

**// Evaluación de la fertilidad de un ultisol del trópico húmedo
en la cuenca del Rio Tuis, Turrialba, aplicada a café y caña de azúcar**

Jorge Núñez Solís

Humberto Rodríguez Fuentes .

Roberto Díaz-Romeu

La publicación de este material ha sido financiada con fondos de la Fundación W. K. Kellogg, como parte del Proyecto de Capacitación Agropecuaria en el Istmo Centroamericano.



CONTENIDO

	<u>Página</u>
Resumen.	i
Prólogo.	ii
Indice de Cuadros.	iv
Indice de Figuras.	v
Indice de Apéndice	vi
LA CUENCA DEL RIO TUIS (Características de los suelos ácidos y de los cultivos)	1
EL AREA DE ESTUDIO (Geografía y Características Generales) . . .	14
METODOLOGIA Y RESULTADOS	21
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFIA	37
APENDICES.	45

RESUMEN

La evaluación de fertilidad de suelos requiere combinar los análisis hechos en laboratorio e invernadero con los experimentos de campo. Para cultivos específicos estos programas se desarrollan a mediano y largo plazos.

Este documento presenta la evaluación preliminar de la fertilidad de un suelo clasificado como Andeptic Tropohumult, de 1330 ha, situado en el trópico húmedo, cuenca del Río Tuis, Turrialba, Costa Rica.

Se establecen recomendaciones preliminares en fertilización para café y caña de azúcar, cultivos de importancia económica para los pequeños agricultores de la región y se sugieren algunas líneas de investigación.

SUMMARY

The evaluation of soil fertility requires the combined use of soil analysis, greenhouse and field experiments. Crop-specific evaluations usually requires medium and long term research programs.

This document evaluates the fertility of a soil classified as Andeptic Tropohumult in a 1330 ha study area located in Río Tuis watershed, Turrialba, Costa Rica, a humid tropical site.

Preliminary recommendations are presented for fertilization of coffee and sugar cane as important economic crops for the small farmers of the region. Some priority research topics are suggested.

PROLOGO

El presente documento contiene el estudio de los suelos de la cuenca del río tuis, en Turrialba, Costa Rica, para establecer recomendaciones técnicas de fertilización en suelos ácidos e infértiles para los cultivos de café y caña de azúcar, como una opción que permita al productor elevar su producción y obtener una mayor rentabilidad de su inversión económica y de su esfuerzo.

Se presentan en forma resumida las características de los suelos del trópico húmedo junto con los datos analíticos del suelo bajo estudio, que ha sido cartografiado, identificado y clasificado taxonómicamente.

Para encontrar la respuesta de los suelos a la aplicación de diferentes nutrimentos se realizaron pruebas biológicas en invernadero, con las cuales, previo análisis se estableció las recomendaciones de fertilización por cultivo. Es dese mencionar que la información básica presentada debe ser completada, con ensayos de campo, tanto por productores independientes, instituciones regionales de investigación, o por compañías productoras de fertilizantes que se interesen en ajustar las recomendaciones que se presentan.

Las modalidades de fertilización sugeridas en este documento no deben considerarse como óptimo en fertilización. Para llegar a este tipo de recomendaciones se requiere de cuatro a cinco años de investigación, con técnicas que incluyan el establecimiento de parcelas con diferentes fuentes y fertilizantes, la interpretación de la dinámica de nutrimentos en el ecosistema, el complemento de análisis foliar y el uso de modelos matemáticos que evalúen los parámetros económicos para determinar el tratamiento óptimo en función de un mejor beneficio económico.

Por lo anterior, los datos presentados deben interpretarse como una herramienta para preveer tendencias generales en la probable respuesta a las dosis de fertilizantes sugeridas. Por el momento, si se siguen las recomendaciones; los datos actuales generados por un suelo ácido, usualmente sometido a técnicas de fertilización rutinarias y no balanceadas, para cultivar café y caña de azúcar, indican que el potencial es grande para incrementar la producción en ambos cultivos; no obstante, cualquier cambio de ellas queda a criterio de los técnicos previo análisis de los datos encontrados.

El documento fue preparado en el CATIE por la Unidad de Análisis de Suelos del Departamento de Producción Vegetal. El responsable principal por CATIE fue el Ing. M.Sc. Roberto Díaz Romeu y por el Programa de Estudios de Posgrado, convenio CATIE-UCR los Ingenieros Jorge Núñez y Humberto Rodríguez.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Programa de Manejo de Cuencas, el cual ejecuta el Proyecto de Estudios de Suelos de la Cuenca del río Tuis, financiado por la Cooperación al Desarrollo de la Confederación Suiza, DDA; quienes hicieron posible la realización del trabajo, facilitando el aporte logístico de campo, transporte y personal de apoyo para la extracción de muestras. Así mismo, agradecen al proyecto de Capacitación Agropecuaria ejecutado por el Departamento de Posgrado y Capacitación, con la financiación de la Fundación W.K. Kellogg, que hizo posible la publicación y divulgación de los resultados encontrados en beneficio de los productores de la cuenca del río Tuis.

Proyecto Capacitación Agropecuaria
CATIE/W.K. KELLOGG

INDICE DE CUADROS

	<u>Página</u>
Cuadro Nº 1. Equilibrio entre los metales alcalinos y alcalino-térreos para un suelo localizado en La Suiza, Turrialba, según reporta Carvajal, F. (18).	9
Cuadro Nº 2. Registros de precipitación de la estación pluviográfica Nº 07344, La Suiza	17
Cuadro Nº 3. Características químicas de los perfiles Nº 27 y 35 por horizontes. Cuenca del Río Tuis, La Suiza.	20
Cuadro Nº 4. Métodos de análisis físicos y químicos de los suelos descritos.	22
Cuadro Nº 5. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 27, profundidad 4-97 cm	24
Cuadro Nº 6. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 35, profundidad 0-11 cm	26
Cuadro Nº 7. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 35, profundidad 11-124 cm	30
Cuadro Nº 8. Acidez extraíble, aluminio intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio en dos suelos del trópico húmedo clasificados como Andeptic Tropohumult.	29
Cuadro Nº 9. "Sorción" de fósforo en porcentaje, de dos suelos clasificados como Andeptic Tropohumult.	32

INDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura Nº 1. Cuenca hidrográfica del Río Tuis, Costa Rica. Localización.	15
Figura Nº 2. Distribución promedio anual de la lluvia, estación 07344, La Suiza.	18
Figura Nº 3. Tipo de vasos y recipientes utilizados en ensayos de invernadero.	23
Figura Nº 4. Curvas de "sorción" de dos suelos clasificados como Andeptic Tropohumult, La Suiza, Turrialba. .	33
Mapa Nº 1. Unidades de suelos en la vertiente Sur, cuenca del Río Tuis. Se incluye leyenda fisiográfica para todas las unidades de suelos. (anexo).	58

INDICE DE APENDICE

	<u>Página</u>
1. Descripción del perfil Nº 27.	46
2. Datos de laboratorio para taxonomía, perfil Nº 27	48
3. Fertilidad inicial y tratamientos en la prueba biológica del perfil 27, horizonte B _t	49
4. Descripción del perfil Nº 35.	50
5. Datos de laboratorio para taxonomía, perfil Nº 35	52
6. Fertilidad inicial y tratamientos en la prueba biológica del perfil 35, horizonte A _h	53
7. Fertilidad inicial y tratamientos en la prueba biológica del perfil 35, horizonte B _t	54
8. Equilibrios entre metales alcalinos y alcalino-térreos para los horizontes de los perfiles 27 y 35	55
9. Diagrama de la posición de horizontes. Uso predominante del suelo con arbustos de café. Perfil Nº 27	56
10. Diagrama de la posición de horizontes. Uso predominante del suelo con cafetos y caña de azúcar. Perfil Nº 35	57

LA CUENCA DEL RIO TUIS

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS ACIDOS Y DE LOS CULTIVOS

Suelos ácidos e infértiles.

Una característica notable en muchos de los suelos situados en el trópico húmedo corresponde a sus propiedades químicas, siendo en general ácidos, infértiles, pobres en bases cambiables como calcio, magnesio, potasio y sodio y con una alta saturación de aluminio (55, 58).

En los trópicos húmedos, sujetos a una alta pluviosidad, es común la lixiviación de los elementos alcalinos y alcalino-térreos presentes en el complejo de intercambio coloidal generándose así una baja saturación de los mismos, asociado a valores de pH genéricamente definidos como muy ácidos a fuertemente ácidos y cuantitativamente situados en ámbitos que van de 4,3 a 5,6 de pH en agua (6, 29).

Con saturaciones de aluminio intercambiable en el sistema coloidal, usualmente mayores a 60%, se incrementa en la solución de suelo el aluminio soluble. Esto es causa de toxicidad en cultivos no tolerantes como el Kudzú (Pueraria phaseoloides) y algunas variedades de sorgo (Sorghum bicolor), maíz (Zea mays), soya (Glicine max), pimienta (Piper nigrum), entre muchos otros. (2, 3, 43, 48, 62).

Se considera que un 22% de suelos en América Tropical corresponden al orden ultisol, en su mayoría bajo regímenes de temperatura isohipertérmica, con una temperatura media anual mayor de 22°C en el suelo. Muchos de estos ultisoles se encuentran bajo condiciones de trópico húmedo, con regímenes de humedad del suelo údico, perúdic y ácuico, en zonas de vida clasi-

ficadas como bosque húmedo Tropical, bh-T (47, 59).

