

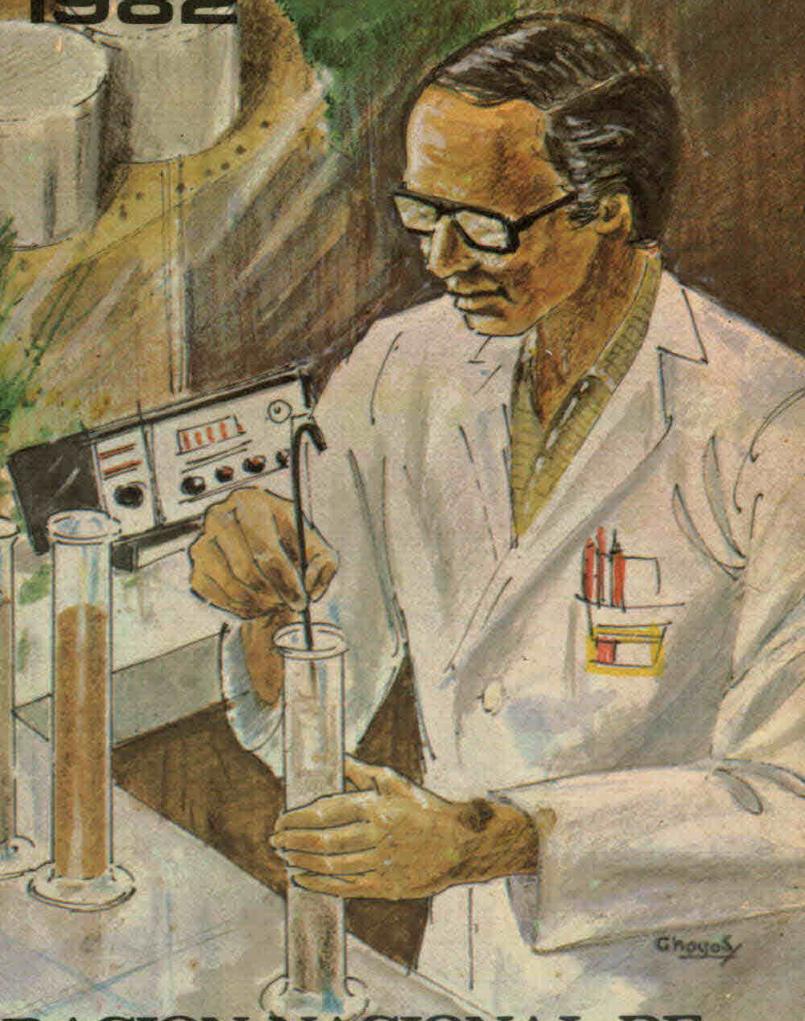
40

**Años
de Investigación
en Cenicafé**

Volumen 1

SUELOS

1982



Chavez



**FEDERACION NACIONAL DE
CAFETEROS DE COLOMBIA**

PRESENTACION

Desde comienzos de este siglo, el café ha ocupado un lugar destacado en la economía colombiana. Es el mayor productor de divisas, genera un altísimo porcentaje de empleo, ha sido factor preponderante en la colonización de las regiones montañosas de clima medio y constituye uno de los mejores mecanismos de distribución del ingreso.

El desarrollo de la industria cafetera y su posición actual en el marco socio-económico del país, ha tenido como base la organización, el empuje y la visión futurista de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, cuyas directivas siempre han apoyado ampliamente las iniciativas de carácter científico y técnico.

Fue así como, la Federación estableció el Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, el cual comenzó a funcionar en 1939 en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas.

Es conveniente destacar la determinación del gremio cafetero como sector privado, de adelantar por su propia cuenta la investigación y experimentación agronómica, factor éste que ha garantizado la continuidad en los trabajos, que generalmente son de mediano y largo plazo y la obtención de resultados objetivos que han pagado con creces la inversión efectuada en la investigación.

Han transcurrido ya 40 años de investigación en dicho Centro, durante los cuales se han realizado más de 700 proyectos experimentales entre los distintos temas básicos que se mencionan más adelante y distribuidos en las ocho subestaciones de Experimentación Regional localizadas en las tres cordilleras de los andes colombianos.

El objetivo de dichos proyectos es el de generar los conocimientos científicos necesarios para solucionar los problemas específicos de los cultivos del grano.

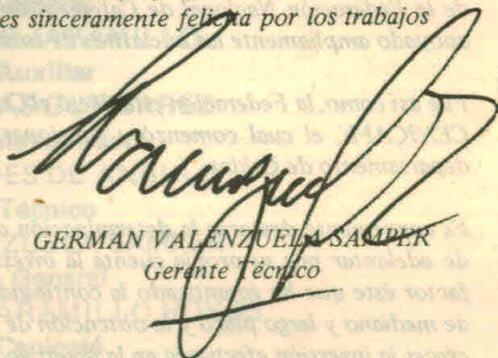
Estos proyectos han abarcado todos los aspectos de la industria y los lineamientos generales de la investigación se han ido modificando de acuerdo con la producción del país y la situación del mercado mundial.

Esta filosofía, le ha permitido a Colombia disponer de una vasta tecnología para orientar la producción según las necesidades. Y es precisamente un resumen de esta tecnología, el que se va a presentar al gremio cafetero colombiano y a la comunidad científica a través de una publicación que se ha denominado "40 AÑOS DE INVESTIGACION EN CENICAFE".

