zona media indican buen contenido de minerales.

Figura 4. Cromatograma de suelos con fertilidad alta.

Fuente. (VALENCIA, 2009).

2.2.3.3. Patrones cromatográficos de evolución y fertilidad del suelo.

Las formas, colores y radiaciones que expresan los

cromatogramas son características que sirven para determinar el grado de evolución y el nivel de fertilidad de un suelo; asimismo, estas características varían en cada nivel. Los suelos con baja fertilidad y poco evolucionados presentan zonas poco diferenciadas e irregulares, la estructura es mínima, coloraciones grisáceas a marrones y de ninguna a escasa formación de radiaciones, es característico de suelos arenosos y se expresa como se muestra en la Figura 5; mientras que en los suelos con fertilidad baja a media existe mejor estructura, diferenciación de las zonas, desarrollo de radiaciones y predominan los colores café y anaranjados (Figura 6). En los suelos de buena fertilidad y bien constituidos es común notar radiaciones bien desarrolladas con terminaciones en punta, coloraciones amarillas, diferenciación y buena integración de las zonas, además de presentar anillos y buena estructura, son características de los suelos francos (Figura 7). Las imágenes que se muestran en cada figura (cuatro imágenes por figura) expresan similitud de las condiciones en la que se encuentra un suelo, pudiendo expresarse en cualquiera de estas formas (CHACON, 2009).

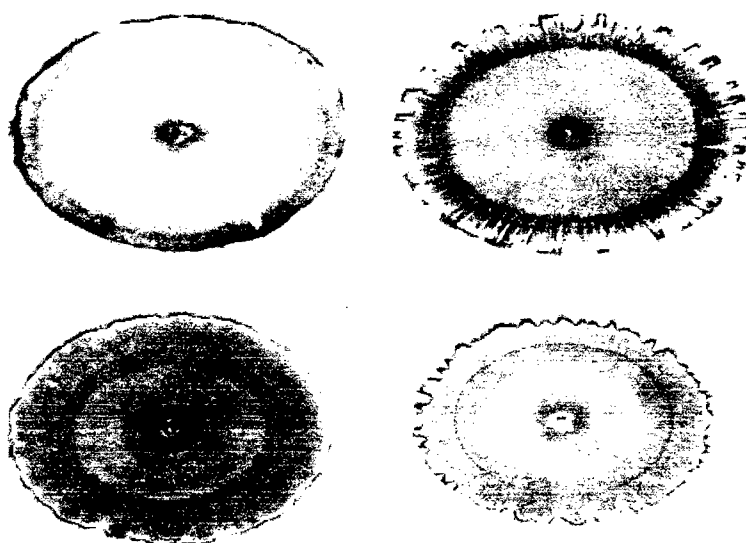


Figura 5. Cromatogramas de suelos con fertilidad mala, poca actividad microbiana y estructura mínima (CHACON, 2009).

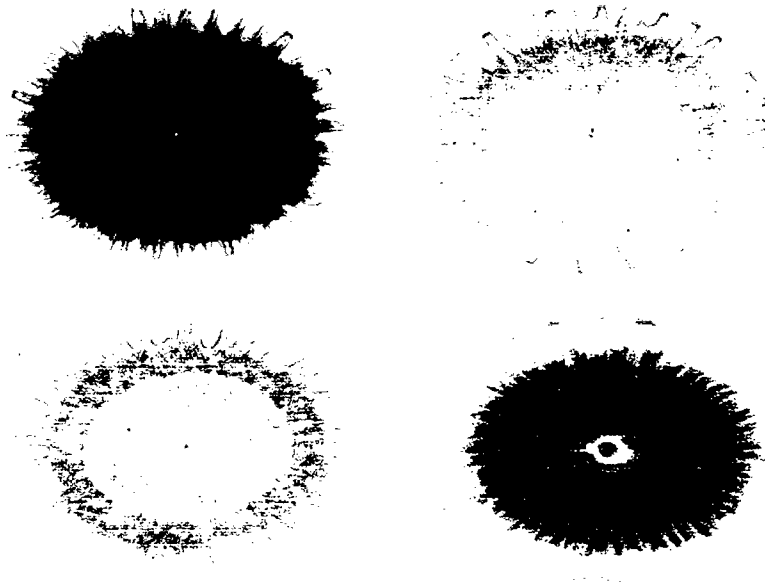
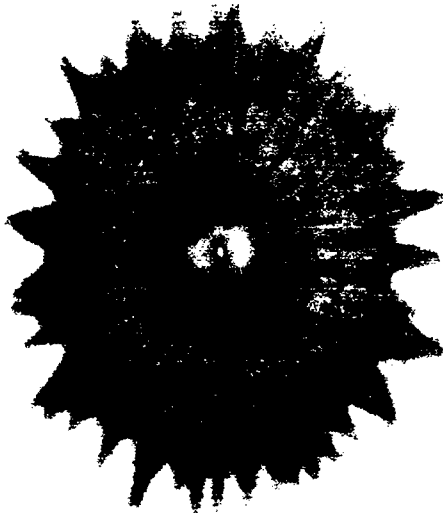


Figura 6. Cromatogramas de suelos con poca actividad microbiológica, fertilidad baja/media y situación del suelo inestable (CHACON, 2009).



Figura 7. Cromatogramas de suelos con actividad microbiológica desarrollada, estructura buena y fertilidad del suelo buena/muy buena (CHACON, 2009).

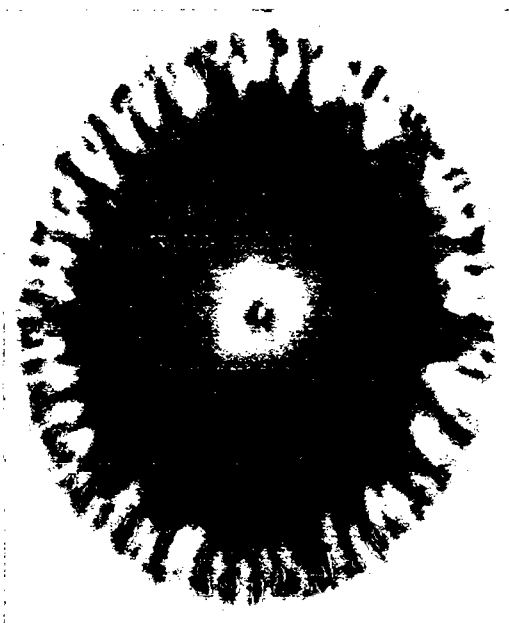
2.2.3.4. Interpretación de algunos cromatogramas



Se observa la ausencia de una zona externa lo cual indica la formación de humus coloidal estable, debido al anegamiento la diferenciación de las zonas es casi nula que además indica poca fertilidad (PFEIFFER, 1984).

Figura 8. Cromatograma de un suelo de valle con poca fertilidad y anegada.

Fuente: (PFEIFFER, 1984).



Este es un suelo aluvial probablemente del fondo de una cuenca formada después de la era de hielo. Contiene alto contenido de materia orgánica (manchas marrón oscuras) y un inusual alto contenido de nitrógeno (zona central muy clara). La fertilidad es muy alta y el suelo está bien aireado (PFEIFFER, 1984)

Figura 9. Cromatograma de un suelo negro muy fértil.

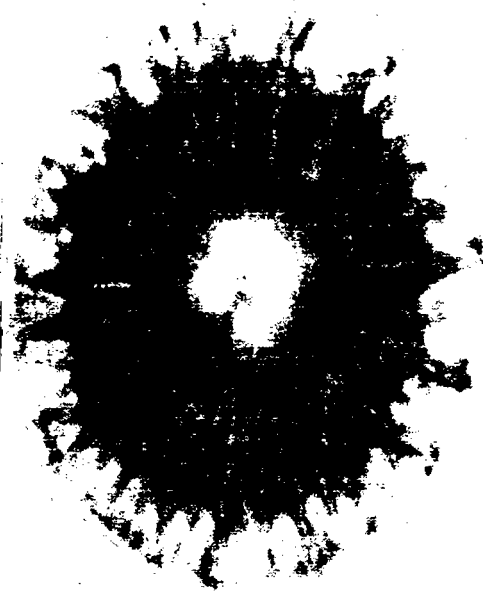
Fuente: (PFEIFFER, 1984).



Un suelo medio pesado, bueno para pastoreo, que algunas veces se encuentra anegado pero con una formación de humus razonable. La zona perimetral del cromatograma indica el grado de formación de humus, la zona intermedia y las puntas muestran la influencia de un drenaje incompleto hacia un grado leve (PFEIFFER, 1984).

Figura 10. Cromatograma de un suelo fértil orgánico de pastizales.

Fuente: (PFEIFFER, 1984).



Un suelo bien aireado, bien drenado proveniente de la misma granja. Éste terreno siempre ha producido buenas cosechas.

El color café de la zona intermedia y perimetral muestran un matiz ligeramente diferente pero muy significativo, con menos gris y más café y amarillo (PFEIFFER, 1984).

Figura 11. Cromatograma de un suelo bien aireado

Fuente: (PFEIFFER, 1984).

2.3. Indicadores de la calidad del suelo

Una de las fases fundamentales para el desarrollo de estudios sobre la calidad del suelo es la definición de la misma y la identificación y selección de las propiedades que puedan servir como indicadores de esa calidad. La definición de calidad del suelo para una cierta zona o región no debe ser tomada de la literatura, sino deberá ser construida o elaborada a partir de los usos y expectativas que los productores tengan para ese suelo o agrosistema. Corresponde a ellos indicar al investigador cuál es su concepto de calidad e identificar que características son deseables o no deseables y como esto se refleja en sus cultivos, en sus animales, en su ambiente y en el manejo que se aplica.