En estos suelos predomina en general una buena condición física y presentan, usualmente, una estructura granular en el horizonte A y buenas condiciones de desarrollo estructural en el horizonte B. Tienen además una porosidad y friabilidad adecuadas, con pocos problemas de compactación en la capa arable y ausencia de capas endurecidas en el subsuelo. Esto favorece el drenaje interno, la adecuada infiltración y la conductividad hidráulica que permiten un buen desarrollo radicular de los cultivos.

Las propiedades adversas corresponden particularmente a la baja capacidad de retener humedad, irrelevante en el trópico húmedo sujeto a altas precipitaciones pluviales medias por año y con una distribución discretamente uniforme. En las áreas de pendientes fuertes existen para estos suelos altos riesgos por erosión tanto por la erodabilidad del suelo como por la erosividad de la lluvia caracterizada por su intensidad, distribución y frecuencia (20, 44).

Las limitantes principales en cuanto a propiedades químicas, corresponden a una baja capacidad de intercambio efectiva (CICE) usualmente menor de $4 \text{ meq } 100^{-1} \text{ g}$ de suelo asociada con moderadas a severas deficiencias en calcio, magnesio y potasio. En estas condiciones es usual una alta saturación de aluminio intercambiable, un pH fuertemente ácido y problemas de toxicidad a causa del aluminio y el manganeso. Hay también baja disponibilidad de azufre, zinc, boro, cobre, hierro y fósforo. Adicionalmente, el fósforo aplicado vía fertilizante está sujeto a ser fijado o fuertemente retenido por la presencia de coloides amorfos, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, por lo que no para las plantas (1, 8, 29, 55, 58).

Aluminio intercambiable y toxicidad

Con ámbitos usuales de acidez fluctuando alrededor de ± 5 , el aluminio, elemento anfotérico, se presenta como un catión hidratado ($\text{Al}^{+3} \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$), móvil y soluble, llamado aluminio catiónico. Debido a la presencia en estos suelos de apreciables cantidades de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio cristalinos y amorfos (caolinita, haloisita, además de aluminio-silicatos amorfos de gran superficie hidroxilada), hay fuerte tendencia a retener

el aluminio en la superficie coloidal, constituyéndose en el catión dominante en el complejo de intercambio. Este aluminio puede ser acomplexado por sustancias orgánicas en suelos con alto contenido de materia orgánica. Así son frecuentes menores porcentajes de saturación con aluminio en los horizontes A.

Por encima del pH 5 la movilidad del aluminio queda limitada ya que precipita como aluminio en forma de hidróxido $Al(OH)_3$, compuesto muy insoluble; o es fijado en forma de complejos polinucleares por los coloides minerales, no representando así peligro alguno para los cultivos (6, 19, 55, 56, 58).

En los ultisoles el pH oscila alrededor de 5 y las saturaciones con aluminio intercambiable superan el 60% lo que produce una serie de daños por toxicidad en cultivos susceptibles, que limita la producción. Los síntomas son variados. En cultivos susceptibles el crecimiento radicular es restringido, puede ocurrir necrosis de los tejidos e interrupción total de elongación radicular. Tal el caso de la pimienta en que la toxicidad produce clorosis de hojas, necrosis de venas, defoliación y reducción del sistema radicular (8, 30, 48, 52).

En general el efecto de toxicidad promueve una disminución de la absorción de fósforo y calcio, con disminución del crecimiento. La evidencia de toxicidad se enmascara con una sintomatología similar a la deficiencia de fósforo y la planta presenta moteos púrpura en tallos, hojas y venas, clorosis y muerte de las hojas y menor crecimiento (15, 29, 30, 48). Al restringirse el crecimiento radicular disminuye la capacidad de absorción de agua y nutrimentos. La clorosis de las hojas, en el caso de la soya, es atribuida a deficiencias inducidas de calcio por el aluminio soluble (8, 30, 48, 52).

Muchos cultivos son tolerantes y resistentes a la toxicidad por aluminio. Tal tolerancia encontrada en cultivos como trigo, avena, maíz, maní, café y algunos cultivares de caña la explican en función de una hipotética habilidad de las variedades de absorber y utilizar el fósforo en la presencia de un exceso de aluminio. Otra explicación a la tolerancia establecida por Foy (29; 31) se asocia con la habilidad de plantas tolerantes de resistir la deficiencia de calcio inducida por el aluminio. En cultivos con alta tolerancia, como café y té, se establece la hipótesis de que las plantas

tienen mecanismos internos bioquímicos que quelatan y desintoxican a la planta con el aluminio absorbido (17, 29, 31).

Encalado de suelos ácidos

El encalado de suelos ácidos ha sido una estrategia usual en ultisoles del trópico húmedo como medio que permite incrementar la disponibilidad de nutrimentos, eliminar los problemas de fijación de fosfatos y elevar el valor de pH (3, 52, 58).

Las tendencias actuales en este campo es aplicar tales enmiendas en forma cuidadosamente regulada, especialmente en suelos ácidos de los órdenes oxisol y ultisol, ya que usualmente su capacidad de intercambio catiónico efectiva es dependiente del pH y se observa en ellos efectos detrimentales en propiedades físicas y en disponibilidad de nutrimentos cuando son encalados hasta valores de pH cercanos a la neutralidad (5, 41, 58).

Se ha encontrado que la selección de dosis adecuadas de cal permite efectivamente una proliferación mayor del sistema radicular de las plantas y un incremento en producción. Las evidencias indican una mayor disponibilidad del fosfato aplicado como fertilizante y una mejor absorción del mismo por la planta siempre y cuando los índices de fósforo nativo no sean muy bajos (41, 52).

Complementariamente la acidez dependiente del pH se reduce marcadamente y el aluminio soluble e intercambiable es precipitado como hidróxido de aluminio. El calcio intercambiable, evidentemente, se incrementa en la solución de suelo (15, 40).

En efecto, Hourigan et al reporta que la aplicación de dosis de cal adecuadas en la capa arable incrementa la disponibilidad de calcio en el suelo y mejora la de fósforo elevándose el pH. Igual ocurre cuando se encala suelo y subsuelo, siempre que no se sobrepasen valores de pH de 6. Cuando esto ocurre y el pH llega a valores entre 6 y 7 se obtuvo una drástica reducción en producción (41).

Amarisiri y Olsen también reportan incrementos en producción de centeno y mijo cuando la aplicación de cal se reguló de tal manera que el pH se mantuvo alrededor de 5,3. Con dosis mayores de cal se sobrepasó el valor

de 6 en pH y hubo una disminución fuerte de producción (5).

También se ha reportado que la aplicación de cal disminuye la cantidad de fósforo soluble cuando el pH está entre 6 y 7 (5). La interpretación a esto radica en que usualmente se espera que, al encalar, la hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio incrementan la concentración de fósforo en el suelo, pero esto no es cierto en suelos con bajo fósforo nativo (5).

Respecto a los otros cationes intercambiables, la aplicación de carbonato de calcio, según reporta Helyar (40) aumenta el calcio intercambiable y disminuyen la saturación de aluminio y manganeso, pero tienen poco efecto sobre las concentraciones de otros cationes como el magnesio y el potasio. Sin embargo, en algunos suelos sí tuvo efecto en las concentraciones de sulfatos, las cuales aumentaron, mientras que las concentraciones de fósforo y nitratos disminuyeron.

Otro efecto beneficioso del encalado es mejorar la condición ambiental para las bacterias fijadoras de nitrógeno. Franco y Day (32) determinaron que el encalado a pH ⁺6 produjo los mejores efectos sobre crecimiento de plantas fijadoras de nitrógeno y una abundante nodulación en el sistema radicular.

El efecto residual en la aplicación de cal es un factor importante. Al respecto Friesen et al en investigaciones realizadas con un suelo clasificado como Paleudult (ultisol) en los que rotaron maíz y "cowpea" (Vigna sp) obtenían al cabo de 5 años una producción sostenida cuando aplicaron al suelo 2 ton ha⁻¹ de calcio (34). Tasas de 0,5 ton ha⁻¹ de calcio aplicadas al suelo solo mantenían una producción sostenida durante dos años.

Freitas y Van Raij (33) obtuvieron efecto residual del encalado al cabo de 6 años, con un efecto positivo en la producción de maíz, soja, algodón y maní, pero usaron dosis excesivas (10 ton ha⁻¹ de cal), lo que evidentemente tiene un efecto inicial de sobreencalado perjudicial en suelos cuya capacidad de intercambio catiónico efectiva es dependiente del pH y produce efectos detrimentales en algunas propiedades químicas al inducir deficiencias de P, Mn, Zn y Mo. (58).

De lo anterior debe tenerse presente que la aplicación racional de cal es aquella hecha con el objetivo de bajar los índices de saturación de aluminio a valores razonables, aumentar la disponibilidad de calcio en el complejo de intercambio, especialmente en suelos bajos en este nutrimento

y favorecer una mejor absorción de los nutrimentos aplicados vía fertilizante por parte del sistema radicular de los cultivos.

Aspectos edáficos del cultivo del café

Los suelos utilizados en el cultivo del cafeto presentan gran diversidad geológica en material parental. Pueden derivarse de basalto gneiss o arenisca como en Brasil, gneiss y granito como en Africa Occidental e India, de cenizas volcánicas como en Colombia y América Central o de rocas volcánicas como en Africa del Este y Hawaii (17, 28). Más importante es su condición física. Los suelos deben ser profundos, friables, de textura ligera y permeables. (16, 17, 28).