Esta publicación comprenderá los siguientes nueve (9) volúmenes: SUELOS, CLIMA DE LA ZONA CAFETERA, MEJORAMIENTO GENETICO DEL CAFETO, FISIOLOGIA Y NUTRICION, GERMINADORES Y ALMACIGOS, MANEJO DEL CAFETO EN PRODUCCION, BENEFICIO DEL GRANO Y SUB-PRODUCTOS, CULTIVOS ASOCIADOS E INDUSTRIA ANIMAL.

Para reunir esta información, se consultaron todas las publicaciones realizadas por CENICAFE, los informes anuales de cada una de las secciones y se revisaron numerosos documentos no publicados que reposan en los archivos del Centro.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, espera que esta obra sirva de base para el desarrollo futuro de la investigación en café, y agradece a todos y cada uno de los técnicos de CENICAFE a quienes sinceramente felicita por los trabajos realizados durante estos 40 años.



GERMAN VALENZUELA SAMPER
Gerente Técnico

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TECNICA

El estudio de los suelos de la zona cafetera colombiana, su cultivo y conservación, y su reconstrucción, han sido siempre preocupaciones prioritarias de la Federación.

Los primeros trabajos sobre reconocimiento y clasificación de los suelos y el material parental se debieron al geólogo suizo Paul Schaufelberger, quien dejó como fruto de su trabajo un libro en dos tomos titulado "Apuntes Geológicos de la Zona Cafetera Colombiana".

Desde 1919 la Federación desarrolló una intensa actividad en el campo de la conservación de los suelos y en el estudio y reconstrucción de suelos, la cual dio origen a la investigación sobre causas de los suelos y conservación de sus nutrientes, actividad que ha continuado hasta hoy.

Desde la creación de Cenicafé se ha intensificado el personal profesional dedicado a la investigación de suelos.

Los pioneros de la campaña de suelos fueron los ingenieros agrónomos de Puerto Rico, Luis Oscar Sotolongo y Rafael R. Hernández. Continúa con esta labor el ingeniero agrónomo Fernando Vargas de Castro, quien compiló todos los trabajos de investigación sobre suelos y publicó en 1959 el libro titulado "Conservación de Suelos" el cual fue editado por la zona Saboy de España.

Los ingenieros agrónomos Fernando Vargas de Castro y Rafael R. Hernández publicaron conjuntamente otro libro titulado "Suelos de la Zona Cafetera Colombiana" en 1962.

Finalmente en 1977, los ingenieros agrónomos Álvaro Gómez A. y Isaac J. Alarcón C. con la colaboración del ingeniero agrónomo Alfonso Gilman, publicaron el "Manual de Conservación de Suelos de Labores".

Además de los ya citados, han hecho importantes contribuciones al estudio de los suelos de la zona cafetera los ingenieros agrónomos Jaime Jaura, Alfonso Gilman y Fernando Vargas de Castro.

La investigación que se presenta en este libro fue realizada por el ingeniero agrónomo Álvaro Gómez A. en el año 1978, en el marco del proyecto de conservación de suelos de la zona cafetera, financiado por el Fondo de Inversión y el seminario de investigación de suelos de Cenicafé.

Este libro fue editado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, en Chinchiná, Caldas, en el año 1982.

El diseño de la portada fue realizado por el artista plástico Juan Carlos Rodríguez.

40 AÑOS DE INVESTIGACION EN CENICAFE

Volumen 1 SUELOS

Centro Nacional de Investigaciones de Café

Cenicafé

Chinchiná, Caldas - 1982

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

El objetivo de dichos proyectos es el de promover los conocimientos científicos necesarios para solucionar los problemas específicos de los cultivos del café.

Entre los proyectos han abarcado todos los aspectos de la industria y los niveles de investigación se han ido modificando de acuerdo con la producción del país y la situación del mercado mundial.

Esta filosofía se ha aplicado para promover la tecnología para aumentar la producción de café en las zonas cafeteras del país.

En 1960 se realizó el primer congreso de la zona cafetera en Bogotá, el cual se dio a conocer al premio cafetero colombiano y a la creación del Centro de Investigación y Fomento Cafetero (CENICAFE).

Esta publicación contiene los resultados de los trabajos realizados en los campos de la zona cafetera, mejoramiento genético del café, fisiología y nutrición, enfermedades y plagas, manejo del café en producción, beneficio del café y sus productos, cultivos asociados e intercalados.

Para reunir esta información se convocaron todos los productores y especialistas del CENICAFE, los cuales realizaron y elaboraron los trabajos y se realizaron otros documentos de apoyo.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia agradece a todos y especialmente a los autores de los trabajos que han contribuido a esta publicación.

La compilación que se presenta en este texto fue realizada por el Ingeniero Agrónomo Alvaro Duarte Gil. En la edición del mismo colaboraron el Director de Cenicafé, I. A. Silvio Echeverri Echeverri y el personal de la Sección de Divulgación Científica, Ingenieros Agrónomos Gerardo Chamorro Trejos y José Vélez Marulanda. La revisión técnica estuvo a cargo del I. A. Alvaro Gómez Aristizabal.

Carátula: Gonzalo Hoyos Salazar
Composér: Edith Vera de Marín
Diagramación: María Helena Estrada Gómez

INTRODUCCION

El estudio de los suelos de la zona cafetera colombiana, su análisis y caracterización, y su conservación, han sido siempre preocupación primordial de la Federación.