Las características deseables o no deseables que señalen los productores y la prioridad que den a cada uno de ellos deben valorarse por parte del investigador, dentro del marco conceptual de la calidad del suelo, considerándolos como guía para desarrollar indicadores que así tendrán justificación y validez para esa zona, permitiendo responder con cierta precisión a la pregunta de ¿cuáles son los indicadores más relevantes para esa área de estudio?. Otra ventaja de este enfoque es que los indicadores resultantes ensamblan el conocimiento tradicional del productor con el conocimiento del investigador permitiendo proponer medidas efectivas para mejorar el manejo del suelo, lo cual se relaciona con la sustentabilidad del recurso y por lo tanto con el desarrollo agrícola sustentable (BAUTISTA, *et al.*, 2004).

2.4. Reactivos que se utilizan en la cromatografía de suelos

Nitrato de plata (AgNO_3).- Se obtiene disolviendo plata pura en ácido nítrico y cristalizando la sal por evaporación. Es una sustancia blanca que funde sin descomponerse (ARIET, 2005). En la cromatografía, se utiliza como solución de nitrato de plata al 0.5 %, cuya función es revelar color debido a que se oxida por acción de la luz (TELLEZ, 2009)

Hidróxido de sodio (NaOH).- A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Si se libera al suelo, el hidróxido de sodio se separará en cationes de sodio y aniones de hidróxido cuando entre en contacto con la humedad del suelo (NORIEGA, 2005).

En la cromatografía, se utiliza como solución de hidróxido de sodio al 1 %, la cual cumple la función de extraer compuestos como: ácidos, sales, bases, óxidos, aminoácidos, azúcares, lípidos, péptidos, vitaminas, enzimas entre otros (TELLEZ, 2009).

2.5. El cultivo orgánico y su manejo

El concepto de agricultura orgánica, no solamente es la ausencia de agroquímicos en el cultivo, sino la dedicación de aumentar la fertilidad del suelo con medidas biológicas, llegando a una producción sostenible. Se incluye en este concepto toda la finca en la producción y se pretende incursionar en la conciencia del productor y su familia, creando la base para este desafío.

Actualmente la ciencia y tecnología moderna trabajan para utilizar las experiencias ancestrales en el mejoramiento de las prácticas actuales de agricultura orgánica y dictar normas tecnológicas apropiadas para volver atractivos y rentables a este tipo de cultivos que garantizan la producción de alimentos inocuos y la conservación de la naturaleza y sus recursos (PROAMAZONIA, 2004).

La agricultura orgánica no es solamente una sustitución de insumos convencionales por insumos alternativos, sino es un sistema de manejo completo que incluye prácticas de conservación de suelos, reciclaje de materia orgánica, elaboración de compost y abonos verdes, uso de leguminosas, diversificación de cultivos e incluso manejo de agua y protección de flora y fauna silvestre (PROAMAZONIA, 2004).

En los sistemas agroforestales y productivos (plátano – cacao – huaba) de cacao orgánico, se encontró que el contenido de nutrientes de los suelos tienen balances totales y parciales negativos debido a que la extracción de nutrientes fue superior a los aportes para nitrógeno y potasio, mientras que para el fósforo fue positivo (ESTRADA 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El presente trabajo se llevó a cabo en los predios del cultivo de cacao de los socios de la Cooperativa Agroindustrial Tocache Ltda., ubicados en los sectores de Almendras y San Miguel de Tiesto, provincia de Tocache, departamento de San Martín, geográficamente a una Latitud Sur 08°10'50", Longitud Oeste 76°31'00", Altitud de 497 msnm. La zona presenta una temperatura máxima de 30 °C y mínima de 15 °C, precipitación pluvial de 1000 a 1800 mm anuales distribuida con mayor intensidad en los meses de diciembre a marzo y una humedad relativa promedio anual de 86 %. El análisis físico-químico de las muestras de los suelos fue realizado por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Para el análisis cromatográfico del suelo se acondicionó un cuarto con baja iluminación.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de Campo

- GPS Garmin
- Wincha métrica
- 36 bolsas plásticas de 1 kg
- 18 fichas de caracterización de suelos
- 01 libreta de campo
- 01 tubo muestreador

3.2.2. Materiales de laboratorio

- 18 muestras de suelos
- 01 mortero de cerámica
- 02 fioles de 100 y 1000 ml
- Jeringas descartables de 10 ml
- Papel filtro de poro 4

3.3. Equipos de laboratorio

- 01 balanza analítica de laboratorio
- 01 caja forrada con papel oscuro

3.4. Reactivos e insumos

- Solución de nitrato de plata al 0.5 %
- Solución de hidróxido de sodio al 1 %

3.5. Metodología de investigación y diseño experimental

La investigación realizada tiene la característica de ser descriptiva y correlacional, por cuanto no existió diseño experimental alguno.

3.5.1. Coordinación y reconocimiento de las áreas en estudio.

Se coordinó con la Cooperativa Agroindustrial Tocache Ltda., la elección de socios confiables que se encontraban dentro del programa de manejo orgánico de cacao, siendo designados para el estudio 18 parcelas pertenecientes a los agricultores Antonio Flores Vigo (458), Gastón Rojas Jara

(459), Sonia Flores Hernández (460), Antonio Flores Vigo (461), Francisco Quispe Rojas (462), Rosel Acosta Pizango (463), Carlos Grandes Aguilar (464), Delfín Romero Sopan (465), Marina Pizango (466), Delfín Romero Sopan (467), Javier Altamirano López (468), Gladis Aurora Mozombite (469) y (470), Abdías Flores Rojas (471), Antonio Barrios Jara (472), Catalina Mudarra Rodríguez (473), Heyber Valera Rojas (475) y Demetrio Flores Alvarado (476) respectivamente.

3.5.2. Ubicación de los predios.

La ubicación de las parcelas se llevó a cabo con la ayuda de un GPS, obteniéndose las coordenadas respectivas en el centro de cada parcela en estudio (Figura 12).

3.5.3. Determinación del área en estudio

Se delimitó aproximadamente una hectárea de cultivo de cacao en cada predio, estableciéndose la parte más uniforme del terreno como unidad de muestreo.

3.5.4. Obtención de las muestras

Las muestras de suelo se obtuvieron a través de un tubo muestreador mediante un muestreo superficial de 0 a 20 cm de profundidad. Cada muestra estuvo compuesta por 15 sub muestras que se colectaron a partir de un punto al azar, siguiendo un recorrido en zig zag. Estas se colocaron en bolsas de plástico debidamente identificadas para su posterior

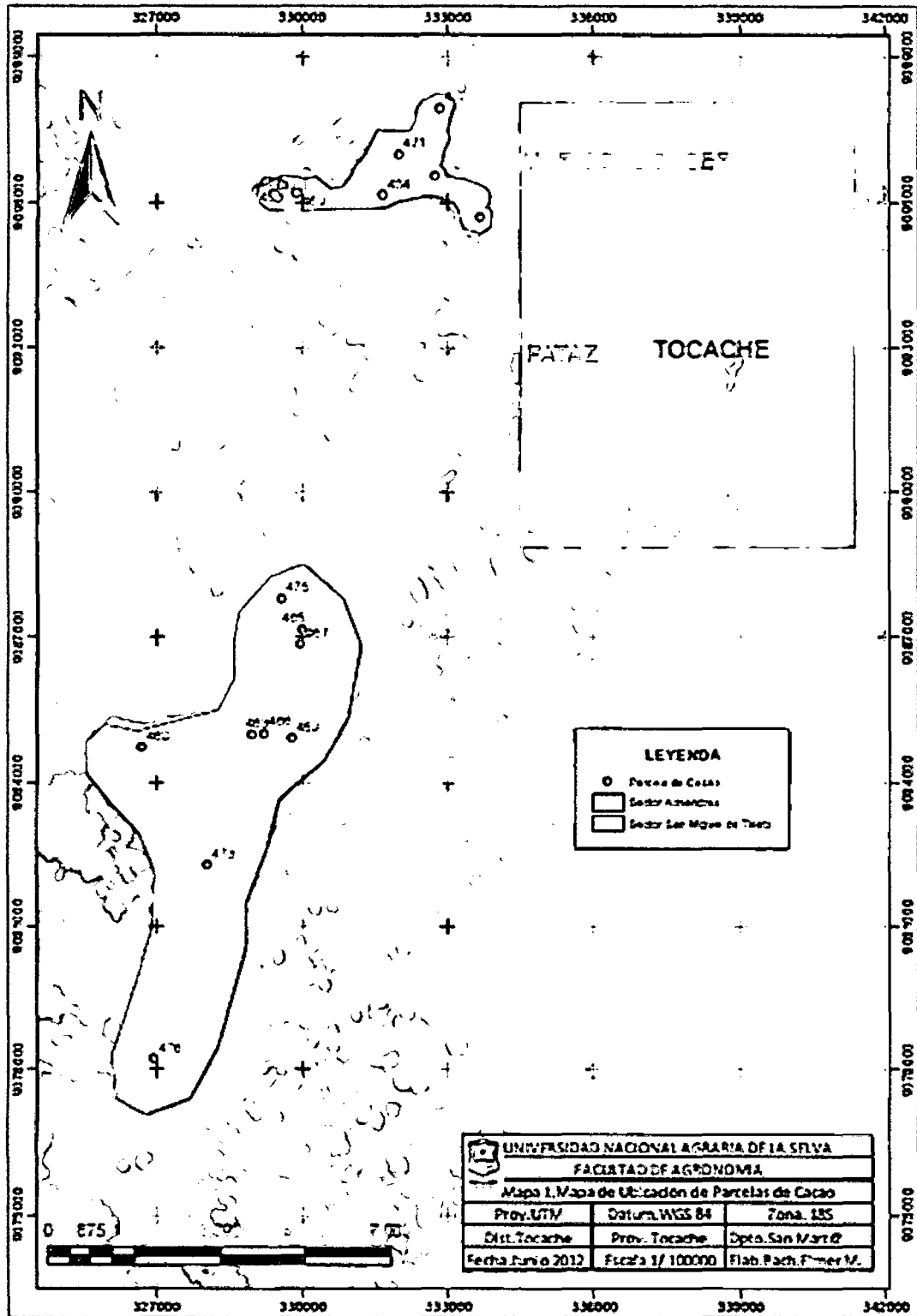


Figura 12. Mapa de ubicación de las parcelas en estudio.

procesamiento en el laboratorio. Las muestras tuvieron un peso aproximado entre 900 – 1100 g. de suelo.