Las raíces del cafeto tiene alto requerimiento por oxígeno, lo que significa que las áreas mal drenadas y con texturas arcillosas presentan condiciones poco aptas para su cultivo. A la vez, suelos de texturas ligeras (arenosos), presentan baja capacidad de retención de humedad, lo que altera sustancialmente las estrategias de manejo del suelo, especialmente en áreas con un "verano" prolongado (35).

El cafeto prefiere suelos con un ámbito de pH de 5 a 6, aunque se pueden obtener buenos resultados en suelos más ácidos siempre y cuando posean buena condición física y suficiente disponibilidad de nutrimentos como calcio, magnesio y potasio (28, 50).

En general estos nutrimentos deben ser suministrados más frecuentemente en forma de fertilizantes cuando el nivel de pH es bajo (28). Según Valencia y Carrillo (64), cuando los suelos presentan valores de aluminio superiores a $1 \text{ meq } 100^{-1} \text{ ml}$ de suelo, se pueden presentar problemas nutricionales en el cafeto y sugieren el encalado.

Necesidades nutricionales y fertilizantes. Los requerimientos de fertilizantes para el cafeto son altos a pesar de que la cantidad de nutrimentos removidos por la cosecha son moderados, particularmente si la pulpa es reincorpora al campo. Se ha encontrado que cerca de 35 kg de N, 7 kg de P_2O_5 y 50 k de K_2O compensa lo extraído por una cosecha de 1000 kg de café oro. Como se requieren nutrimentos adicionales para el desarrollo vegetativo

parece razonable asumir que una hectárea sembrada con arbustos de café que tengan un rápido crecimiento y alta producción de grano, absorberá al menos 135 kg de N, 34 kg de P_2O_5 y 145 kg de K_2O .

La cantidad de nitrógeno que debe ser aplicado dependerá del contenido natural del suelo, la condición de los arbustos, el rendimiento esperado, etc. y puede variar de 120 a 240 kg por hectárea para cafetos bajo sombra. Se sugieren mayores aplicaciones para arbustos sin sombra según reporta Geus (35).

En los climas tropicales durante la estación lluviosa los requerimientos de nitrógeno son más altos, no solo cuando la cereza está desarrollándose, sino también cuando se están formando nuevos brotes de hojas y ocurre mayor elongación de las ramas plagiotrópicas.

En Africa Occidental, Busch (16) llegó a la conclusión que para un adecuado crecimiento de las plantas de café el fertilizante debe ser aplicado en dos diferentes períodos: (1) Al inicio de la época lluviosa la mitad del nitrógeno y potasio y todo el fósforo, esto para promover el desarrollo de las hojas y el crecimiento de las ramitas. (2) Entre la última semana de agosto y la primera de setiembre recomienda este autor la aplicación del 50% de nitrógeno restante y de potasio, para promover el crecimiento de la cereza y aumentar el número de ramas florales.

En las plantas jóvenes de café se obtiene la mejor respuesta a la aplicación de fósforo. Una pequeña cantidad de fosfato fácilmente disponible en combinación con materia orgánica, aplicada en el hoyo de siembra es una recomendación usual dada esa respuesta. En estas plantas jóvenes una fertilización deficiente en fósforo causa un crecimiento radicular retardado e insuficiente formación de madera.

Los cafetos en producción rara vez muestran respuesta a la aplicación de fósforo, sin embargo debe tenerse presente que el fósforo es de particular importancia para una adecuada formación del fruto (35). Así, aunque el fósforo no muestra un efecto significativo sobre los rendimientos, existe una tendencia a aumentarlos cuando se aplica en combinación con el nitrógeno debido a la interacción positiva entre ambos nutrientes.

Para algunos suelos rojos y "lateríticos" de la parte Este de Turrialba y Jiménez las recomendaciones incluyen un alto contenido de potasio, alto de nitrógeno y una cantidad moderada de fósforo (50).

Se estima que el requerimiento de potasio es alto particularmente durante el desarrollo de la cereza, siendo el máximo en la etapa de madurez. En general la aplicación de potasio puede ser hecha de una sola vez al inicio de la época lluviosa, aunque es más frecuente dividir la aplicación en dos.

Dada la relación antagonica entre el potasio y el magnesio un exceso del primero puede inducir una deficiencia de magnesio (17, 18, 35).

Cuando se presentan deficiencias de magnesio en plantaciones y se corrigen con aplicaciones de magnesio al suelo, los síntomas de deficiencia tardan en desaparecer 12 a 18 meses. La manera más rápida de eliminar la deficiencia es con aspersiones a baja concentración de 1 a 2% de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

En micronutrientos los elementos más importantes en el cafeto son el zinc, boro, hierro y manganeso. En Costa Rica las deficiencias más serias de zinc se presentan en zonas de ladera. La deficiencia puede ser corregida con aspersiones de sulfato de zinc a razón de 1,8 kg de $ZnSO_4$ más 900 g $Ca(OH)_2$, en 100 galones de agua. La aplicación se hace dividida en dos partes, una al inicio de las lluvias y la otra a medio período de la estación lluviosa (17, 50).

La deficiencia de boro afecta seriamente la producción de café en la mayoría de plantaciones de la Meseta Central en Costa Rica. La deficiencia se controla con una o dos aspersiones de bórax a razón de 1,8 kg de ingrediente mezclado con 1-1,8 kg de hidróxido de calcio en 100 galones de agua.

Debido a que la floración y producción están limitadas por la sombra, los requerimientos en fertilizante son menores en cafetos bajo combinación agroforestal (café + laurel + poró) o en combinaciones café + poró (Erythrina poeppigiana), en especial por el aporte de nitrógeno del poró. Bajo cafeto sin sombra las demandas en nutrición mineral son extremadamente altas y el manejo debe ser más cuidadoso en cuanto a podas parciales y totales, aparte de que disminuye la vida productiva promedio de los arbustos de café (27, 64).

Carvajal (17, 18), indica que los estudios sobre época y frecuencia de aplicación de fertilizantes al cafeto realizados a nivel mundial muestran que "existe coincidencia en la opinión de los investigadores de subdividir el nivel de nitrógeno en tres aplicaciones por año y en dos la dosis de fósforo y potasio. Las dos primeras aplicaciones se hacen una al inicio

de la estación lluviosa y la otra aproximadamente dos meses después con fórmulas que contengan NPK y algún complemento con magnesio y boro si se juzga necesario. La tercera aplicación, solo con nitrógeno, se recomienda hacerla al final de la estación lluviosa."

Factores importantes en el cultivo del cafeto son los adecuados equilibrios entre los metales alcalinos y alcalino-térreos: Ca/Mg, (Ca + Mg)/K; Mg/K; Ca/K; $100 K / (Ca + Mg + K)$, para una nutrición balanceada, según refiere Carvajal (18).

Al respecto este autor encontró los siguientes equilibrios entre metales alcalinos y alcalinotérreos (Cuadro 1), para los suelos de La Suiza, cuenca del Río Tuis, clasificados en este documento como andeptic tropohumult.

Cuadro 1. Equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos para un suelo localizado en La Suiza, Turrialba, según reporta Carvajal (18).

Cociente entre metales alcalinos y alcalinotérreos.	Profundidad de la muestra de suelo	
	30 cm	60 cm
Ca/K	36,00	32,00
Mg/K	16,70	16,70
(Ca + Mg)/K	52,70	52,70
100 K/T (*)	0,44	0,39
Ca/Mg	2,16	1,92
<u>100 K</u>	1,90	2,00
(Ca + Mg + K).		

(*) Valores de capacidad de intercambio CIC.

Los valores de K extraídos para ambas profundidades de muestreo son $0,10 \text{ meq } 100^{-1} \text{ g}$ de suelo seco al aire, reporta Carvajal (18).

En su discusión este autor indica que "los suelos cafetaleros no volcánicos que responden a aplicaciones de potasio tienen un contenido de K de $0,21 \text{ meq } 100^{-1} \text{ g}$ de suelo en la capa arable, o menor".

En cuanto a los equilibrios investigados, el cociente $(Ca + Mg)/K$ no manifestó respuesta entre ámbitos de 2,2 a 23,5. Con cocientes superiores a 44 se espera respuesta a la fertilización potásica. En la relación Mg/K el ámbito de no respuesta encontrado fue de 1 a 8. Los suelos que respondieron presentaron ámbitos de 16,5 a 18,0. Un cociente con este valor indica un exceso de magnesio respecto al potasio en el suelo.

el cociente Ca/K reveló que "valores mayores a 26,6 indican desequilibrio en la relación Ca/K y por lo tanto es de esperar respuesta al potasio en estos suelos" (18).

Por último en la relación $100 K/(Ca + Mg + K)$ existe respuesta al potasio si la relación calculada es menor de 2,5.

Los equilibrios entre metales alcalinos y alcalinotérreos se presentan en este documento en el apéndice, Cuadro 6.a. Tales valores se calcularon en meq por 100 g de suelo seco al aire de acuerdo a la metodología anotada en el Cuadro 4 (18, 47).