Los primeros trabajos sobre reconocimiento y clasificación de los suelos y el material parental se debieron al geólogo suizo Paul Schaufelberger, quien dejó como fruto de su trabajo un libro en dos tomos titulado "Apuntes Geológicos de la Zona Cafetera Colombiana".

Desde 1939 la Federación desarrolló una intensa actividad en el campo de la conservación de los suelos y en 1946 se aprobó la campaña de la defensa y restauración de suelos, la cual dió principio en 1947 y por primera vez en Colombia a la investigación sobre erosión de los suelos y conservación de los mismos, actividad que ha continuado ininterrumpidamente.

Desde la etapa inicial, las altas directivas de la entidad, apoyaron y estimularon al personal profesional encargado de las labores técnicas.

Los pioneros de la campaña de suelos fueron los ingenieros agrónomos de Puerto Rico, Luis Oscar Soufrón y Rafael R. Hernández. Continuó con esta labor el ingeniero agrónomo Fernando Suárez de Castro, quien copiló todos los trabajos de investigación sobre suelos y publicó un libro titulado "Conservación de Suelos" el cual fue editado por la casa Salvat de España.

Los ingenieros agrónomos Fernando Suárez de Castro y Alvaro Rodríguez Grandas, publicaron conjuntamente otro libro titulado "Investigaciones sobre la Erosión y Conservación de Suelos en Colombia", trabajo que fue premiado por la Fundación Angel Escobar, máximo galardón a la creatividad científica que tiene el país.

Posteriormente en 1975, los ingenieros agrónomos Alvaro Gómez A. y Héctor Alarcón C., con la colaboración del ingeniero agrónomo Alfonso Grisales, realizaron el "Manual de Conservación de Suelos de Ladera"

Además de los ya citados, han hecho interesantes contribuciones al estudio de los suelos de la zona cafetera los siguientes profesionales: Juan Pablo Duque, Aicardo Orozco, Aparicio Rangel Galindo, Horacio Betancur Vélez, Alberto Machado, Pedro J. Alarcón, Jaime Parra, Mario López, Guillermo Bernal, Germán Mejía, Humberto Gutiérrez, Ricardo Chavez, Hernán Uribe, Jaime Prieto, Alfonso Uribe, Eduardo Bravo, Federico Carrillo y Sénen Suárez.

En este volumen se resumen los resultados obtenidos en el área de suelos desde la creación del Centro Nacional de Investigaciones de Café, hasta 1979.

CONTENIDO

Página

ROCAS		1
	Clasificación	1
PEDOGENESIS		2
	Unidades de suelos en el departamento de Caldas	2
ANALISIS		2
	Composición de muestras de suelos	2
	Correlación de nitrógeno y fósforo en suelos y hojas	2
	Nitratos	4
	Capacidad de intercambio catiónico	5
	Aluminio de cambio y acidez intercambiable	5
	Aluminio de cambio	5
	Fósforo aprovechable, método Cenicafé	6
	Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)	7
	Textura	7
	Metodologías actuales	9
CARACTERIZACION		9
	Unidades de suelos de la zona cafetera	9
	Retención de humedad de los suelos del Quindío	10
	Caracterización física de algunos suelos derivados de materiales volcánicos del departamento del Tolima	16
	Caracterización física de algunos suelos de origen ígneo, metamórfico y sedimentario del departamento del Tolima	16
	Caracterización física de algunos suelos derivados de materiales volcánicos de los departamentos de Caldas y Quindío.	22
	Suelos pesados de la zona cafetera	22
	Estabilidad estructural de los micro-agregados de los suelos	22

	Página
FERTILIDAD	28
Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café a la sombra	28
Efecto de la pulpa de café como abono	28
Efecto de los fertilizantes en suelos de cenizas volcánicas	30
Lixiviación de los fertilizantes potásicos en un suelo derivado de cenizas volcánicas (Dystrandept)	30
Lixiviación de dos fertilizantes potásicos en un suelo de la unidad Chinchiná con y sin el intercambiador iónico Zeo-plus	31
Fósforo inorgánico y orgánico	31
Fijación de fósforo	31
Efecto del enclamiento	34
Fertilidad de los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andepts) en Caldas y Tolima	35
Fertilidad de suelos con diferente material de origen	38
Zonificación de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera	38
Efecto de la aplicación reiterada de un fertilizante completo	38
Localización de los fertilizantes P-32.	44
EROSION	44
Resistencia de los suelos a la erosión	44
Efecto de la lluvia en la erosión	45
Índice de erosión pluvial de Fournier, aplicado a la zona cafetera colombiana	46
Coefficiente de escorrentía	46
Grado de erosión en función de la pérdida anual de suelos	48
Efecto de la pendiente de un terreno en la erosión	48
Efecto de las coberturas en el movimiento del agua	48
Efecto protector del sombrío	49
Pérdidas de nutrimentos del suelo por acción de la escorrentía	49
Pérdidas de nutrimentos del suelo por efecto de la lixiviación	51
Pérdida de profundidad de los suelos por la erosión	51
Pérdida del suelo y agua en cafetales y potreros	51
Pérdidas de suelo en café, yuca, maíz y pasto	53
Pérdidas de suelo en cafetales al sol	53
Comparación de sistemas de desyerba	55
Coberturas vegetales protectoras del suelo	55
Erosión en cafetales bajo diferentes sistemas de manejo	56
Efecto de las quemas	61
Efecto de la variedad de café en la erosión de los suelos	62
Valor de conservación de los cultivos	62
Eficiencia relativa de algunas prácticas de conservación de suelos	65
Uso y manejo de los suelos de ladera. Sistema IUM	65
Epocas apropiadas para realizar labores de cultivo	67
Efecto del Kriilium sobre la productividad de los suelos y el control de la erosión	67

ROCAS

Clasificación.