3.5.5. Métodos de análisis

3.5.5.1. Metodología del análisis físico químico del suelo.

El análisis físico químico de las muestras de los suelos en estudio fue realizado por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva con los métodos que se explican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Metodologías del análisis físico químico de suelos

Indicadores	Metodología de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Reacción del suelo (pH)	Método del potenciómetro relación suelo agua 1:1
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno total	% M.O. x 0,045
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado. Extracto NaHCO ₃ 0,5M, pH 8,5
Potasio disponible	Método del Ácido sulfúrico 6N
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Método de Acetato de Amonio 1N. pH: 7,0 (suelos con pH > 5,5).
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	Absorción atómica
Potasio (K)	Absorción atómica
Sodio (Na)	Absorción atómica
(CICe)	Desplazamiento con KCl 1 N (Suelos con pH < 5,5)
Aluminio más Hidrógeno	Método de Yuan

3.5.5.2. Metodología del análisis cromatográfico del suelo.

1. Preparación de solución de nitrato de plata (AgNO₃) al 0,5 %.

Se pesaron 0,5 gramos de nitrato de plata y se disolvió en 40 cc de agua destilada, luego se vertió en una fiola de 100 cc y se llevó a volumen con agua destilada. La solución se guardó en un frasco de color ámbar.

2. Preparación de solución de hidróxido de sodio

Se pesaron 10 gramos de hidróxido de sodio y se disolvió en 400 cc de agua destilada, luego se vertió en una fiola de 1000 cc y se llevó a volumen con agua destilada, obteniéndose finalmente una solución de hidróxido de sodio al 1 %. La solución se guardó en un frasco de color ámbar.

3. Preparación de la mecha o pivote

Se utilizó papel filtro de poro 4, para suelos y compostas, en el cual con una regla y un lápiz trazamos cuadrículas de 2 x 2 cm, (no se debe rayar muy fuerte para evitar que el grafito quede en el recorte). Seguidamente recortamos cada cuadrícula, obteniéndose aproximadamente de 46 a 50 recortes por cada papel filtro circular.

En un clavo de una pulgada de largo sin óxido se enrolló cada recorte, formando así las mechas o pivotes, estos se reservaron para correr, en primer lugar, la solución de nitrato de plata.

Luego, con un troquel o un clavo se hizo un orificio de 3 mm de diámetro en el centro del papel; éste fue el espacio donde se colocó la mecha.

Con un lápiz se marcó suavemente a 5 y 7 cm del centro del papel, para saber hasta dónde se desplazara el nitrato de plata (5 cm), y la muestra de suelo en solución de hidróxido de sodio (7 cm) respectivamente.

4. Acondicionamiento de la placa petri y solución de nitrato de plata

Se prepararon dos placas petri una de 12 cm de diámetro y la otra de 5,5 cm, luego se colocó la placa pequeña dentro de la placa grande (la placa grande debe ser más alta que la pequeña), seguidamente con una jeringa se extrajeron 3 ml de solución de nitrato de plata al 0,5 % y se depositó en la placa pequeña.

Luego en un papel filtro, se puso la mecha o pivote en el orificio que y se colocó sobre la placa grande con la mecha en contacto con el nitrato de plata de la placa pequeña y se dejó que la

solución se desplace hasta la marca de los 5 cm, luego se retiró y con los dedos pulgar e índice se quitó y desechó la mecha.

5. Protección del papel filtro impregnado con solución de nitrato de plata

En un lugar con baja iluminación, se colocó una caja adaptada sin filtración de luz, dentro de la caja se colocaron los papeles superpuestos de la siguiente manera: En la parte inferior se puso una hoja de papel bond, sobre ella una tira doble de papel toalla, luego se colocó el papel filtro impregnado con la solución de nitrato de plata y sobre este otra tira doble de papel toalla y enseguida una hoja de papel bond, quedando de esta manera el papel filtro con nitrato de plata protegido. Se pudieron acomodar hasta cuatro o cinco papeles protegidos encima del primero. (El papel toalla no se debe volver a usar porque mancha los demás). En cuestión de unas horas según la humedad relativa este papel estuvo seco y listo para correr las muestras.

6. Preparación de la muestra

Se tamizaron las muestras de suelo en una malla de 2 mm de diámetro, luego se pesaron 10 g y se colocaron en un mortero de cerámica, mulléndolo hasta que quedó como polvo.

Luego, se pesaron 5 gramos de muestra de suelo mullido y se puso en un vaso de polietileno de preparación de muestras,

seguidamente añadimos 50 cc de solución hidróxido de sodio al 1%, se mezcló con movimientos rotatorios 6 veces a un lado y 6 veces al otro y lo dejamos reposar. A los 15 minutos se repitió nuevamente la misma forma de mezclar y se puso a reposar, a los 30 minutos otra vez se repitió lo mismo dejando reposar esta vez por 5 horas más aproximadamente.

Luego, con una jeringa se extrajeron 3 cc del sobrenadante de la muestra y se colocaron en la placa petri pequeña. Seguidamente se preparó un papel impregnado y seco con nitrato de plata, se colocó la mecha y se dejó correr la muestra hasta la marca de los 7 cm.

Cuando la muestra se desplazó hasta la marca indicada se retiró el papel filtro cuidadosamente, se depuró la mecha y se colocó sobre una hoja de papel bond, seguidamente se marcó el papel filtro con el código que fue asignado a cada muestra y se expuso inmediatamente al sol por ambos lados hasta estar completamente seco, obteniéndose finalmente la imagen lista para ser interpretada.

Cuando la muestra obtenida del sobrenadante no corre en el papel filtro, se puede disminuir la cantidad de suelo a la mitad, es decir, disolver 2,5 g de suelo en 50 cc de hidróxido de sodio y si la muestra que se obtenga continúe teniendo dificultades para correr a través del papel se puede hacer una última disolución a razón de 2,5 g de suelo en 75 cc de hidróxido de sodio. Esta práctica es necesaria cuando los suelos son pesados (arcillosos) o muy bloqueados, especialmente con mucha materia orgánica.

Cuadro 2. Características de descripción del análisis cromatográfico

Indicadores	Zonas			
	Central o de oxigenación	Mineral	Protéica	Actividad enzimática
Color	Tabla Munsell	Tabla Munsell	Tabla Munsell	Tabla Munsell
Dimensiones de las zonas	mm	mm	mm	mm
Forma de las zonas	Regular o Irregular	Regular o Irregular	Regular o Irregular	Regular o Irregular
Presencia de anillos	Si ó No	Si ó No	Si ó No	Si ó No
Número de radiaciones	cantidad	cantidad	cantidad	cantidad

FUENTE: SALAZAR (2011)

3.6. Análisis estadístico

1. Regresión múltiple

Las ecuaciones múltiples que se relacionaron fueron las variables independientes: X_1 (fósforo), X_2 (potasio), X_3 (calcio), X_n (materia orgánica, % de limo) con la variable dependiente Y (ancho de la zona mineral y número de radiaciones). Su uso depende del grado de correlación que exista entre las variables.

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + \dots + ex_n$$

2. Análisis de varianza

El siguiente cuadro muestra el análisis de varianza (ANVA), de las ecuaciones que se obtuvieron en el estudio de investigación.

Cuadro 3. Análisis de varianza

	Grados libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F_{calculado}	F_{tabla}
Regresión	K	SC _{Regresión}	SC _{Regresión} / k	$\frac{SC_{Regresión} / (k-1)}{SC_{Residuos} / (n-k)}$	F(F, k-1, n-k)
Residuos	n - k	SC _{Residuos}	SC _{Residuos} / (n-k)		
Total	n - 1				

n (repeticiones), k (variables), F_{tabla} (Prueba F)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Del análisis físico químico de los suelos

En el Cuadro 4 se muestran los promedios y la desviación estándar de los valores obtenidos del análisis de pH (4,61), materia orgánica (1,07 %), nitrógeno (0,05 %), fósforo disponible (10,17 ppm), potasio disponible (171,86 kg/ha), calcio (4,33 Cmol (+)/kg) y magnesio (0,67 Cmol (+)/kg), correspondiente a las muestras de las parcelas en estudio. El resultado promedio del análisis de los suelos indica que tienen un bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno, de reacción muy fuertemente ácido y bajo en el contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio, lo que permite identificarlos como suelos de baja fertilidad, esto probablemente debido a la naturaleza de los suelos o al sistema de cultivo (cacao – plátano – guaba) practicado en las parcelas. SÁNCHEZ (2000) indica que el bajo nivel de fertilidad también esta asociada a la textura que pueda presentar un suelo. ESTRADA (2010) reportó que el balance de nutrientes de los suelos en sistemas productivos de cacao orgánico similares a los encontrados en las parcelas en estudio, tuvieron balances totales y parciales negativos para nitrógeno y potasio, eso quiere decir que bajo este sistema hay mayor extracción que aporte de estos nutrientes, mientras que para el fósforo los balances fueron positivos; asimismo, Jaramillo (2002) citado por PEÑA (2009), indica que los suelos en condiciones de cultivo, presentan mayor variabilidad en las propiedades físicas y químicas que en

su condición natural debido a las labores propias y extracciones por cosechas.

Cuadro 4. Promedio y desviación estándar de las características de los suelos.