Aspectos edáficos del cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar puede cultivarse con éxito en una gran variedad de suelos en cuanto a textura, aunque los suelos pesados son más adecuados que los ligeros (arenosos). Como suelos buenos se consideran típicamente los suelos francos a franco arcillosos, de origen aluvial y bien drenados. La compactación del suelo, especialmente de los arcillosos, reduce la eficiencia radicular. En Hawaii se ha observado una marcada reducción del desarrollo radicular cuando aumenta la densidad aparente. Tales suelos arcillosos pueden mejorarse mediante la incorporación de materia orgánica. En Sudáfrica los residuos de caña incorporados al suelo aumentaron la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados y potásicos (35).

En condiciones agroecológicas dos componentes son importantes: el clima y el suelo. Para las condiciones de La Suiza se reportan como limitantes del cultivo la condición físico-edáfica del suelo clasificado como regular por condiciones adversas en pendientes escarpadas a muy escarpadas, textura arcillosa y acidez. Las tres variables fueron confirmadas en este estudio y se ratifica tal clasificación establecida por Rojas y Eldin (53).

Estos autores también reportan un "índice climático de madurez" calificado como "malo" para las regiones de La Suiza y Turrialba. Este índice climático de madurez evalúa las condiciones de clima: temperatura, luz y humedad que de ser óptimas permiten el acúmulo de sacarosa en la caña de azúcar (53).

Necesidades nutricionales y fertilización. Para asegurar un rápido crecimiento la caña de azúcar se debe fertilizar en los primeros meses después de la siembra, cuando la planta alcanza 14 a 16 hojas, punto en el cual tiene su máxima tasa de producción en materia seca y azúcar. Cuando esta etapa de crecimiento activo se mantiene continua por un período de varios meses los rendimientos son mayores. Al aproximarse la cosecha el crecimiento vegetativo se hace lento y la reserva de nitrógeno en el suelo disminuye. La madurez óptima de la cosecha se asocia usualmente a pocas hojas fotosintéticamente activas: 15-7, tallos secos, reducción en la tasa de crecimiento vegetativo, deficiencia de nitrógeno y una relación sucrosa: azúcares reducidos de 15 o más, lo cual es favorecido por períodos de sequía (35).

El nitrógeno se considera esencial para obtener altos rendimientos en azúcar. Con incremento del nitrógeno la primera cosecha de caña aumenta rápidamente, aunque la tasa de aumentos disminuye gradualmente hasta llegar a un rendimiento estable. Cuando se produce exceso de aplicación en nitrógeno, ocurre una reducción de la calidad de la caña. Además existen variedades en las cuales cuando se alcanza el nivel óptimo una aplicación adicional no tiene efecto en mayor producción mientras que en otras variedades ocasiona una reducción del crecimiento (35, 36). Halais (36) reporta que en la etapa de madurez existen variedades que no muestran la caída usual en el contenido de sucrosa después de una alta aplicación de nitrógeno.

Según Pissot (51) en Asuan, Egipto, la cantidad óptima de nitrógeno de acuerdo a resultados experimentales es de 100, 180-200 y 210 kg.ha⁻¹ para el primero segundo y tercer corte respectivamente, aplicado en dos épocas.

Apacible (7) en las Filipinas, indica que el óptimo rendimiento puede ser obtenido con la aplicación de 90 a 140 kg de nitrógeno por hectárea para caña de primera siembra y soca respectivamente.

Samuels (57) en Puerto Rico encontró un requerimiento promedio de 1,5 kg de nitrógeno por tonelada de caña y 17 kilogramos de nitrógeno por tonelada de azúcar, basado en una producción óptima de 0.5 toneladas de azúcar por acre (0.4 ha) por mes o 270 kg de nitrógeno por hectárea para un rendimiento promedio de 90 ton ha⁻¹. Para caña de soca las aplicaciones de nitrógeno promediaron 300 kg por hectárea. En el área cañera de Tucumán, Argentina, los resultados experimentales indican que 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno es la dosis más redituable (9). Una buena respuesta al nitrógeno puede obtenerse si en el suelo hay suficiente fósforo y potasio, pero muchas áreas cañeras son deficientes en estos nutrimentos.

La aplicación de fósforo en suelos deficientes promueve el crecimiento radicular, estimula el macollamiento y tiene influencia en altura y grosor de la caña, con entrenudos más largos. Esto induce madurez temprana y algunas veces mejora la calidad de jugo. Pero aplicar altas dosis de fósforo al suelo puede inducir deficiencias de zinc. En suelos con alta capacidad de fijar fósforo la disponibilidad de P₂O₅ puede mejorarse con aplicación de superfosfato en combinación con residuos orgánicos. Una práctica aceptada es aplicar fósforo en el surco de siembra para siembra inicial y para soca. En Hawaii la fertilización con fósforo para siembra inicial se recomienda en dosis de 200-800 kg de P₂O₅ por hectárea si en el suelo hay un ámbito de 70-120 kg de fósforo disponible por hectárea. Para caña de soca recomiendan 100 a 400 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅.

La reducción del contenido de azúcar en caña por influencia de altas aplicaciones de nitrógeno lo agrava la deficiencia de potasio. Pero en suelos con un adecuado contenido de potasio no ocurren incrementos significativos al adicionar este nutrimento (63). Leverington et al (45), reportan que para las condiciones de Queensland la probabilidad de obtener respuesta es baja con contenidos de K₂O mayores a 0,2 meq 100 g suelo⁻¹. Cuando el valor es de 0,2 a 0,12 miliequivalentes la probabilidad de obtener respuesta será alta al adicionar 200 kg de potasio como K₂O por hectárea.

Cuando el potasio intercambiable es menor de 0,12 meq al rendimiento máximo se alcanza al aplicar al menor 280 kg de K₂O por hectárea.

Investigaciones hechas en Jamaica por Shaw indican que la caña cultivada en suelos arcillosos, profundos, caracterizados por mal drenaje interno, presentaron deficiencias de potasio a causa del estado físico del suelo,

que afectó la absorción del nutrimento, lo cual ha sido confirmado por otros investigadores (13, 36). Por ello es conveniente aplicar sistemas de manejo en caña que permitan preservar la estructura del suelo lo que estimula el desarrollo radicular, importante factor en la nutrición del cultivo.

En el caso del magnesio el HSPA (39) reporta que en suelos cuyo contenido en magnesio es de 50 o más ppm no hay respuesta a la aplicación del mismo. En general se puede decir que la aplicación de NPK se efectúa en dos épocas: en la primera, mitad de nitrógeno y de potasio con todo el fósforo (siembra). La segunda aplicación, cinco meses después de la siembra.

pH y necesidades de calcio. La caña de azúcar puede tolerar cierto ámbito de acidez y/o alcalinidad en el suelo y es posible obtener rendimientos adecuados en suelos cuyo pH oscila entre 5 y 8 o aún mayores. Pero a pH de 4.5 o menor la acidez se convierte en factor limitante y la caña de azúcar no produce adecuadamente aún con la mejor variedad. En áreas cañeras con suelos fuertemente ácidos es bien conocida la toxicidad por aluminio que restringe el crecimiento radicular. Los síntomas se presentan en la parte aérea en forma de severa deficiencia de fósforo, debido a que el aluminio es precipitado en forma de fosfatos de aluminio en la zona próxima a la raíz o en los elementos vasculares de los nudos interiores. La manera más aceptada de controlar la toxicidad de aluminio y disminuirla es mediante el encalado (35, 52, 62).

En Filipinas la aplicación de 4 toneladas métricas ha^{-1} de cal agrícola produjo altos rendimientos (7, 10). En suelos fuertemente ácidos, pH 4 a 4,4 han recomendado aplicaciones de hasta 8 toneladas métricas ha^{-1} y la aplicación se repite cada 3-4 años (10). Así obtienen rendimientos de hasta 100 ton ha^{-1} . Para este nutrimento el nivel crítico es de aproximadamente 400 kg por hectárea de calcio intercambiable a 30 cm de profundidad. Pero en suelos con valores de hasta 1000 kg ha^{-1} de calcio disponible se ha obtenido respuesta al encalado (35).

Los investigadores de HSPA en Hawaii (39), han reportado que el nivel crítico de calcio intercambiable del suelo es de 100 ppm para suelos de baja densidad aparente. En Guayana Británica la respuesta a la aplicación de cal es probable aún con valores de calcio intercambiable de 500 ppm.

Evans (26) mostró que la respuesta al encalado resulta al ocurrir un aumento en la disponibilidad de fósforo, mientras en otras áreas se debió a la reducción de los niveles tóxicos de hierro y aluminio en el complejo de intercambio.

Es recomendable hacer la aplicación de cal en forma separada del fertilizante y con suficiente anticipación a la siembra, para evitar interacciones desfavorables entre los dos, como indican Atienza y Demetrio (10).

Cuando la paja se quema antes de preparar el terreno, la cal debe distribuirse sobre la paja antes de quemarla e incorporarla después (7, 10). Pero su aplicación debe ser cuidadosamente regulada para evitar problemas de sobreencalado.