Para analizar la composición de las rocas ígneas colombianas se estudió una muestra de 126 rocas. Aproximadamente el 60% de ellas pertenecen a la provincia magmática del Pacífico; 15% a la del Atlántico y sólo una roca (0,8%) a la del Mediterráneo.

TABLA 1.- DISTRIBUCION DE LAS ROCAS IGNEAS COLOMBIANAS. CENICAFE, 1962.

Clasificación química	Plutonitas	Volcanitas	Total	%
Provincia del Pacífico				
Subprovincia granítica	32	18	50	39,7
Subprovincia diorítica	11	14	25	19,8
Provincia del Atlántico				
Subprovincia sienítica	7	—	7	5,6
Subprovincia gabroide	4	10	14	11,1
Provincia del Mediterráneo				
Subprovincia fayáitica	1	—	1	0,8
Subprovincia teralítica	—	—	—	—
Ultrabasitas	4	—	4	3,2
Magmatitas	21	4	25	19,8
TOTAL	80	46	126	100,0

PEDOGENESIS

Unidades de suelos en el departamento de Caldas.

Se consideraron dos unidades de suelos localizadas en la zona cafetera colombiana (departamento de Caldas), en climas similares. Las rocas ígneas son el material de origen de ambos suelos, pero se diferencian en el contenido de sílice, clasificándose como ácida en la unidad "La Violeta" (derivada de un granito) y como básica en la unidad Parnaso (200) (derivada de un basalto). Se determinó el tipo y rapidez de descomposición por los agentes meteorizantes, en ambas rocas.

En la tabla 2 se comparan los suelos formados a partir de esos dos tipos de roca, tanto por el aspecto químico como físico. En cuanto a la composición química se nota el mayor contenido de bases individuales y totales en la roca básica, así como sus diferencias en los contenidos de hierro y aluminio, aspectos que se reflejan en la mayor fertilidad de los suelos derivados de ella, en comparación con los suelos provenientes de rocas ácidas.

En el aspecto físico se destaca la textura arenosa en el suelo proveniente de roca ácida y la textura arcillosa de los suelos derivados de las rocas básicas. Este aspecto se considera importante por tratarse de suelos localizados en la región húmeda del trópico, con promedio de precipitación anual alto (2.300 mm) y relativamente constante.

ANALISIS

Composición de muestras de suelo.

Con el objeto de determinar la importancia de la composición de muestras para un análisis de suelos, se escogió un lote en Naranjal con suelos derivados de cenizas volcánicas correspondiente a la Unidad Chinchiná. El lote escogido para el muestreo estuvo en po-

trero mucho tiempo (más de 40 años) y no recibió ninguna clase de fertilizante químico.

El muestreo se hizo en zig-zag, abarcando todo el lote y se tomaron muestras a 30 cm de profundidad en 20 sitios diferentes.

Las muestras se analizaron individualmente. Con los resultados obtenidos se hizo un estudio estadístico para determinar el grado de repetibilidad de las determinaciones con base en el coeficiente de variación (C.V.) tabla 3.

Se observó que el pH es la característica del suelo con el más alto grado de repetibilidad y su variación es mínima.

La textura del suelo resultó muy similar en todas las muestras y los porcentajes de limo, arena y arcilla son muy repetibles.

Los valores de la C.I.C. son muy similares a través de todo el lote. Los valores de los demás elementos analizados (N, materia orgánica, P, K, Ca, Mg y Al) muestran baja repetibilidad; esto se debió a que había sitios más erosionados que otros o a la misma dinámica de cada uno de los elementos en el suelo.

También se determinó el número de muestras necesario para formar muestras compuestas. A estas muestras compuestas se les hizo análisis de caracterización y con los resultados se determinó el grado de repetibilidad de cada una de las características analizadas.

La repetibilidad fue muy alta para los elementos analizados, indicando esto que prácticamente los resultados fueron similares al formar muestras compuestas de 20, 15, 10 ó 5 submuestras.

Correlación de nitrógeno y fósforo en suelos y hojas.

Aunque se conocen numerosos estudios para evaluar el contenido de nutrimentos del suelo según el análisis químico de las plantas, se

TABLA 2.- COMPARACION DE DOS UNIDADES DE SUELOS DERIVADOS DE DISTINTAS CLASES DE ROCAS IGNEAS. CENICAFE 1964 Y 1975.