Muestras		pH	M.O	N	P	K ₂ O	Ca	Mg
Cód.	Agricultor	1:1	%	%	ppm	kg/ha	Cmol/kg	
M458	Antonio FLORES VIGO	4,85	1,02	0,05	11,70	166,63	4,77	0,74
M459	Gastón ROJAS JARA	4,43	1,28	0,06	7,70	244,71	1,61	0,19
M460	Sonia FLORES HERNANDEZ	4,31	1,02	0,05	7,80	148,34	5,34	1,05
M461	Antonio FLORES VIGO	4,79	1,79	0,08	13,30	158,28	4,13	0,54
M462	Francisco QUISPE ROJAS	4,53	0,77	0,03	13,80	156,69	3,75	0,49
M463	Rosel ACOSTA PIZANGO	4,65	0,26	0,01	7,90	158,02	6,68	1,29
M464	Carlos GRANDEZ AGUILAR	4,27	1,02	0,05	11,50	252,33	3,45	0,44
M465	Delfín ROMERO SOPAN	4,32	1,02	0,05	8,30	185,46	4,89	0,96
M466	Marina PIZANGO ROJAS	4,68	0,51	0,02	11,20	115,33	4,46	0,67
M467	Delfín ROMERO SOPAN	4,36	1,28	0,06	6,70	147,28	4,96	0,96
M468	Javier ALTAMIRANO LÓPEZ	5,83	1,53	0,07	12,10	206,00	6,97	0,86
M469	Gladis AURORA MOZOMBITE	4,66	1,28	0,06	9,50	152,98	4,11	0,75
M470	Gladis AURORA MOZOMBITE	4,72	0,77	0,03	7,50	216,20	4,07	0,74
M471	Abadías FLORES ROSAS	4,58	1,02	0,05	10,70	201,36	3,95	0,59
M472	Antonio BARRIOS JARA	5,30	0,51	0,02	17,00	224,47	5,82	0,81
M473	Catalin MUDARRA RODRIGUE	4,35	1,79	0,08	10,70	111,49	4,29	0,48
M475	Heyber VALERA ROJAS	4,33	0,51	0,02	9,60	167,03	2,83	0,34
M476	Demetrio FLORES ALVARADO	3,99	1,79	0,08	6,10	80,86	1,86	0,23
Promedio		4,61	1,07	0,05	10,17	171,86	4,33	0,67
Desviación estándar (±)		0,42	0,47	0,02	2,83	46,04	1,41	0,29

En el Cuadro 5 se muestran los valores promedios de los indicadores de fertilidad de un suelo ideal propuesto por SALAZAR (2011) y de los suelos en estudio (observado) con su respectivo equivalente en porcentaje, siendo los valores del suelo ideal considerados como 100 %. Por ejemplo el pH del suelo ideal es 6,8 el cual es el óptimo y se le considera como 100 %, el pH promedio de los suelos en estudio (observado) es 4,61 lo cual equivale al 68 % del valor ideal (6,8). De igual manera se realizó con los demás indicadores.

Cuadro 5. Promedio de los indicadores de fertilidad de un suelo ideal y los suelos en estudio.

	pH	M.O.	N	P₂O₅	K₂O	Ca	Mg
	1:1	%	%	ppm	kg/ha	Cmol(+)/kg	
Ideal	6,80	3,60	0,20	11,00	350,00	10,00	1,50
	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*
Observado	4,61	1,07	0,05	10,17	171,86	4,33	0,67
	68*	30*	25*	92*	49*	43*	45*

*: Valor porcentual

El diagrama que muestra la Figura 13 corresponde a los equivalentes porcentuales de los valores promedios de los suelos analizados. La línea verde que une los valores de los indicadores de fertilidad de los suelos en estudio, permiten ver claramente que están por debajo de los valores óptimos (línea roja), esto nos ayuda a visualizar las carencias reportadas en los análisis de los suelos.

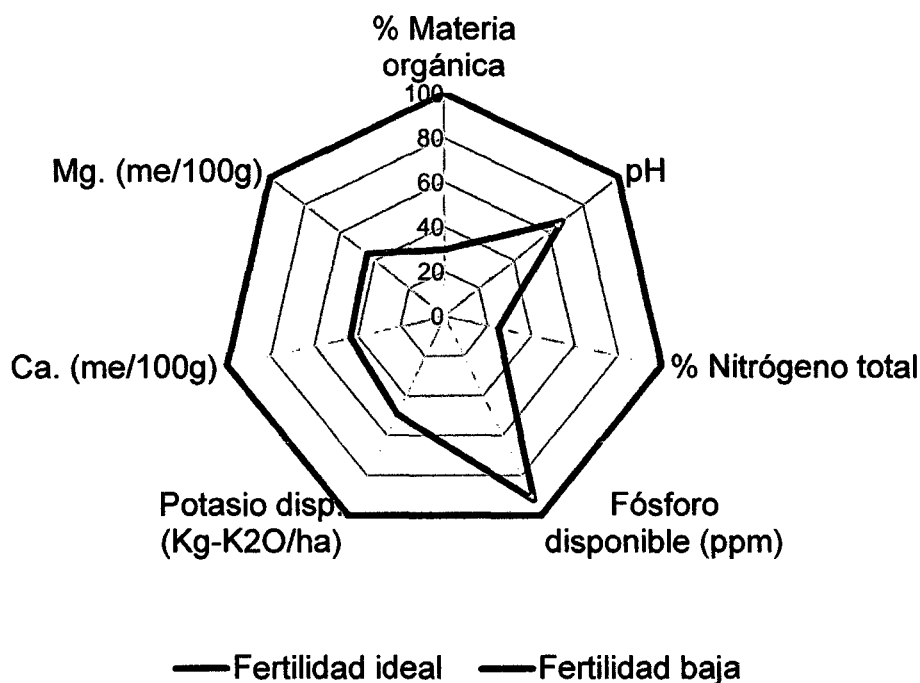


Figura 13. Diagrama de análisis de fertilidad de los suelos en estudio.

4.2. Del análisis cromatográfico de los suelos.

Las imágenes obtenidas a través de la cromatografía (ver anexo Cuadro 17 y Figuras del 13 al 17) se sometieron a un análisis descriptivo, el cual constó en realizar lecturas de las características cualitativas, considerando el color, forma y presencia de anillos en cada zona del cromatograma, también se consideraron las características cuantitativas y se tomaron en cuenta la dimensión o ancho de cada zona y el número total de radiaciones.

4.2.1. Colores de las zonas de los cromatogramas.

Para poder denominar el color correspondiente en cada zona se hizo uso de la tabla Munsell debido a la variedad de intensidades expresadas.

El Cuadro 6 muestra la frecuencia de los colores expresados en la zona central o de oxigenación, en el cual 11 cromas que representan el 60,1 % son de color marrón muy pálido en cuatro tonalidades, 7 cromas que representan el 38,9 % pertenece al color blanco en dos tonalidades.

Cuadro 6. Frecuencia de colores en la zona de oxigenación de los cromas.

Zona central o de oxigenación		
Color	Frecuencia	%
10YR 8/3(marrón muy pálido)	6	33,35
10YR 8/4(marrón muy pálido)	1	5,55
10YR 7/4 (marrón muy pálido)	3	16,65
10YR 7/3 (marrón muy pálido)	1	5,55
10YR 8/2 (blanco)	6	33,35
10YR 8/1 (blanco)	1	5,55
Total	18	100,00

Los resultados obtenidos muestran que en esta zona del cromograma predomina el color marrón muy pálido, el cual es un color claro y favorable, de tal manera puede apreciarse en los cromatogramas interpretados por PFEIFFER (1984), donde un suelo que entrega una cromatografía de color crema o amarillo en la zona central quiere decir que es un suelo, no compactado, de buena aireación y con buena estructura. En los suelos analizados se determinaron texturas que van de franco arenoso, franco, hasta franco arcilloso (ver anexo Cuadro. 18) cuyas características tienen relación con las características asociadas al color expresado en esta zona.

En el Cuadro 7 se muestra la frecuencia de los colores expresados en la zona interna o mineral, observándose 15 cromas que representan el 83,35 % son de color amarillo pardusco en dos tonalidades, 3 cromas que representan el 16,65 % son de color marrón amarillento en dos tonalidades.

En la zona mineral predomina el color amarillo pardusco, lo cual indica que los suelos analizados no presentan una buena disponibilidad mineral, siendo los colores amarillos brillantes y violáceos los requeridos. RODRIGUEZ (2009), menciona que las radiaciones de color violeta son sustancias minerales o reducción de materia orgánica; además al realizar el contraste de los cromas obtenidos con los cromatogramas de evolución y fertilidad del suelo de CHACON (2009), resultan pertenecer a suelos de baja a media fertilidad.

Cuadro 7. Frecuencia de colores en la zona mineral de los cromas.

Zona interna o mineral		
Color	Frecuencia	%
10YR 6/6 (amarillo pardusco)	9	50,00
10YR 6/8 (amarillo pardusco)	6	33,35
10YR 5/8 (marrón amarillento)	2	11,10
10YR 5/6 (marrón amarillento)	1	5,55
Total	18	100,00

El Cuadro 8 muestra la frecuencia de los colores expresados

en la zona externa o proteica, lo cual indica que 15 cromas que equivale al 83,35 % del total son de color marrón amarillento en dos tonalidades; 2 cromas equivalentes al 11,1 % son de color marrón fuerte en dos tonalidades y un croma que viene a ser el 5,55 % es de color amarillo pardusco.

En la zona proteica predomina el color marrón amarillento. Este color obedece a los componentes orgánicos presentes en el suelo que reflejan la cantidad de materia orgánica, siendo más oscura esta zona cuanto mayor sea la materia orgánica. El color encontrado corresponde a un suelo con fertilidad baja a media tal como se observa en los patrones de fertilidad de VALENCIA (2009).

Cuadro 8. Frecuencia de colores en la zona proteica de los cromas.

Zona externa o protéica		
Color	Frecuencia	%
10YR 5/8 (marrón amarillento)	14	77,80
10YR 5/6 (marrón amarillento)	1	5,55
7.5YR 5/6 (marrón fuerte)	2	11,10
10YR 6/8 (amarillo pardusco)	1	5,55
Total	18	100,00

El Cuadro 9 muestra la frecuencia de los colores encontrados en la zona de actividad enzimática, se aprecia que 18 cromas que equivalen al total son de color amarillo en dos tonalidades. El color

encontrado puede atribuirse al grado de humificación de la materia orgánica y por consiguiente al contenido de los ácidos húmicos y fúlvicos, ya que son estos de bajo peso molecular y los que suelen llegar hasta esta zona. Asimismo RODRIGUEZ (2009), manifiesta que el grado de humificación que presenten es también un indicador del nivel de actividad microbiana.