EL AREA DE ESTUDIO

Geografía y características generales

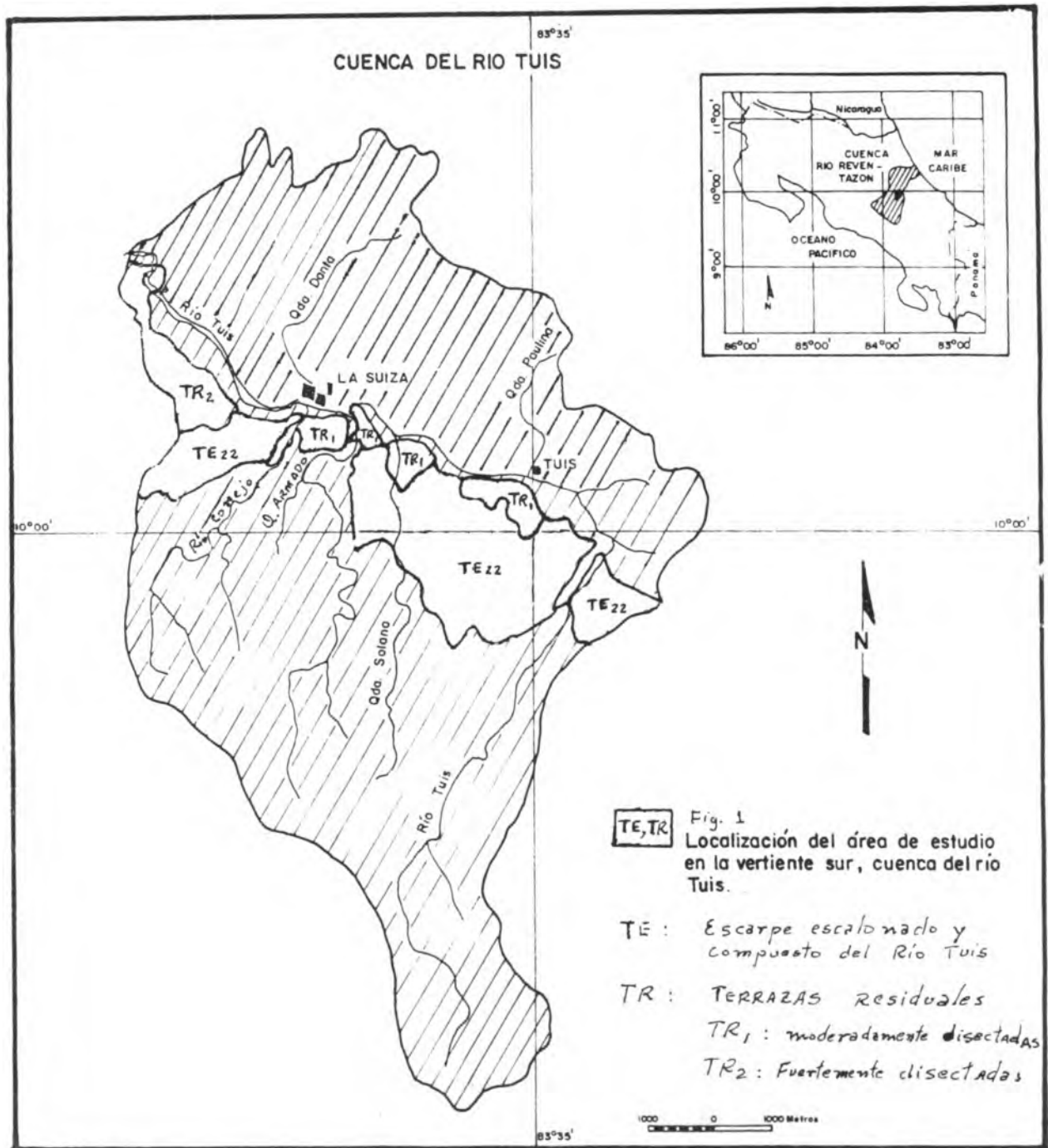
Las muestras de suelos proceden de la cuenca del Río Tuis, Distritos 2º y 7º respectivamente, llamados La Suiza y Tuis, el cantón 5º, Turrialba, en la provincia de Cartago (21).

Los perfiles muestreados se localizan geográficamente bajo las siguientes coordenadas: -Perfil 27, Consociación Silencio, en 9º 50' Latitud Norte y 83º 34' Longitud Oeste. -Perfil 25, Consociación Zamora, en 9º 51' Latitud Norte y 83º 37' Longitud Oeste.

El área total de suelos es de 1330 ha, que se localizan cartográficamente en los mapas base Tucurrique 3445 I y Pejibaye 3445 II, entre las coordenadas 576-585 y 200-205, Proyección Lambert, escala 1:5000 (Figura 1), (22, 23).

De acuerdo al sistema de Köppen (60) el clima de la región clasifica como Am, Tropical, caliente con una precipitación promedio de 2500 mm por año y una temperatura media anual mayor de 22 °C.

Bajo el sistema de Holdridge los suelos cartografiados quedan incluidos dentro de la zona de vida definida como bh-T, Bosque húmedo Tropical, según



reporta Núñez (47).

La estación meteorológica ubicada en la unidad de suelos llamada Consociación Zamora registra 2503,4 milímetros de lluvia anual promedio para 27 años de registro, según se indica en el Cuadro 2. La distribución de la lluvia sigue un patrón unimodal (Figura 2). El mes más seco, marzo, registra un promedio mensual de 51.1 milímetros para los 27 años de acúmulo de datos.

Ambas unidades de suelos se encuentran distribuidas en un ámbito de altitud sobre el nivel del mar que va desde los 602 a los 1100 metros.

Geología, fisiografía y clasificación taxonómica de los suelos

En ambas unidades de suelos el material parental proviene de la meteorización avanzada de rocas parentales que son definidas como "una brecha conglomerática volcanoclástica, fina a gruesa, con clastos de andesita y basalto incluidos en una matriz tobácea, de color café grisácea", fuertemente meteorizada (14).

La Consociación Silencio ocupa 1015 ha. Fisiográficamente está situada en el escarpe de falla escalonado y compuesto del Río Tuis. Presenta una topografía compleja donde hay combinaciones de pendientes simples y complejas que son quebradas, escarpadas y muy escarpadas. La distribución de esta unidad de suelos en el paisaje puede verse en el Mapa 1, incluido en el anexo.

La Consociación Zamora tiene un área de 315 hectáreas. Fisiográficamente está situada en las llamadas terrazas residuales del Plioceno-Pleistoceno. Estas terrazas presentan una disección que va de moderada a fuerte por la combinación de diferentes procesos erosivos que actúan en su superficie. Su topografía es quebrada presentando pendientes complejas, escarpadas y fuertemente escarpadas (Mapa 1).

Ambas unidades cartográficas se clasificaron taxonómicamente como Andeptic Tropohumult de familia medial, mixta e isohipertérmica (47). Esto es, los suelos corresponden al orden de los ultisoles que se caracterizan por presentar un fuerte incremento de arcilla en el B, con una saturación de bases inferior al 35% en la sección control, alto contenido de materia

Cuadro 2. Registros de precipitación de la Estación Pluviométrica ICE/IMN, número 07322*, La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Período 1956-1982.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual
1956	372.2	61.7	61.7	128.1	473.8	241.7	350.5	153.3	213.0	213.7	217.6	356.6	2843.9
1957	84.7	24.1	35.2	28.3	336.1	214.7	267.5	215.9	350.0	348.0	273.5	310.8	2488.8
1958	95.5	298.0	62.9	34.1	291.4	274.5	134.4	172.5	114.4	99.4	129.2	104.8	1811.1
1959	39.5	43.4	39.5	102.1	231.4	288.5	161.7	187.2	175.1	154.8	174.0	184.2	1781.4
1960	150.8	71.3	79.8	45.8	149.9	266.9	192.7	213.6	133.6	316.9	173.6	245.4	2040.3
1961	73.0	3.8	29.7	52.7	147.5	178.4	319.5	155.3	281.7	305.2	317.0	206.0	2269.8
1962	109.2	31.3	26.6	116.2	200.3	227.4	286.0	297.0	284.7	253.2	631.3	322.5	2885.1
1963	67.5	46.9	78.8	228.3	208.0	314.6	156.9	138.8	431.3	308.2	209.0	221.4	2409.7
1964	95.5	15.0	6.8	59.9	208.3	190.7	389.5	179.0	235.8	309.5	130.1	64.9	1885.0
1965	301.2	93.9	70.1	7.8	308.9	281.9	252.8	178.1	307.8	314.4	227.9	85.7	2430.5
1966	296.9	314.5	54.0	155.5	213.8	281.6	224.1	184.1	312.2	227.6	242.6	463.3	2970.2
1967	110.5	34.1	80.4	209.5	141.3	505.8	315.2	403.8	337.8	296.1	212.7	110.1	2757.3
1968	107.5	234.3	246.2	93.2	298.7	329.7	294.8	244.0	466.0	253.9	172.2	229.4	2969.9
1969	52.1	33.9	24.5	68.7	146.7	341.1	178.3	375.2	313.5	288.4	529.3	267.2	2618.9
1970	269.3	304.3	62.3	807.6	201.0	164.6	275.6	242.5	240.8	311.0	452.9	1029.8	4361.7
1971	162.3	30.9	75.8	134.4	102.3	309.6	421.7	278.4	210.6	447.2	52.2	75.5	2761.9
1972	190.9	126.9	22.1	134.6	201.5	233.8	67.2	282.2	308.9	237.2	231.2	257.9	2234.4
1973	121.6	57.6	5.6	25.9	286.4	340.7	186.2	259.7	175.3	288.1	361.4	488.7	2597.2
1974	185.0	74.6	23.4	82.5	316.2	359.2	243.4	156.6	224.5	180.3	195.4	360.0	2401.1
1975	90.1	24.6	24.5	24.3	71.8	205.1	340.5	322.6	528.2	365.3	393.9	435.4	2826.3
1976	196.4	53.2	9.7	116.9	213.5	430.0	502.2	165.4	282.5	119.8	329.5	195.3	2614.4
1977	67.5	28.7	38.2	30.1	157.4	530.3	242.5	395.9	195.5	254.4	138.5	31.2	2110.2
1978	30.0	224.2	79.9	34.2	280.7	237.0	309.2	130.6	233.7	214.6	190.0	123.1	2087.2
1979	22.4	30.0	13.9	327.8	156.9	233.9	153.3	308.9	241.7	231.1	166.7	184.5	2071.1
1980	102.2	142.4	9.3	84.5	330.6	285.6	139.1	199.9	443.1	183.5	281.1	516.5	2717.8
1981	109.1	138.8	59.0	199.0	336.2	400.0	264.0	271.3	198.0	270.7	514.3	138.1	2919.3
1982	43.0	28.5	70.2	25.0	194.3	257.1	402.4	181.0	305.4	409.2	153.1	60.8	2130.9
Promedio aritmético (mm)	131.3	95.2	51.1	124.4	226.9	300.9	261.9	233.1	279.4	271.2	262.9	261.8	2034.4

* Está ubicada en latitud 9° 51' Norte y longitud 83° 37' Oeste. Elevación 616 msnm.