<p style="text-align: center;">GRANITO</p> <p style="text-align: center;">Roca ígnea intrusiva</p> <p>Roca ácida: (Más 66% de SiO₂) Composición: Sílice, feldespato (Ortosa), mica Estructura: Diaclasas</p>	<p style="text-align: center;">BASALTO</p> <p style="text-align: center;">Roca ígnea efusiva</p> <p>Roca básica: (42-45% de SiO₂) Composición: Compleja Estructura: Compleja</p>
<p style="text-align: center;">METEORIZACION</p> <p style="text-align: center;">Integral</p> <p>Física: Principalmente lenta</p>	<p style="text-align: center;">METEORIZACION</p> <p style="text-align: center;">Concéntrica</p> <p>Química: Principalmente rápida</p>
<p style="text-align: center;">UNIDAD VIOLETA</p> <p style="text-align: center;">Características de los suelos</p> <p style="text-align: center;">Capa A + capa B</p> <p>Contenido de Sílice: 70% Textura: Franco arenosa Profundidad: 0,30 m. Sin estructura Contenido de hierro: (Fe₂O₃) 3% Contenido de aluminio: (Al₂O₃) 14% Total bases: 8,2 me/100 g Fertilidad: Baja (lixiviación) Permeabilidad: Alta Erodabilidad: Alta Patrones de erosión:</p> <ul style="list-style-type: none"> Surcos Cárcavas Derrumbes 	<p style="text-align: center;">UNIDAD PARNASO</p> <p style="text-align: center;">Características de los suelos</p> <p style="text-align: center;">Capa A + capa B</p> <p>Contenido de Sílice: 46% Textura: Arcillosa Profundidad: 0,80 m. Estructura: Prismática Contenido de hierro: (Fe₂O₃) 14% Contenido de aluminio: (Al₂O₃) 14% Total bases: 19,1 me/100 g Fertilidad: Alta Permeabilidad: Baja Erodabilidad: Media Patrones de erosión:</p> <ul style="list-style-type: none"> Laminar Surcos Soliflucción Derrumbes

sabe poco sobre la relación de los índices así obtenidos.

En una prueba de invernadero se comprobó el contenido de nitrógeno y fósforo en 20 suelos de la zona cafetera colombiana, con el porcentaje de estos elementos en plantas de café y pasto que crecieron en ellos. Se fertilizaron los suelos con ambos nutrimentos y luego se analizó el fósforo del suelo por los

métodos Bray I y Bray II, y otro método cuya solución extractora es H₂SO₄ 0,08 N (método Cenicafé). El análisis del fósforo en los vegetales se hizo por el método colorimétrico de fosfomolibdovanadato de amonio. El nitrógeno se determinó en suelos y plantas por el método de Kjeldahl.

Los porcentajes de fósforo y nitrógeno en el suelo y en las plantas mostraron interacciones entre planta índice, fertilizante y suelos.

TABLA 3.- ANALISIS ESTADISTICO DE 20 MUESTRAS DE SUELOS CARACTERIZADOS.

Características	Promedio	Límites de confianza		C. V. %	Repetibilidad
		Inferior	Superior		
pH	5,64	5,58	5,70	2,21	Muy alto
N	0,50	0,46	0,54	16,03	Bajo
Materia orgánica	10,28	9,58	10,98	14,53	Bajo
P (Bray I)	0,40	0,31	0,49	47,30	Muy bajo
K	0,26	0,18	0,33	64,17	Muy bajo
Ca	1,43	1,11	1,75	47,81	Muy bajo
Mg	0,51	0,38	0,64	56,01	Muy bajo
Al	0,53	0,46	0,64	27,81	Muy bajo
C. I. C.	25,26	24,12	26,40	9,64	Medio
Arena	58,00	57,37	58,64	2,37	Muy alto
Limo	23,15	22,31	23,99	7,72	Alto
Arcilla	18,85	18,26	19,44	6,72	Alto
Textura					Muy alta

No hubo correlaciones entre peso seco de café o pasto y el porcentaje de nitrógeno en el suelo. Las correlaciones entre peso seco del pasto y fósforo del suelo resultaron positivas con el uso de fertilizantes carentes de fósforo.

En café, también hubo correlación entre estas variables pero se requiere el uso de fertilizante fosfórico. Tanto en café como en pasto se necesita analizar los suelos por los métodos Bray I o Bray II.

Nitratos.

Para la determinación de nitratos en muestras de suelos, se simplificó y estandarizó el método del ácido fenoldisulfónico para analizarlos colorimétricamente en el laboratorio y en el campo.

Se ensayaron concentraciones de 0; 1; 0,1; 0,01 N de H₂SO₄ como extractante con diferentes tiempos de extracción.

Para determinar los nitratos se toman 5 gramos de suelos y se les hace una extracción durante 2 minutos con 100 ml de H₂SO₄ 0,1 N 1:1 en agua. Luego se desarrolla el color y se lee a una longitud de onda de 410 nm.

Hidrógeno de cambio.

Para seleccionar el método más apropiado para determinar hidrógeno de cambio, se tomaron muestras de nueve suelos de la zona cafetera debidamente reconocidos, que contenían tres grupos (alta, media y escasa cantidad de materia orgánica) y en cada uno de estos grupos, suelos con alto, medio y escaso porcentaje de arcilla, lo que daba nueve combinaciones amplias de materia orgánica-arcilla.

Se analizaron por tres métodos directos: 1) Destilación con acetato de bario Ba (CH₃COO)₂; 2) Titulación con acetato de calcio Ca(CH₃COO)₂ y 3) Extracción con

acetato de amonio $\text{NH}_4(\text{CH}_3\text{COO})$ y tres métodos indirectos: 1) Determinación de la CIC con $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; 2) Determinación de la CIC con acetato de calcio, acetato de amonio y destilación de amonio absorbido y 3) Determinación de la CIC con acetato de calcio, acetato de amonio, remoción del amonio con HCl y destilación.

De los análisis de los resultados se puede concluir que el método directo del acetato de calcio era en 1953 (fecha de ensayo), el método más seguro y eficaz para determinar el hidrógeno de cambio en los suelos de la zona cafetera de Colombia.