Cuadro 9. Frecuencia de colores en la zona enzimática de los cromas.

Zona de actividad enzimática		
Color	Frecuencia	%
2.5Y 8/8 (amarillo)	10	55,6
2.5Y 6/8 (amarillo)	8	44,4
Total	18	100,0

4.2.2. Dimensiones de las zonas de los cromas

Para obtener el ancho de cada zona se realizó un trazo en forma de cruz teniendo como eje de intersección el punto central del cromatograma, luego con una regla milimetrada se procedió a medir el ancho de las zonas sobre la línea correspondiente, se obtuvo cuatro valores que luego se promediaron.

En el Cuadro 10 se aprecia la frecuencia del ancho de cada zona; la zona de oxigenación presenta dimensiones que varían entre 3,75 y 9,75 mm; en la zona interna o mineral las dimensiones corresponden desde

23 hasta 36,50 m; la zona media o proteica presenta dimensiones que van de 4,25 a 18,25 mm y en la zona de actividad enzimática se encontraron dimensiones que varían entre 7,75 y 18,25 mm.

Los cromas analizados presentan distintas dimensiones en cada una de sus zonas, lo cual indica la poca homogeneidad de esta característica a pesar de que todos los suelos son de fertilidad baja, de la misma manera puede apreciarse en los cromatogramas de evolución y fertilidad del suelo realizado por CHACON (2009), donde las mismas zonas de suelos con fertilidad similar presentan diferentes dimensiones; sin embargo la variabilidad encontrada puede tener relación con los porcentajes de arena, limo y arcilla (textura) tratándose de la zona de oxigenación; asimismo el contenido de los nutrientes, con la zona mineral; la cantidad de materia orgánica con la zona proteica y el estado de la materia orgánica con la zona de actividad enzimática.

Cuadro 10. Frecuencia del ancho de las zonas de los cromas.

Zona de oxigenación			Zona mineral			Zona proteica			Zona actividad enzimática		
Ancho (mm)	F*	%	Ancho (mm)	F*	%	Ancho (mm)	F*	%	Ancho (mm)	F*	%
3,75	1	5,6	23,00	1	5,6	4,25	1	5,6	7,75	1	5,6
4,25	1	5,6	26,00	2	11	4,75	1	5,6	8,00	1	5,6
5,25	1	5,6	27,00	1	5,6	6,00	1	5,6	10,25	1	5,6
5,50	1	5,6	28,00	1	5,6	9,00	1	5,6	11,00	2	11
5,75	1	5,6	29,00	2	11	9,25	1	5,6	11,25	1	5,6
6,25	1	5,6	29,50	1	5,6	9,50	1	5,6	11,50	2	11
6,50	2	11	30,00	1	5,6	12,50	1	5,6	11,75	1	5,6
7,00	2	11	30,25	1	5,6	12,75	1	5,6	12,00	1	5,6
7,25	1	5,6	31,25	1	5,6	13,00	1	5,6	12,75	1	5,6
7,50	1	5,6	31,50	1	5,6	14,00	2	11	14,00	1	5,6
7,75	3	17	32,50	2	11	15,00	1	5,6	15,75	1	5,6
8,25	1	5,6	33,50	1	5,6	16,00	1	5,6	16,25	1	5,6
9,50	1	5,6	34,00	1	5,6	16,25	1	5,6	16,50	1	5,6
9,75	1	5,6	35,75	1	5,6	16,75	1	5,6	17,00	1	5,6
			36,50	1	5,6	17,25	1	5,6	17,50	1	5,6
						17,50	1	5,6	18,25	1	5,6
						18,25	1	5,6			
Total	18	100,0	Total	18	100,0	Total	18	100,0	Total	18	100,0

F* (frecuencia)

4.2.3. Formas de las zonas de los cromas

En el Cuadro 11 se muestra las frecuencias de la forma de cada zona del cromograma. En la zona de oxigenación se indica que corresponde 9 cromas tanto a la forma regular (circular) como irregular, lo que equivale al 50 % de cada forma encontrada, estos resultados nos muestran que no es una característica muy determinante al momento de realizar la interpretación de los cromas en esta zona, corroborando de esta manera lo mostrado por CHACON (2009), en los cromatogramas de evolución y fertilidad del suelo donde se aprecia claramente que suelos con buena aireación pueden tener en esta zona la forma regular o irregular.

En la zona mineral se observa que los 18 cromas son de forma regular, esto muestra que la forma de esta zona no está sujeta al contenido de minerales presentes en los suelos analizados ya que esta característica también es notoria en los cromatogramas de suelos con fertilidad alta tal como se observa en los cromatogramas interpretados por PFEIFFER (1984) y en los patrones de fertilidad de VALENCIA (2010).

En la zona proteica se encontró que 7 de los cromas son irregulares y 11 de forma regular, predominando la última en esta zona. La zona de actividad enzimática indica que 9 cromas son de forma regular y 9 irregular equivalentes a 50 % cada uno respectivamente.

Cuadro 11. Frecuencia de la forma en las zonas de los cromas.

Forma	Zona de oxigenación		Zona mineral		Zona proteica		Zona de actividad enzimática	
	F*	%	F*	%	F*	%	F*	%
regular	9	50,0	18	100,0	11	61,1	9	50,0
irregular	9	50,0	-	-	7	38,9	9	50,0
Total	18	100,0	18	100,0	18	100,0	18	100,0

F*: Frecuencia

4.2.4. Anillos en las zonas de los cromas

En los cromas obtenidos (ver anexo, Figuras 13, 14, 15, 16 y 17) no se observa la presencia de anillos entre la zona mineral y la zona proteica del croma, esto puede deberse a que la mayoría de los suelos presentan bajo contenido de materia orgánica y por lo tanto no es perceptible el proceso de mineralización, también puede ser atribuido a la baja fertilidad que presentan los suelos. VALENCIA (2009), en sus patrones de fertilidad encontró anillos sólo en el croma de fertilidad alta; de igual manera en las interpretaciones de algunos cromas realizado por PFEIFFER (1984), se observa que los suelos de fertilidad alta presentan anillos.

4.2.5. Radiaciones de los cromas

El Cuadro 12 muestra el número de radiaciones que presenta cada croma, siendo 37 el número en promedio y una desviación estándar de $\pm 2,17$, RODRIGUEZ (2009) considera que es una característica de importancia

al momento de la interpretación.

Cuadro 12. Número de radiaciones en los cromas de los suelos.

Parcela	N° radiaciones
458	35
459	41
460	40
461	38
462	34
463	37
464	33
465	39
466	36
467	38
468	37
469	35
470	36
471	37
472	37
473	40
475	35
476	38
Promedio	37
Desviación estándar	± 2,17

4.3. Correlaciones entre el análisis físico químico y el cromatográfico.

El suelo es un ente muy complejo que no depende sólo del comportamiento de un componente sino de la influencia que pueda tener la

interacción de dos o más, por tal motivo se estableció un análisis de regresión lineal múltiple que explicaría mejor la participación de cada variable independiente en la expresión de los cromas.

Para determinar la intensidad de relación entre el análisis físico químico y el análisis cromatográfico, se realizaron dos análisis sucesivos. El primero constó en un análisis de correlación de Pearson entre los datos obtenidos de los cromas (número de estrías y dimensión de cada zona del cromograma) y los resultados del análisis físico químico (% arena, % de limo, % de arcilla, % materia orgánica, fósforo disponible, potasio, calcio y magnesio) a un nivel de confianza del 95 % (ver Anexo. Cuadro 18). Luego se identificó las variables que tuvieron mayor coeficiente de correlación, y realizamos el análisis de regresión lineal múltiple entre una variable dependiente y dos a tres variables independientes. Los datos para el análisis estadístico correspondieron a 18 muestras de suelo.

El Cuadro 13 muestra las variables y la ecuación de la regresión lineal múltiple, siendo su modelo: $y = 27.52 + 0.46x_1 - 0.02x_2 - 0.45x_3$, la ecuación encontrada explica que el ancho de la zona mineral responde al aumento o disminución de los contenidos de fósforo (x_1), potasio (x_2) y calcio (x_3) en el suelo. El coeficiente de correlación es 0,52 y el coeficiente de determinación es 0,27, se encuentra entre los rangos de moderado a alto y significa que son buenas variables para estimar el número de radicaciones en la ecuación descrita.

Cuadro 13. Regresión lineal múltiple entre el ancho de la zona mineral de los cromas con el fósforo disponible, potasio disponible y calcio de los suelos.

Variable dependiente	Variables independientes	Modelo	Ecuación	R²
y : ancho de la zona mineral	x ₁ : fósforo disp. x ₂ : potasio disp. x ₃ : calcio	y=a+bx ₁ +cx ₂ +dx ₃	y = 27,52 + 0,46x ₁ - 0,02x ₂ - 0,45x ₃	0,27

En el Cuadro 14 se observa la ecuación de la regresión lineal múltiple encontrada para las variables relacionadas que se muestran, la ecuación corresponde al modelo $y = 32,4 + 48,6x_1 + 0,06x_2$, el cual indica que un aumento o disminución del contenido de nitrógeno (x₁) y limo (x₂) en el suelo determina el número de radiaciones que presenten los cromas, el coeficiente de correlación es 0,54 y el coeficiente de determinación de 0,29.

Cuadro 14. Regresión lineal múltiple entre el número de radiaciones con el contenido de nitrógeno y % de limo de los suelos.