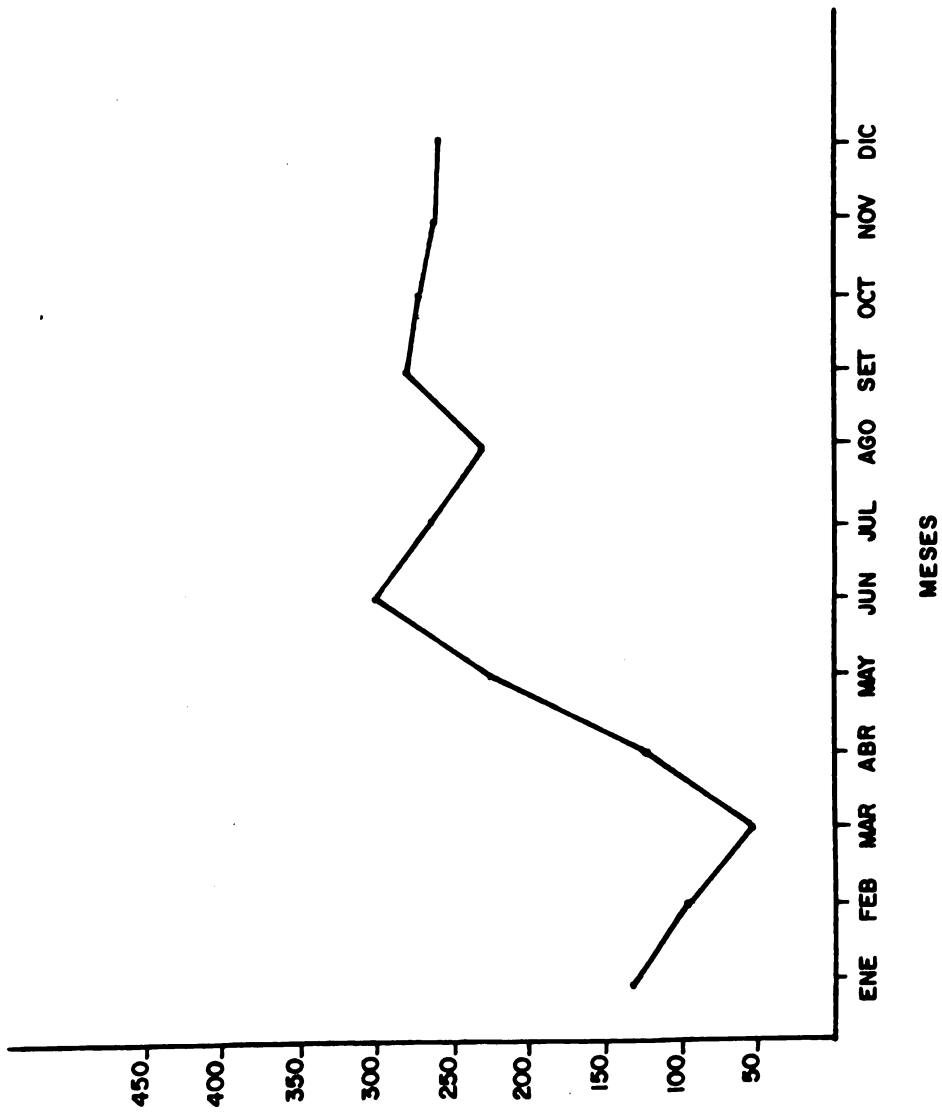


Fig. 2. DISTRIBUCION PROMEDIO ANUAL DE LA LLUVIA, ESTACION 07344, LA SUIZA.

orgánica (humus) en los primeros 15 cm de profundidad del horizonte diagnóstico argílico (mayor de 0.9% en carbón orgánico), situado en el trópico húmedo y caliente. El subgrupo es Andeptic por presentar influencia derivada de ceniza volcánica, presentando densidades aparentes entre 0,85 y 0,95 g cm⁻³ y respuesta positiva a la prueba del fluoruro de sodio a los dos minutos. Debido a tal condición la familia textural es medial, de mineralogía mezclada. El régimen de temperatura del suelo es mayor de 22 °C, con una variación estacional menor de 5°C entre invierno y verano, por lo que queda incluido dentro de la familia térmica definida como isohipertérmica (47).

Características generales de los suelos

Consociación Silencio (TE₂, perfil modal Nº 27). Los suelos en esta unidad cartográfica son profundos. Presentan huellas de acelerados procesos erosivos en forma de surcos, cárcavas y terracetas. Su desarrollo estructural en la capa arable y en el subsuelo va de moderado a fuerte. En el horizonte Ah su textura es franca, mientras que la del horizonte B_t es arcillosa. En general presentan buenas propiedades físicas. Son porosos, friables y tienen un buen drenaje interno. Tienen una baja humedad disponible para las plantas lo que no es problema si se considera la cantidad de lluvia anual que cae y su distribución (47).

En propiedades químicas es relevante su pH fuertemente ácido (5.0 a 5.4), la baja saturación de bases: calcio, magnesio y potasio y la alta saturación de aluminio intercambiable, el cual se incrementa con la profundidad, Cuadro 3. La descripción del perfil 27 que caracteriza esta unidad, se incluye en el apéndice. Los datos de laboratorio se incluyen en los Cuadros 1a y 2a del apéndice.

Consociación Zamora (TR₁ y TR₂, perfil modal Nº 35). Los suelos de esta unidad son profundos y muy profundos. Los procesos erosivos han actuado fuertemente disectando los suelos en forma moderada y severa, por lo cual se subdivide la unidad en dos, por grado de disección, así: TR₁ moderadamente disectada y TR₂, fuertemente disectada. Tienen moderado desarrollo

Cuadro 3. Características químicas de los perfiles Nº 27 y 35 por horizonte. Cuenca del Río Tuis, La Suiza, Turrialba.

Unidad cartográfica	Perfil Nº	Profundidad (cm)	PROPIEDADES QUÍMICAS					SATURACION	
			pH	Al ⁺³ Meq 100 ⁻¹ ml suelo	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	Bases*
Cons. Silencio	27	4-97	4.15	3.4	0.69	0.09	0.05	80.37	4.1
Cons. Zamora	35	0-11	4.15	4.3	0.89	0.36	0.19	74.91	3.97
Cons. Zamora	35	11-124	4.79	3.7	0.91	0.18	0.05	76.44	2.19

* Saturación de bases por suma de cationes, TEA, pH 8.2.

estructural en la capa arable y en el subsuelo. La textura es arcillosa en todo el perfil. Son porosos, friables, con buen drenaje interno y en general buenas propiedades físicas. En propiedades químicas presenta un pH fuertemente ácido (4.6-4.9), asociado a una baja saturación de bases y alta saturación de aluminio intercambiable, Cuadro 3. La descripción del perfil de esta unidad, perfil 35, se incluye en el apéndice. Los datos de laboratorio se presentan en los cuadros 3a, 4a y 5a del mismo apéndice.

METODOLOGIA Y RESULTADOS

Análisis de suelos (metodología general).

El muestreo de los suelos se hizo por horizontes en base a sus características morfológicas en el campo y a su grosor, dentro de cada perfil seleccionado como perfil modal de la unidad. Las muestras se secaron al aire y se tamizaron en una criba con abertura de 2 mm, de acuerdo a la metodología descrita por Díaz Romeu y Hunter (24). Los análisis físicos y químicos se realizaron de acuerdo a las metodologías presentadas en el Cuadro 4.