La AOAC (Analytical Official Association Chemists) tomó este método como oficial para el análisis de hidrógeno de cambio en los suelos en general.

Capacidad de intercambio catiónico.

Se siguió la metodología con cloruro de bario en trietanolamina para luego determinar colorimétricamente el bario como cromato. Es un método que permite una mejor visión del complejo de cambio que el método tradicional con acetato de amonio y a su vez para determinar la acidez extractable ante la presencia de aluminio e hidrógeno.

La CIC encontrada en varios suelos de la zona cafetera fue de 10 a 15 me/100 g de suelo mayor que la CIC encontrada con acetato de amonio a pH 7,0. Por esta metodología la acidez extractable fue de 18 a 20 veces superior a la intercambiable extraída con KCl 1N y neutro.

Aluminio de cambio y acidez intercambiable.

Para medir el aluminio de cambio presente en los suelos andepts cafeteros, se compararon nueve métodos para sus determinaciones. La acidez intercambiable (principalmente aluminio intercambiable) se extrajo con KCl 1N y neutro y el aluminio extractable con acetato de amonio 1N pH 4,8.

Se tomaron muestras (capa orgánica e inorgánica) de suelos representativos de cinco de las principales unidades de suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera de Colombia.

Los resultados obtenidos permiten recomendar para estos suelos, con base en el grado de repetibilidad y economía de tiempo, equipo y reactivos, como método de rutina para determinar aluminio intercambiable, la extracción con KCl 1N neutro durante 5 minutos y determinación con NaOH 0,05N. Para investigaciones de caracterización de suelos, el mismo método pero con 30 minutos de extracción.

Para suelos con alto contenido de Al intercambiable (más de 1,0 me/100 g de suelo) y contenidos de hierro mayores de 1.000 ppm, se recomienda extracción con KCl 1N durante 30 minutos y titulación con NaOH 0,1N; KF 1N; H_2SO_4 0,1 N, ya que este método es específico para Al, y no hay interferencia por Fe. Para determinar Al extractable en estos suelos, se recomienda extraer con acetato de amonio 1N, pH 4,8 y determinar por colorimetría con aluminón-ácido tioglicólico al 10%. Cuando el contenido de materia orgánica de los suelos es mayor de 30% se debe destruir previamente para evitar interferencias.

También se compararon los métodos de Yuan y de espectrofotometría de absorción atómica (E.A.A.) para determinar el Al intercambiable en los suelos de la zona cafetera colombiana y se analizaron muestras de suelos y subsuelos con pH de 4,2 a 8,9 y con contenido de materia orgánica de 0,0 a 26,3% originados a partir de 14 materiales parentales (ígneos, metamórficos y sedimentarios) de 41 municipios de cuatro departamentos. Por E.A.A. se determinó directamente el Al^{+3} en cada extracto. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos métodos. Estos presentaron alta repetibilidad y exactitud. Los valores encontrados variaron de 0,0 a 19,7 me/100 g de suelo.

No se observó relación entre el material de origen de los suelos y el contenido de Al^{+3} intercambiable, como tampoco en los contenidos de materia orgánica de los mismos. El Al intercambiable es proporcional a la acidez del suelo, especialmente dentro de cada grupo originado de un mismo material.

Se encontró que en suelos de pH mayores de 5,7, el Al^{+3} estaba por debajo de 1,0 me/100 g de suelo y con pH menores de 5,2, los valores siempre eran mayores de 1,0 me/100 g de suelo.

Posteriormente, para conocer la relación entre el pH del extracto del suelo con KCl 1N, y el Al intercambiable, se observó que para pH menor de 3,8 del extracto el Al intercambiable es mayor de 1,0 me/100 g de suelo.

Se estudiaron las interferencias de hierro e hidrógeno en el método de Yuan para la determinación del Al intercambiable. Se analizaron 200 muestras de suelos originados de diferentes materiales parentales (ígneos, metamórficos y sedimentarios), con pH desde 3,5 hasta 8,0 y con contenido de Al^{+3} hasta 19 me/100 g de suelo aproximadamente. Se encontró que con extracciones de 5 minutos, las interferencias de hierro e hidrógeno son despreciables con este método.

Fósforo aprovechable, método Cenicafé.

Con el fin de determinar un método rápido para conocer el fósforo aprovechable, se utilizaron 15 soluciones extractoras de diferentes capacidades de extracción (soluciones de ácidos, de bases, de ácidos minerales, de sales minerales u orgánicas y de distinta concentración), y tres sistemas diferentes de análisis colorimétricos: molibdato amónico y reducción de cloruro estañoso; molibdato amónico y reducción con ácido aminonaftolsulfónico y bisulfato sódico; y molibdato amónico y vanadato amónico. Se sembró maíz en microparcels de suelos de la unidad Chin-

chiná, de bajo contenido de fósforo disponible. Se aplicaron cantidades de N y K suficientes para el crecimiento óptimo del cultivo; en relación con el fósforo se aplicaron 0; 50; 100; 150; 200 y 250 kg de P_2O_5 /ha. A los 40 días se cosecharon las plantas y se tomaron las muestras de los suelos para el análisis químico, cuyos resultados se sometieron a pruebas de correlación con la cosecha y se encontró alta significación con las soluciones de H_2SO_4 0,08 N (método Cenicafé); H_2SO_4 0,1 N y HCl 0,1 N + NH_4F 0,03 N (Bray II), en su orden.