Variable dependiente	Variable independiente	Modelo	Ecuación	R²
y : n° de radiaciones	x ₁ : nitrógeno x ₂ : % limo	y=a+bx ₁ +cx ₂	y = 32,4 + 48,4x ₁ + 0,06x ₂	0,29

V. CONCLUSIONES

1. Los suelos de los sectores de Almendras y San Miguel de Tiesto, en promedio contienen baja materia orgánica (1.07 %), nitrógeno (0.05 %), potasio disponible (171.86 kg/ha), calcio (4.33 Cmol (+) / kg) y magnesio (0.67 Cmol (+) / kg); un contenido medio de fósforo (10,17 ppm) y un pH (4,61) fuertemente ácido.
2. Los análisis cromatográficos indican, que los suelos en promedio presentan cuatro zonas, el color que predomina en la zona de oxigenación es el marrón muy pálido, en la zona mineral el amarillo pardusco, en la zona proteica el marrón amarillento y en la zona de actividad enzimática el color amarillo, cuyas dimensiones van de 3,75 a 9,75 mm; de 23 hasta 36,50 mm; de 4,25 a 18,25 mm y de 7,75 a 18,25 mm.
3. La forma encontrada en la zona de oxigenación y de actividad enzimática corresponde al 50 % tanto de forma regular como irregular. Además existe ausencia de anillos en los cromas obtenidos y se encontró un promedio de 37 radiaciones.
4. No se encontró correlación significativa entre el análisis cromatográfico (número de estrías, ancho de cada zona) y el análisis físico químico (% de limo, contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio).

VI. RECOMENDACIONES

- 1. Repetir el experimento teniendo presente mayor variabilidad de contenido de nutrientes.**
- 2. Utilizar para la caracterización de los cromas las características descritas.**
- 3. Continuar la investigación para encontrar más características que ayuden en la correlación.**

RESUMEN

El experimento fue realizado en 18 parcelas de los socios de la Cooperativa Agroindustrial Tocache Ltda., localizadas en los sectores de Almendras y San Miguel de Tiesto Distrito y Provincia de Tocache, Departamento San Martín, a una altitud de 449 msnm., con una precipitación pluvial anual de 1800 mm, con el objetivo de realizar el análisis físico químico y el análisis cromatográfico del suelo de los predios de cacao orgánico, tratando de encontrar si existe correlación entre ambas técnicas de diagnóstico. El análisis físico químico se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, encontrándose suelos de fertilidad baja. Los análisis cromatográficos nos indican que los suelos presentan cuatro zonas: el color que predomina en la zona de oxigenación es el marrón muy pálido, en la zona mineral el amarillo pardusco, en la zona proteica el marrón amarillento y en la zona de actividad enzimática el color amarillo, cuyas dimensiones van de 3,75 a 9,75 mm, de 23 hasta 36,50 mm, de 4,25 a 18,25 mm y de 7,75 a 18,25 mm respectivamente. La forma encontrada en la zona de oxigenación y de actividad enzimática corresponde al 50 % tanto de forma regular como irregular. Además existe ausencia de anillos en los cromas obtenidos y se encontró un promedio de 37 radiaciones. No se encontró correlación significativa entre los resultados de los análisis realizados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANDERSON, J.; INGRAM, J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, UK. 256 p.
2. ARIET, F. 2005. Manual de usos de sustancias tóxicas. [En línea]: (<http://www.minambiente.gov.co/documentos/Guía17.pdf>, 20 Nov. 2010).
3. BAUTISTA, C.; ETCHEVERS, B.; DEL CASTILLO, R.; GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov. 2005).
4. CHACON, M. 2009. Cromatografía de suelos. Campesinos con la gestión y manejo de la fertilidad de su suelo en sus manos. Agroambiente soluciones S.A. Costa Rica. 24p.
5. ESTRADA, F. 2010. Balance de nutrientes en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) en el municipio de Waslala, Nicaragua. [En Línea]: (<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A6278e/A6278e.pdf>; 31 de Oct. Del 2011).
6. FUENTES, L. 1989. El suelo y los fertilizantes. 3^{ra}. Edición. Mundiprensa S.A. México. 379p.

7. HINRICH, B. 1993. Química de los suelos. 1^{ra}. Edición. Edit. Limusa. México. 370p.
8. NORIEGA, A. 2005. Manual de seguridad de sustancias tóxicas. [En Línea]: (<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/toxfaq122.pdf>; 16 de Nov. del 2010).
9. PEÑA, R. 2009. Variabilidad espacial de los atributos de la capa arable de un Inceptisol del piedemonte de la cordillera Oriental (Casanare, Colombia). [En Línea]. (<http://www.agronomía.unal.edu.co/adjuntos/investigación/revista/27-1/v27n1a15.pdf>; 22 de Oct. del 2011).
10. PFEIFFER, E. 1984. CHROMATOGRAPHY APPLIED TO QUALITY TESTING. Wyoming, Rhode Island. 44p.
11. PROAMAZONIA. 2004. Manual del cultivo de cacao. Edit. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
12. RODRÍGUEZ, V. 2009. Cromas, una interesante mirada a la vida de suelos y cultivos [En Línea]: (<http://www.innovakglobal.com/periodicos/.pdf>).
13. ROMERA, M. 2009. La agricultura ecológica como solución a los problemas planteados por la agricultura convencional. [En Línea]: INFOAGRO.(http://www.infoagro.com/agricultura_ecológica/agricultura_ecológica.htm;17 de Nov. del 2009).

14. SALAZAR, R. 2011. Uso de dos técnicas para determinar la fertilidad del suelo en cultivo de café orgánico del Sector Pusapno, Distrito de Chontabamba, Provincia de Oxapampa. Tesis de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 77 p.
15. SÁNCHEZ, V. 2000. Aspectos físicos y químicos del suelo. Facultad de agronomía – universidad de concepción. Pp. 80 – 82
16. TAMHANE, R. V.; MOTIRAMANI, D. P.; BALI, Y. P. 1978. Suelos: Su química y fertilidad en zonas tropicales. 1^{ra} Edición. Edit. DIANA, S. A. México. 483 p.
17. TELLEZ, J. 2009. Análisis Cromatográfico de Suelos. Fundación AGRECOL Andes. Bolivia. 13 p.
18. TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. 1^{ra} Edición. Edit. LIMUSA S.A. México. 760 p.
19. VALENCIA, A. 2009. Estudio de salud de suelos. COAS/ CONSEJEROS EN AGRICULTURA SOSTENIBLE Y PERMACULTURA. Agroambiente soluciones S.A. Costa Rica. 32p.

VIII. ANEXO

Cuadro 15. Resultados del análisis físico químico de los suelos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
 analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

Procedencia:

TOCACHE

Solicitante: **MENIETA MUDARRA ELMER**

Número de Muestra				ANALISIS MECANICO								CAMBIABLES Cmo(+)/kg												
Lab.	PROP.	CARACT.	SECTOR	Arena %	Limo %	Aroilla %	Textura	pH	Ca CO3 %	M.O. %	N %	P ppm	K ₂ O kg/ha	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	% Bas. Camb	% Ao. Camb	% Sat. Al
M458	ANTONIO FLORES VIGO	cacao hibrido	ALMENDRAS / fundo las flores	28	5	67	Franco Limoso	4.85	----	1.02	0.05	11.70	166.63		4.77	0.74			1.08	0.50	7.09	77.72	22.28	15.23
M459	GASTON ROJAS JARA	caco hibrido	TIESTO	32	41	27	Franco Arcilloso	4.43	----	1.28	0.06	7.70	244.71		1.61	0.19			2.61	1.10	5.51	32.67	67.33	47.37
M460	ZONIA FLORES HERNANDEZ	cacao CCN 51	TIESTO	30	41	29	Franco Arcilloso	4.31	----	1.02	0.05	7.80	148.34		5.34	1.05			2.40	0.35	9.14	69.91	30.09	26.26
M461	ANTONIO FLORES VIGO	cacao hibrido	ALMENDRAS / fundo las flores	66	21	13	Franco Arenoso	4.79	----	1.79	0.08	13.30	158.28		4.13	0.54			1.17	0.40	6.24	74.84	25.16	18.75
M462	FRANCISCO QUISPE ROJAS	cacao hibrido	ALMENDRAS	42	33	25	Franco	4.53	----	0.77	0.03	13.80	156.69		3.75	0.49			3.06	0.40	7.70	55.06	44.94	39.74
M463	ROSEL ACOSTA PIZANGO	cacao CCN 51	TIESTO	28	44	28	Franco Arcilloso	4.65	----	0.26	0.01	7.90	158.02		6.68	1.29			2.25	0.40	10.62	75.05	24.95	21.19
M464	CARLOS GRANDEZ AGUILAR	cacao hibrido	ALMENDRAS	42	30	28	Franco Arcilloso	4.27	----	1.02	0.05	11.50	252.33		3.45	0.44			2.50	0.55	6.94	56.05	43.95	36.02
M465	DELFIN ROMERO SOPAN	cacao hibrido	TIESTO	24	47	29	Franco Arcilloso	4.32	----	1.02	0.05	8.30	185.46		4.89	0.96			2.80	0.10	8.75	66.86	33.14	32.00
M466	MARINA PIZANGO	cacao hibrido	TIESTO	32	44	24	Franco	4.68	----	0.51	0.02	11.20	115.33		4.46	0.67			1.10	0.15	6.38	80.41	19.59	17.24
M467	DELFIN ROMERO SOPAN	cacao CCN 51	TIESTO	30	43	27	Franco Arcilloso	4.36	----	1.28	0.06	6.70	147.28		4.96	0.96			2.60	0.10	8.82	68.68	31.32	30.16
M468	JAVIER ALTAMIRANO LOPEZ	cacao hibrido	ALMENDRAS / fundo la florida	28	67	5	Franco Limoso	5.83	----	1.53	0.07	12.10	206.00	8.69	6.97	0.86	0.48	0.38				100.00	0.00	0.00
M469	GLADIS AURORA MOZOMBITE	cacao hibrido	ALMENDRAS / fundo la florida	42	33	25	Franco	4.66	----	1.28	0.06	9.50	152.98		4.11	0.75			2.88	0.35	8.09	60.07	39.93	35.60
M470	GLADIS AURORA MOZOMBITE	cacao hibrido	ALMENDRAS / fundo la florida	36	40	24	Franco	4.72	----	0.77	0.03	7.50	216.20		4.07	0.74			2.25	0.35	7.41	64.91	35.09	30.36
M471	ABADIAS FLORES ROSAS	cacao hibrido	ALMENDRAS	40	35	25	Franco	4.58	----	1.02	0.05	10.70	201.36		3.95	0.59			2.52	0.25	7.31	62.11	37.89	34.47
M472	ANTONIO BARRIOS JARA	cacao CCN 51	ALMENDRAS	43	43	14	Franco	5.30	----	0.51	0.02	17.00	224.47		5.82	0.81			0.81	0.30	7.74	85.66	14.34	10.47
M473	CATALINA MUDARRA RODRIGUEZ	cacao CCN 51	TIESTO / fundo san felipe	31	39	30	Franco Arcilloso	4.35	----	1.79	0.08	10.70	111.49		4.29	0.48			3.70	0.10	8.57	55.66	44.34	43.17
M475	HEYBER VALERA ROJAS	cacao CCN 51	TIESTO	35	40	25	Franco	4.33	----	0.51	0.02	9.60	167.03		2.83	0.34			4.41	0.55	8.13	38.99	61.01	54.24
M476	DEMETRIO FLORES ALVARADO	cacao CCN 51	TIESTO	41	28	31	Franco Arcilloso	3.99	----	1.79	0.08	6.10	80.86		1.86	0.23			6.39	0.05	8.53	24.50	75.50	74.91