Ensayos de invernadero

Los ensayos de invernadero se llevaron a cabo de acuerdo a la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (24) en la Unidad de Análisis de Suelos del CATIE. Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con quince tratamientos y tres repeticiones. Se utilizaron vasos plásticos de 200 ml de capacidad en los cuales se colocaron 150 ml de suelo en los que se sembraron semillas de sorgo (Sorghum vulgare, Pers, variedad Sabana 5), dejando finalmente seis plantas por vaso. El riego de las plantas se hizo por capilaridad. La solución de irrigación contenía nitrato de amonio como fuente nitrogenada, excepto para el tratamiento sin nitrógeno y para

Cuadro 4. Métodos de análisis físicos y químicos de los suelos

Tipo de análisis	Metodología	Referencia
pH en Agua 1:2.5	Relación suelo-agua 1:2.4 Potenciómetro	Díaz-Romeu y Hunter (24)
pH en NaF 1:50	Potenciómetro, lecturas a 2 minutos	Fieldes y Perrot (*)
Materia orgánica	Digestión húmeda con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 (conc.) (Walkley & Black) ⁴	Saiz del Río y Borne- misza, E. (54)
P disponible, Cu, Fe, Mn y Zn	Olsen modificado, extraído con $0.5 N NaHCO_3$, $0.01 M EDTA$. Molibdato de amonio y cloruro estannoso. Lectura colorimé- trica a 660 nm.	Díaz-Romeu y Hunter (24)
Ca, Mg y K intercambiables	NH_4 OAC 1 N, pH 7. Lectura por absorción atómica.	Díaz-Romeu y Balerdi (25)
Ca y Mg intercambiables	KCl 1 N y lectura por absor- ción atómica.	Díaz-Romeu y Hunter (24)
K extraíble	Olsen modificado, lectura por absorción atómica.	Díaz-Romeu y Hunter (24)
Acidez y Al intercambiables	KCl 1 N, doble titulación con NaOH y NaF + HCL	Díaz-Romeu y Hunter (24) Mclean (46)
CIC	NH_4 Ac 1 N, pH 7. NaCl 10% Destilación	Díaz-Romeu y Balerdi (25)
Azufre	Fosfato monocálcico $CaH_4(PO_4)_2$. 500 ppm de P. Lectura turbidimétrica con $BaCl_2$	Díaz-Romeu y Hunter (24)
Fósforo (curvas de sorción).	Adición de diferentes niveles usando $K_2H_2PO_4$. El cálculo de sorción se hizo por la meto- dología establecida por Alva- rado (4)	Díaz-Romeu y Hunter (25) Alvarado, A. (4)
Textura	Método de Bouyoucos.	Hardy y Bazan (38)

* FIELDS M. Y PERROT K.W. The nature of allophane in soils. III Rapid field and laboratory test for allophane. New Zealand journal of Science 9(3): 623-629. 1966.

Fig.1.

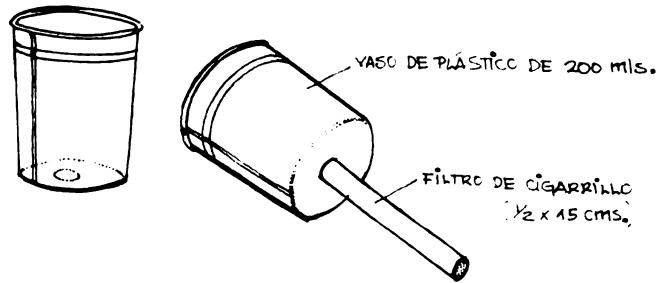


Fig.2.

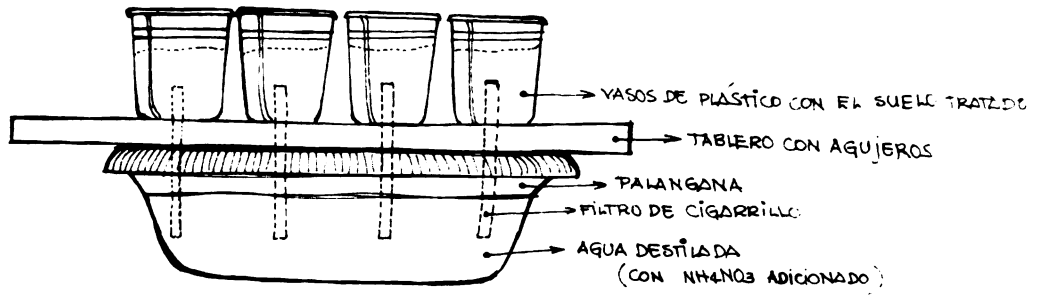


Fig.3.



A. MUFFIOLI

Figura 3. Tipo de vasos y recipientes utilizados en ensayos de invernadero.

Cuadro 5. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 27, profundidad 4-97 cm.

Tratamiento	Peso seco g vaso ⁻¹	Rendimiento relativo %	Respuesta probable a la adición del nutrimento*
-Fe	2.75	100	Baja o sin respuesta
-B	2.71	99	Baja o sin respuesta
Opt. + 3P	2.33	85	-----
-Zn	2.31	84	Baja o sin respuesta
-Mn	2.30	84	Baja o sin respuesta
Opt. + Cu	2.30	84	-----
-S	2.28	83	Baja o sin respuesta
-Mo	1.69	61	Media
Opt. -Cu	1.49	54	Media
-Mg	1.06	39	Alta
-P	0.63	23	Alta
-N	0.55	20	Muy alta
-K	0.47	17	Muy alta
-Ca	0.12	4	Muy alta
Testigo	0.05	2	-----

* La interpretación "respuesta probable a la adición del nutrimento" es parte de la metodología de la prueba biológica en invernadero. La extrapolación al campo debe hacerla el técnico en función del volumen de suelo explorado por la raíz del cultivo.

Es conveniente recordar que en café el 70% del complejo radicular absorbente está distribuido en los primeros 20 cm de profundidad (17.50) y que en caña de azúcar la máxima penetración radicular se distribuye así: 85% en los primeros 30 cm de suelo y 15% entre los 30-50 cm de profundidad (11).

En suelos friables, porosos, bien drenados, puede profundizar hasta los 65-75 cm de profundidad (10, 11).

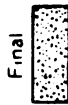
CRECEGRAMA

PROGRAMA DE FERTILIDAD DE SUELOS - CATIE - TURRIALBA, COSTA RICA

40

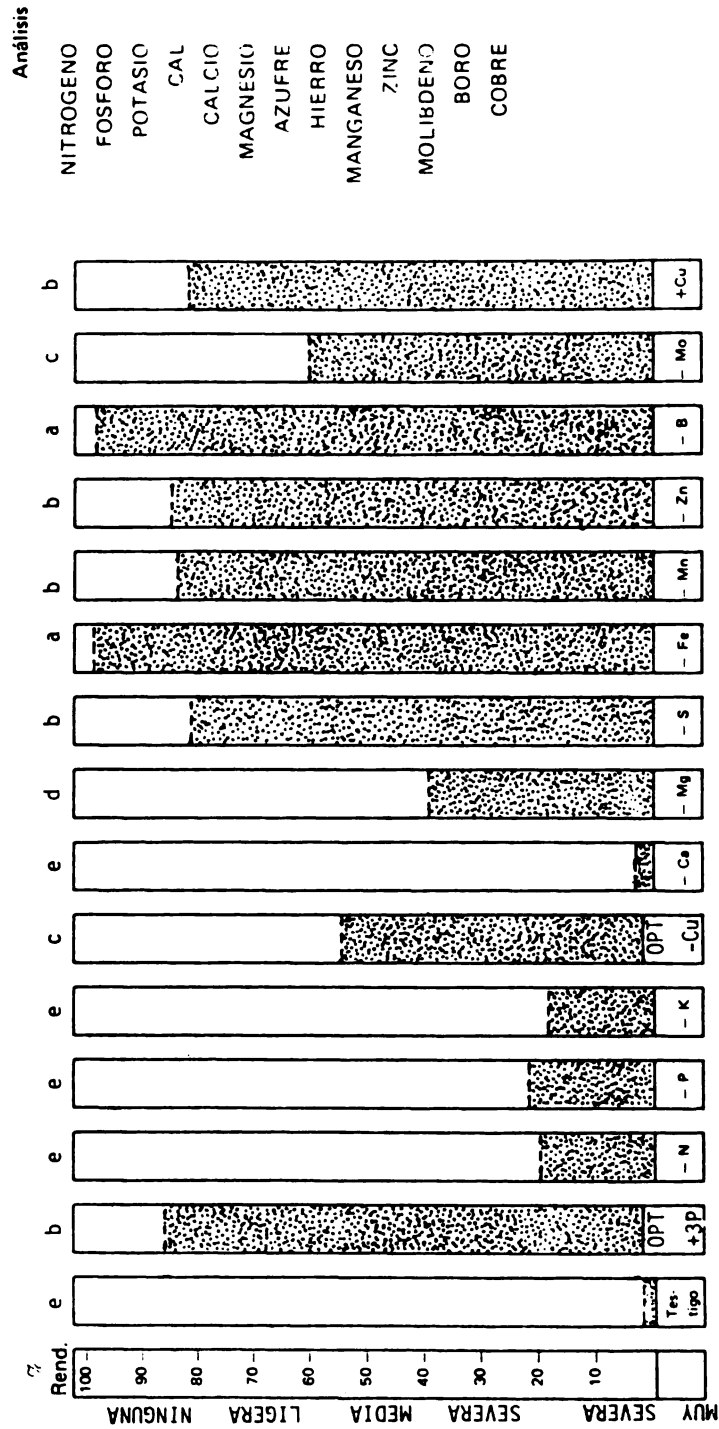
GRAFICO NO. 1.

Ubicación: 1100 metros al Sur de la confluencia Quebrada Marimba-Rfo Tuis.



días

Suelo: ANDEPTIC TROPOHUMULT, PERFIL 27, HORIZONTE B_t, CODIGO 27-2
 Clima: BOSQUE HUMEDO TROPICAL, REGIMEN DEL SUELO UDICO.



Comentarios: MEDIAS CON LA MISMA LETRA NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES AL 5% SEGUN LA PRUEBA DE DUNCAN.