Posteriormente, se compararon los métodos utilizados por el laboratorio Químico Nacional (P-Olsen), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (P-Hellige Trough) y el método Cenicafé (solución extractora H_2SO_4 0,08N). Se utilizaron 23 muestras de suelos, colectadas por el Laboratorio Químico Nacional y el Instituto Codazzi. Las muestras tenían diferentes valores de pH y diversos contenidos de P aprovechable, determinados por el método Olsen.

Se encontró que entre P-Olsen (solución extractora de bicarbonato de sodio CO_2) y P-Hellige Trough (solución extractora de HCl 0,03N) no hay relación. Entre P-Hellige Trough y P-Cenicafé existe concordancia. Entre P-Olsen y P-Cenicafé no hay relación. Dentro de estos dos últimos P-Cenicafé trabaja en forma más segura.

El método P-Cenicafé se probó en tres suelos a los cuales se les hizo una prueba de fertilidad en invernadero. Los resultados de invernadero para fósforo y el análisis de los suelos por el método P-Cenicafé tuvieron alta correlación.

En suelos derivados de cenizas volcánicas, se compararon los métodos Bray I, Bray II y Cenicafé. El método Bray I utiliza una solución de HCl 0,025N más NH_4F 0,03N; el método Bray II emplea una solución más concentrada HCl 0,1N más NH_4F 0,03N y el

método Cenicafé utiliza para la extracción una solución de H_2SO_4 0,08N.

Los resultados encontrados muestran una baja extracción de fósforo en todos los suelos estudiados (0,7 a 13,0 ppm) debido a la alta fijación de fósforo característica de los suelos derivados de cenizas volcánicas, lo que impide definir el método más apropiado para suelos de bajo P soluble.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico de los suelos se hizo un estudio, con soluciones puras y suelos por los métodos de destilación y colorimétrico.

Las diferencias con soluciones de distinta concentración fueron de 0,1 y 0,2 (método de destilación) comparadas con 1,6 y 2,7 (método colorimétrico) en 20 repeticiones.

Posteriormente, se compararon los métodos de colorimetría y titulación con formaldehí-

do, y se encontró que ambos métodos presentan una buena repetibilidad y equivalencia en los valores de la capacidad de intercambio catiónico. La titulación con formaldehído tiene varias ventajas sobre el método colorimétrico: hay ahorro de reactivos y tiempo; es fácil, sencillo y con posibilidad de menor variación en los datos.

Textura.

Se realizó un ensayo para determinar la eficiencia de la destrucción de la materia orgánica y los óxidos de hierro en el análisis de la textura de los suelos derivados de cenizas volcánicas. En la tabla 4, se presenta el análisis químico de las unidades de suelos estudiadas.

Se tomó como testigo el método Bouyoucos y se le introdujeron como variantes el uso del peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y carbonato ácido de sodio más nitrato de sodio, en diferentes concentraciones. El uso de hipoclorito de sodio en concentracio-

TABLA 4.- ANALISIS QUIMICO DE LAS UNIDADES DE SUELOS ESTUDIADAS. CENICAFE (1973-1974).

Unidad de suelo		M.O. %	Mn ppm	Fe ppm	pH	Al me/100 g	SiO ₂	Alófana
Chinchiná (Caldas)	Suelo	8,3	3,4	157	4,7	0,91	44,9	Abundante
	Subsuelo	1,9	0,7	43	5,4	0,06	44,3	Muy abundante
Montenegro (Quindío)	Suelo	10,2	3,1	96	5,6	0,36	47,6	Abundante
	Subsuelo	0,7	1,8	77	5,9	0,06	54,4	Muy abundante
Quindío (Quindío)	Suelo	7,0	5,5	71	5,4	0,10	48,5	Abundante
	Subsuelo	1,0	3,8	79	6,0	0,07	56,2	Muy abundante
Malabar (Caldas y Risaralda)	Suelo	6,3	216	515	5,9	0,16	49,9	No se detecta
	Subsuelo	1,0	330	204	5,8	0,08	43,3	Baja
Fondesa (Valle del Cauca)	Suelo	7,5	17,7	241	5,6	0,09	44,6	Media
	Subsuelo	1,0	3,1	139	6,2	0,10	42,9	Abundante

nes menores del 25^o/_o (en volumen), aumentó significativamente la determinación de arcilla en las unidades de suelos Chinchiná, Quindío y Montenegro, que tienen abundante alófana. Para los suelos de las unidades Malabar y Fondesa, de bajo a no detectado contenido de alófana, el uso de peróxido de hidrógeno hasta el 30^o/_o incrementó la determinación de arcilla. En las otras unidades de suelos el efecto del uso del peróxido de hidrógeno fue detrimento.

El uso de 5 ml de carbonato ácido de sodio más 40 ml de citrato de sodio en la destrucción de óxidos de hierro, fue eficiente en los suelos y subsuelos en todas las unidades al aumentar la determinación de arcilla en comparación con el método inicial.

En otro experimento, para conocer la magnitud del fenómeno de histéresis y su influencia en el análisis de textura (Bouyoucos) se tomaron muestras de suelos y subsuelos a humedad de campo, de 5 unidades de suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera; se realizaron análisis de textura a los suelos más frescos (recién tomada la muestra), secados al ambiente y rehumedecidos.