Para: % Bases Cambiable= Ca+Mg+K+Na/CICt X 100
 Para: % Acidez Cambiable= Al+H/CICe X 100
 Fecha: Tingo María, 15 de Octubre de 2010

Ing. M.Sc. Hugo Huamani Yupanqui
JEFE DE LABORATORIO

Recibo N° 236867
 Muestreado por: El solicitante

Cuadro 16. Indicadores químicos y materia orgánica de un suelo ideal Vs las parcelas en estudio.

Indicador	Suelo ideal	Parcela																	
		458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	475	476
% M. O.	3,6	1,02	1,28	1,02	1,79	0,77	0,26	1,02	1,02	0,51	1,28	1,53	1,28	0,77	1,02	0,51	1,79	0,51	1,79
	100%	28,33	35,56	28,33	49,72	21,39	7,22	28,33	28,33	14,17	35,56	42,50	35,56	21,39	28,33	14,17	49,72	14,17	49,72
pH	6,8	4,85	4,43	4,31	4,79	4,53	4,65	4,27	4,32	4,68	4,36	5,83	4,66	4,72	4,58	5,30	4,35	4,33	3,99
	100%	71,32	65,15	63,38	70,44	66,62	68,38	62,79	63,53	68,82	64,12	85,74	68,53	69,41	67,35	77,94	63,97	63,68	58,68
% N, total	0,2	0,05	0,06	0,05	0,08	0,03	0,01	0,05	0,05	0,02	0,06	0,07	0,06	0,03	0,05	0,02	0,08	0,02	0,08
	100%	25,00	30,00	25,00	40,00	15,00	5,00	25,00	25,00	10,00	30,00	35,00	30,00	15,00	25,00	10,00	40,00	10,00	40,00
P disp, (ppm)	11	11,70	7,70	7,80	13,30	13,80	7,90	11,50	8,30	11,20	6,70	12,10	9,50	7,50	10,70	17,00	10,70	9,60	6,10
	100%	106,36	70,00	70,91	120,91	125,45	71,82	104,55	75,45	101,82	60,91	110,00	86,36	68,18	97,27	154,55	97,27	87,27	55,45
K, disp, (K/ha)	350	166,60	244,71	148,34	158,28	156,69	158,02	252,33	185,46	115,32	147,28	206,00	152,98	216,20	201,36	224,47	111,49	167,03	80,86
	100%	47,60	69,92	42,38	45,22	44,77	45,15	72,09	52,99	32,95	42,08	58,86	43,71	61,77	57,53	64,13	31,85	47,72	23,10
Ca (me/100g)	10	4,77	1,61	5,34	4,13	3,75	6,68	3,45	4,89	4,46	4,96	6,97	4,11	4,07	3,95	5,82	4,29	2,83	1,86
	100%	47,70	16,10	53,40	41,30	37,50	66,80	34,50	48,90	44,60	49,60	69,70	41,10	40,70	39,50	58,20	42,90	28,30	18,60
Mg (me/100g)	1,5	0,74	0,19	1,05	0,54	0,49	1,29	0,44	0,96	0,67	0,96	0,86	0,75	0,74	0,59	0,81	0,48	0,34	0,23
	100%	49,33	12,67	70,00	36,00	32,67	86,00	29,33	64,00	44,67	64,00	57,33	50,00	49,33	39,33	54,00	32,00	22,67	15,33

Cuadro 17. Características de las zonas de los cromas.

Parcela	Color				Dimensión				Forma				Presencia anillos			
	Zona				Zona				Zona				Zona			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
458	10YR 8/3	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 6/8	7,00	31,50	13,00	11,25	R	I	R	I	no	no	no	no
459	10YR 8/2	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 8/8	8,25	29,00	16,25	16,25	I	I	R	R	no	no	no	no
460	10YR 8/2	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 8/8	7,75	27,00	17,15	16,50	I	I	R	R	no	no	no	no
461	10YR 8/2	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 6/8	7,75	36,50	6,00	15,75	R	I	R	I	no	no	no	no
462	10YR 8/2	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 8/8	7,75	34,00	4,25	18,25	I	R	R	I	no	no	no	no
463	10YR 8/3	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 8/8	7,25	29,00	14,00	10,25	I	I	R	R	no	no	no	no
464	10YR 8/3	10YR5/6	10YR 5/6	2.5Y 6/8	6,25	23,00	12,50	17,00	R	I	R	R	no	no	no	no
465	10YR 8/2	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 8/8	9,50	30,00	9,00	17,50	R	I	R	R	no	no	no	no
466	10YR 7/4	10YR 5/8	10YR 5/8	2.5Y 8/8	5,50	35,75	12,75	11,00	R	R	R	R	no	no	no	no
467	10YR 8/3	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 8/8	5,75	32,50	4,75	14,00	R	I	R	R	no	no	no	no
468	10YR 7/4	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 8/8	6,50	32,50	14,00	11,75	I	R	R	R	no	no	no	no
469	10YR 8/3	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 6/8	7,00	33,50	9,25	11,00	R	I	R	R	no	no	no	no
470	10YR 7/4	10YR 6/6	10YR 5/8	2.5Y 6/8	5,25	28,00	17,50	7,75	R	I	R	R	no	no	no	no
471	10YR 7/3	10YR 5/8	7.5YR 5/6	2.5Y 6/8	3,75	31,25	18,25	8,00	I	I	R	R	no	no	no	no
472	10YR 8/4	10YR 6/6	7.5YR 5/6	2.5Y 8/8	4,25	30,25	15,00	11,50	I	I	R	R	no	no	no	no
473	10YR 8/3	10YR 6/6	10YR 6/8	2.5Y 8/8	6,50	29,50	9,50	12,75	I	I	R	R	no	no	no	no
475	10YR 8/2	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 6/8	7,50	26,00	16,75	11,50	R	R	R	I	no	no	no	no
476	10YR 8/2	10YR 6/8	10YR 5/8	2.5Y 6/8	9,75	26,00	16,00	12,00	I	I	R	R	no	no	no	no

10YR 8/3; 10YR 7/4; 10YR 8/4 = Marrón muy pálido
 10YR 6/6; 10YR 6/8 = Amarillo pardusco
 10YR 5/6; 10YR 5/8 = Marrón amarillento
 R=Regular, I=Irregular

10YR 8/2 = Blanco
 7.5YR 5/6= Marrón fuerte
 2.5Y 6/8; 2.5Y 8/8 = Amarillo

Cuadro 18. Resultados de las correlaciones entre el análisis físico químico y el análisis cromatográfico.

		%Arena	%Limo	%Arcilla	N	P	K	Ca	Mg
Radiaciones	R ²	-,215	,284	-,123	,426	-,371	-,006	-,018	,065
	N	18	18	18	18	18	18	18	18
D1	R ²	-,068	-,137	,195	,330	,328	-,416	-,182	-,336
	N	18	18	18	18	18	18	18	18
D2	R ²	,260	-,016	-,189	,111	,081	,383	-,252	,294
	N	18	18	18	18	18	18	18	18
D3	R ²	-,246	,144	,046	-,274	-,252	-,215	,257	-,117
	N	18	18	18	18	18	18	18	18
D4	R ²	,102	-,048	-,031	,227	,250	,072	,099	-,181
	N	18	18	18	18	18	18	18	18

D1= dimensión de la zona de oxigenación.

D2= dimensión de la zona mineral.

D3= dimensión de la zona proteica.

D4= dimensión de la zona de actividad enzimática.

R² = coeficiente de determinación.

N = número de muestras

Cuadro 19. Coordenadas y altitud de las parcelas en estudio.

N°	Parcela	Sector	Coordenadas UTM		Altitud
			Este	Norte	m.s.n.m.
1	458	Almendras	329570	9096339	512
2	459	Tiesto	329774	9084916	496
3	460	Tiesto	326705	9084724	504
4	461	Almendras	329410	9096167	516
5	462	Almendras	333655	9095679	486
6	463	Tiesto	328953	9084996	498
7	464	Almendras	331649	9096144	497
8	465	Tiesto	329997	9087160	478
9	466	Tiesto	329215	9085013	499
10	467	Tiesto	329957	9086863	480
11	468	Almendras	332726	9096526	484
12	469	Almendras	329880	9096171	515
13	470	Almendras	329495	9096084	514
14	471	Almendras	331990	9096976	489
15	472	Almendras	332834	9097937	485
16	473	Tiesto	328049	9082291	505
17	475	Tiesto	329572	9087799	493
18	476	Tiesto	326952	9078222	525

Cuadro 20. ANVA de la regresión múltiple entre el ancho de la zona mineral de los cromas con el fósforo, potasio disponible y calcio de los suelos.

	G.L.	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	57,6102	19,2034	1,711	0,210
Residuos	14	157,0460	11,2175		
Total	17	214,6562			

Cuadro 21. ANVA de la regresión múltiple entre el número de radiaciones con el contenido de nitrógeno y % de limo de los suelos.

	G.L.	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	23,5911	11,7955	3,1362	0,0723
Residuos	15	56,4088	3,7605		
Total	17	80,0000			



Figura 14. Cromas de las parcelas 258 (a), 259(b)

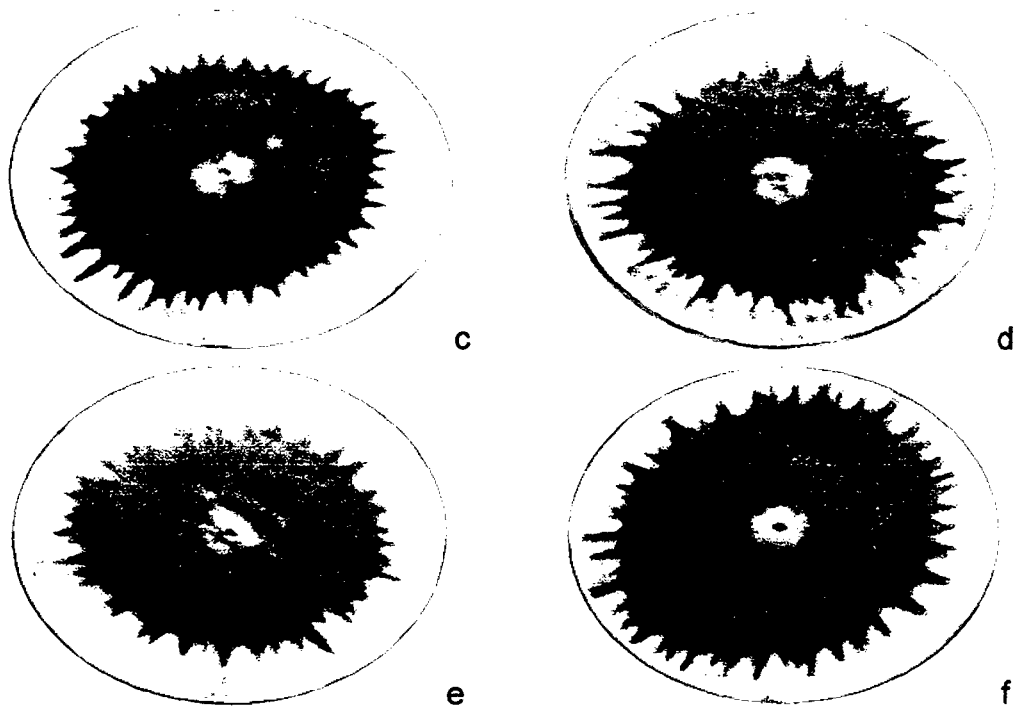


Figura 15. Cromas de las parcelas 260(c), 261(d), 262(e), 263(f)

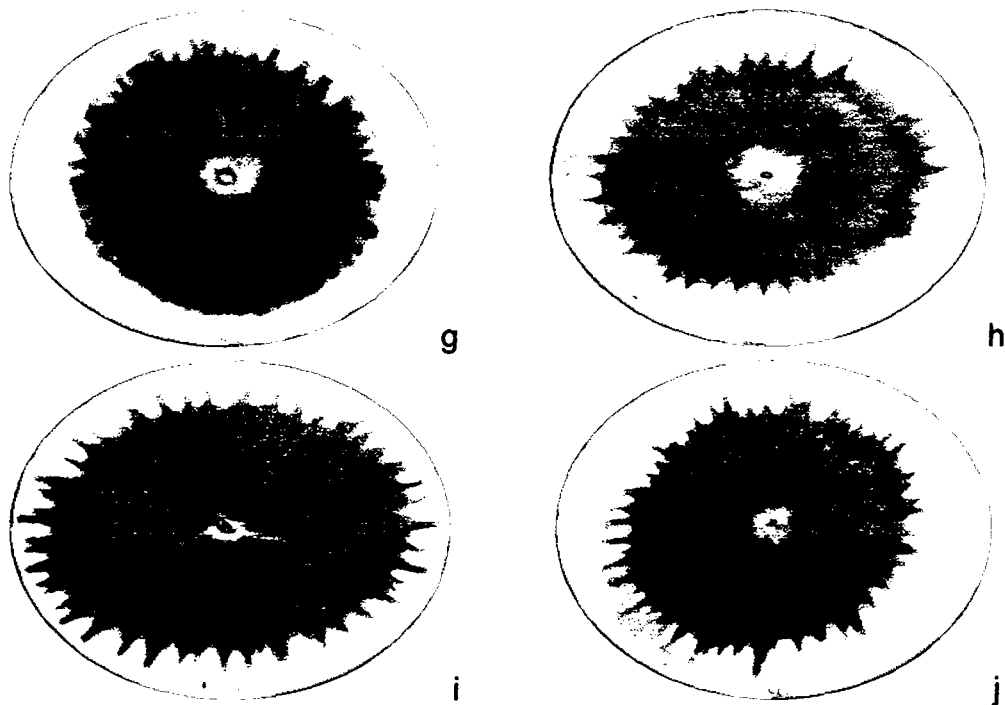


Figura 16. Cromas de las parcelas 264(g), 265(h), 266(i), 267(j)

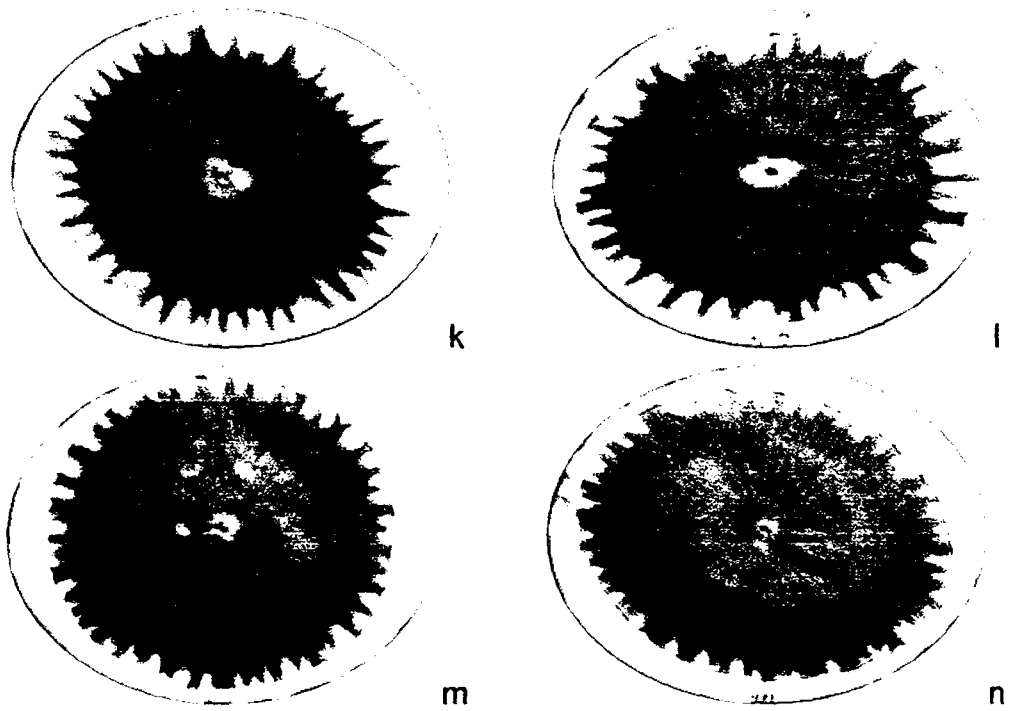


Figura 17. Cromas de las parcelas 268(k), 269(l), 270(m), 271(n)

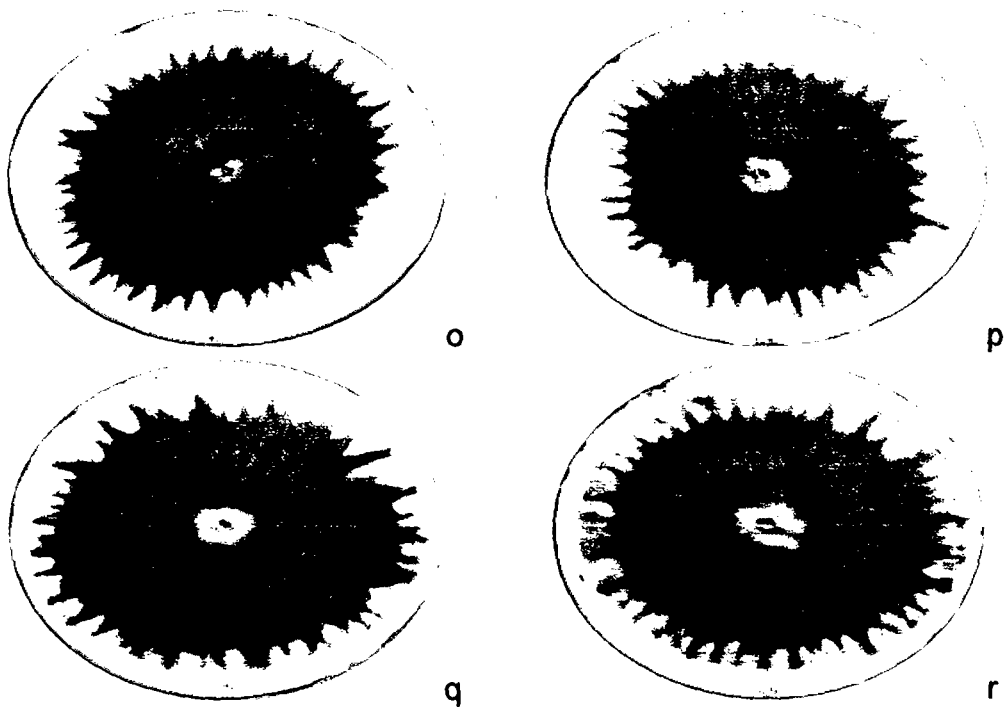


Figura 18. Cromas de las parcelas 272(o), 273(p), 275(q), 276(r)