Los resultados mostraron que los suelos y subsuelos frescos permitieron mayor dispersión (mayor porcentaje de arcilla), que los suelos rehumedecidos, y éstos mayor que la muestra seca. Las diferencias estuvieron relacionadas con los contenidos de alófana, siendo este contenido mayor en los suelos con mayor contenido de materia orgánica.

En otro estudio, se compararon diferentes dispersantes químicos con el fin de establecer los métodos más adecuados para la determinación de la textura de los suelos en forma más eficiente, en términos de porcentaje de arcilla.

Cuando se usaron 20 y 30 ml de silicato de sodio más oxalato de sodio y 20 y 30 ml de pirofosfato de sodio, se obtuvo mayor por-

centaje de arcilla en los suelos con referencia al método del laboratorio (10 ml de silicato de sodio más oxalato de sodio). La dispersión con metafosfato de sodio fue menor en todos los casos, de ahí, que se haya descartado su uso como dispersante. Con 30^o/_o de pirofosfato de sodio el porcentaje de arcilla determinada fue mayor en comparación con todas las variantes hechas al método del laboratorio, en los suelos de las unidades Chinchiná, Montenegro y Quindío.

Los subsuelos se dispersaron con HCl 2N, las unidades Chinchiná y Montenegro tuvieron una dispersión mayor que la obtenida con las demás variantes introducidas anteriormente al método del laboratorio (rehumedecimiento por 24 horas, suelo fresco a humedad de campo, destrucción de agregados de hierro y materia orgánica, diferentes dispersantes químicos).

En el subsuelo de la unidad Quindío la dispersión obtenida con HCl fue superior a la obtenida con las demás variantes hechas en el método del laboratorio, excepto cuando se usó suelo fresco, caso en el cual la dispersión fue igual.

Este tratamiento se hizo filtrando el suelo con ayuda de succión, lo más rápidamente posible. Cuando se dejó el suelo un mayor tiempo en contacto con el HCl, disminuyó la dispersión y el porcentaje de arcilla.

En estos mismos tratamientos, en los subsuelos de las unidades Malabar y Fondesa, se presentó el fenómeno de coagulación dificultando totalmente la dispersión y el análisis granulométrico.

Para el análisis de textura se recomienda el uso de 30 ml de pirofosfato de sodio al 8^o/_o para 25 gramos de suelo seco y fresco a humedad de campo y subsuelos a humedad de campo de todas las unidades estudiadas.

Para los subsuelos con abundante contenido de alófana y secos, se recomiendan 250 ml

de HCl 2N. Para los subsuelos con alto contenido de óxidos de hierro y secos, se requiere su destrucción con carbonato ácido de sodio más citrato de sodio.

Metodologías actuales.

Actualmente en Cenicafé, para las determinaciones de pH, N, P, K, Na, Ca, Mg, CIC, Fe, Mn, Zn, Cu, Al, nitratos, materia orgánica y textura, se utilizaron los siguientes métodos:

- **pH:** Potenciómetro, suelo con agua 1:1, equipo Metrohm E-527 con electrodo combinado.

- **N total:** Kjeldahl, utilizando sulfato de cobre como catalizador.

- **Fósforo:** Método Bray I, Bray II y Cenicafé.

- **Extracción de bases y CIC:** Se hace la extracción a 5 gramos de suelo con 100 ml de acetato de amonio 1N y neutro y en este extracto se determinan K, Ca, Mg y Na.

- **Determinación de K:** A 49 ml de extracto se adiciona 1 ml de solución al 50% de Na. Esta solución se lee, en me/100 g de suelo, por espectrofotometría de absorción atómica (E.A.A.).

- **Determinación de Ca y Mg:** Sobre 2 ml del extracto y 2 ml de solución de óxido de lantano al 10% se agregan 96 ml de agua, se hacen las determinaciones correspondientes, leyendo directamente en me/100 g de suelo.

- **Determinación de Na:** A 49 ml del extracto se le adiciona 1 ml de solución al 50% de K. Esta solución se lee, en me/100 g de suelo, por espectrofotometría directamente.

- **Determinación de CIC:** El residuo del extracto para bases se lava con 100 ml de al-

cohol al 70%, se eluye con 100 ml de solución de cloruro de sodio 1N. El amonio desplazado que aparece en esta solución se determina por el método de Nessler colorimétricamente, en el espectrofotómetro a 410 nm.

- **Determinación de Fe, Mn, Zn y Cu:** Se hace un extracto con solución de E. D. T. A. 0,01 M en acetato de amonio 1N. Sobre este extracto se lee por E.A.A. directamente el ppm, en el suelo.

- **Determinación de Al:** Por el método Yuan, utilizando un extracto de suelo con KCl durante 5 minutos. Alternativamente se utiliza la determinación por E.A.A. con llama acetileno-óxido nítrico.

- **Determinación de nitratos:** Sobre un extracto de suelos con H₂SO₄ 0,1N, durante 2 minutos, se determinan los nitratos colorimétricamente con ácido fenoldisulfónico a 410 nm.

- **Determinación de materia orgánica:** Se hace por el método de Walkley-Black, con dicromato de K.

- **Análisis granulométrico:** Se determina por el método de Bouyoucos, utilizando como dispersante pirofosfato de sodio. En algunos casos de floculación se recurre a otros dispersantes (ácido clorhídrico, ditionito de sodio) para obtener así una buena dispersión. Se obtienen los porcentajes de arena, limo y arcilla para la clasificación de textura.