PESO SECO EN GRAMOS. CV = 21,3 %

Cuadro 6. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 35, profundidad 0-11 cm.

tratamiento	Peso seco g vaso ⁻¹	Rendimiento relativo %	Respuesta probable a la ad <u>ic</u> ción del nutrimento*
-Fe	2.47	60	Media
-B	2.40	57	Media
Opt. + 3P	4.09	100	-----
-Zn	2.42	58	Media
+Mn	2.89	70	Ligera
Opt. + Cu	2.26	56	-----
-S	1.99	49	Media
-Mo	2.32	56	Media
Opt. -Cu	2.51	60	Media
-Mg	2.45	59	Media
-P	0.71	18	Muy alta
-N	1.14	28	Alta
-K	2.06	50	media
-Ca	0.23	5	Muy alta
Testigo	0.21	5	-----

* La interpretación de "respuesta probable a adición del nutrimento" es parte de la metodología de la prueba biológica en invernadero. La extrapolación al campo debe hacerla el técnico en función del volumen de suelo explorado por la raíz del cultivo.

Es conveniente recordar que en café el 70% del complejo radicular absorbente está distribuido en los primeros 20 cm de profundidad (17.50) y que en caña de azúcar la máxima penetración radicular se distribuye así: 85% en los primeros 30 cm de suelo y 15% entre los 30-50 cm de profundidad (11).

En suelos friables, porosos, bien drenados, puede profundizar hasta los 65-75 cm de profundidad (10-11).

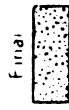
CRECEGRAMA

PROGRAMA DE FERTILIDAD DE SUELOS - CATIE - TURRIALBA, COSTA RICA

41

GRAFICO NO. 2.

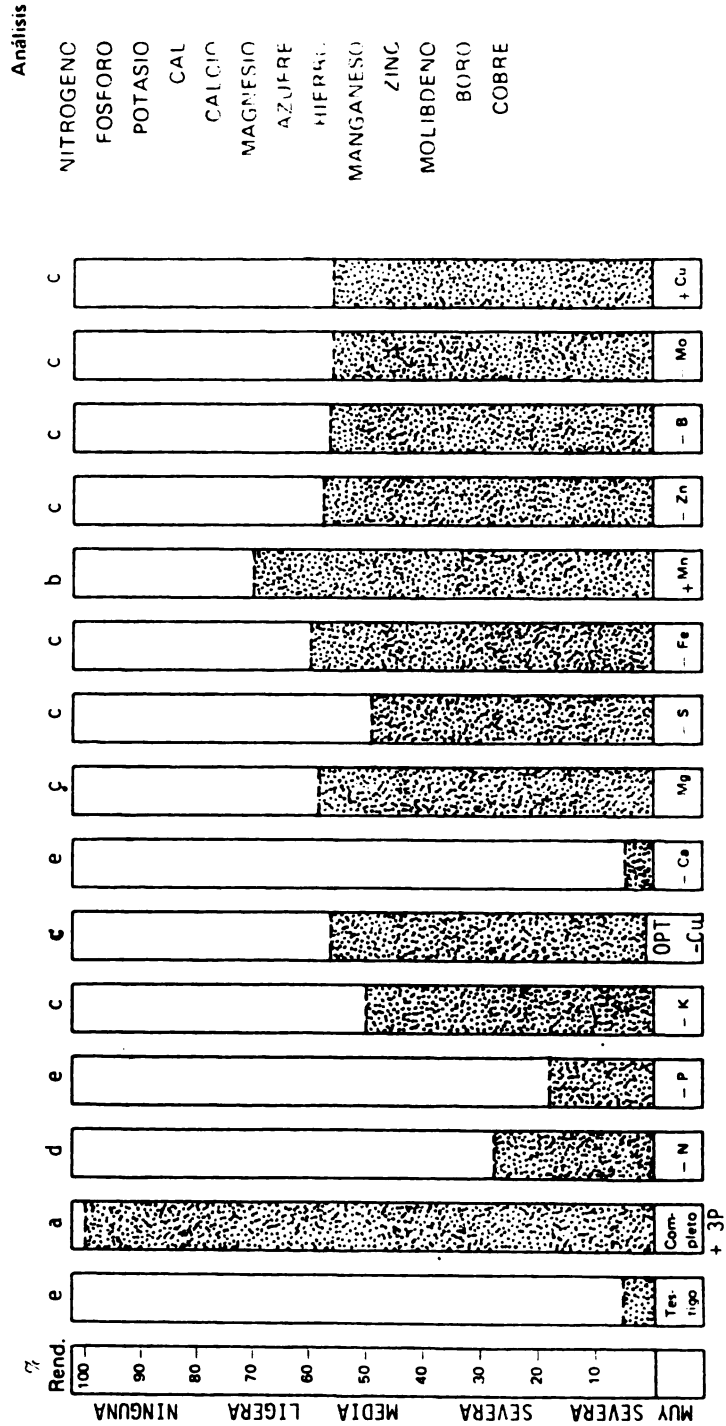
Ubicación: 450 metros al suroeste de la plaza de futbol, La Suiza.



días

Suelo: ANDEPTIC TROPOHUMULT, PERFIL 35, HORIZONTE Ah, CODIGO 35-1

Clima: BOSQUE HUMEDO TROPICAL, REGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO UDICO.



MEDIAS CON LA MISMA LETRA NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES AL 5 % SEGUN LA PRUEBA DE DUNCAN.

PESO SECO EN GRAMOS.

Comentarios:

el testigo.

Los vasos se colocaron sobre una base de madera perforada, encima de una bandeja que contenía la solución de irrigación, Figura 3.

Las plantas se cosecharon a las cuatro semanas. Se secaron en un horno con aire forzado a 70°C durante 72 horas, se pesaron posteriormente para obtener el rendimiento en materia seca, en gramos, por tratamiento. Finalmente se obtuvo el rendimiento relativo para cada uno de los tratamientos.

Análisis e interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos por tratamiento para el horizonte Bt (4-97 cm) del perfil 27 se presentan en el Cuadro 5, y en la Gráfica Nº 1. Los obtenidos para los horizontes Ah (0-11 cm) y Bt (11-124 cm) del perfil 35 se presentan en los Cuadros 6 y 7 en las gráficas 2 y 3 respectivamente.

En el perfil 27, horizonte Bt, se observa que el suelo responde a la aplicación del calcio, potasio, nitrógeno, fósforo y magnesio, tratamientos en los cuales se encontró un rendimiento relativo por debajo del 40% respecto al óptimo, lo cual confirma la interpretación inicial de los resultados analíticos, Cuadro 2a del apéndice.

en los tratamientos -B, -Zn, -Mn, -Fe y -S, los resultados muestran que las cantidades de estos nutrimentos presentes en el suelo analizado son adecuadas, Cuadro 5, Gráfico 1.

En general los análisis de suelos mostraron un alto contenido de cobre, sin embargo la respuesta a la adición de cobre fue significativa, probablemente porque el cobre se encuentra en estos suelos en una condición no asimilable para las plantas.

De los resultados obtenidos por tratamiento para el perfil 35, horizonte Ah, se observa respuesta a la aplicación de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. El rendimiento relativo estuvo por debajo de 50% respecto al óptimo. En los tratamientos indicados como -Fe, -Zn, -Mn, -B, -Mo y -Cu se encontró respuesta a la adición del nutrimento, Cuadro 6, Gráfico 2.

En el horizonte Bt del mismo perfil se observa respuesta a la aplicación de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. No hubo respuesta

en los tratamientos con micronutrientes ni con azufre, Cuadro 7. Gráfico 3.

El estado inicial de la fertilidad de los horizontes Bt, perfil 27 y Ah y Bt perfil 35 se presenta en los cuadros 2a, 4a y 5a respectivamente, en los cuales se incluyen las relaciones calcio/magnesio y magnesio/potasio. Es de interés observar que los contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo son muy bajos, mientras que el contenido en azufre es adecuado, incluidos también los micronutrientes B, Zn, Mn y Fe. Para el caso del cobre el contenido se considera excesivamente alto. Los tenores de materia orgánica son altos e igualmente el aluminio intercambiable.

Los valores de acidez extraíble, aluminio intercambiable y porcentaje de saturación con aluminio en el complejo de intercambio, para ambos suelos, queda incluido en el Cuadro Nº 8.

Cuadro 8. Acidez extraíble, aluminio intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio en dos suelos clasificados como Andeptic tropohumult, La Suiza, Turrialba.

Localización	perfil Nº	Hte.	Prof. (cm)	Acidez ext. (*)	Al ⁺³ interc(*)	Saturac. Aluminio (%)
Tuis	27	B _t	4-97	4.6	3.4	80.37
La Suiza	35	A _h	0-11	5.8	4.3	74.91
La Suiza	35	B _t	11-124	4.8	3.7	76.44

(*) Miliequivalentes 100⁻¹ ml.

Se enfatizan aquí los altos contenidos de aluminio intercambiable presentes en estos suelos y el hecho de que a pesar de tener el horizonte A_h, perfil 35, un alto contenido de materia orgánica, esta no es suficiente para formar complejos orgánicos con el aluminio y disminuir su saturación en porcentaje. Estos índices de saturación con aluminio pueden producir fácilmente problemas de toxicidad a cultivos susceptibles o interferir en los procesos normales de absorción de los sistemas radiculares de los cultivos, creándose en ellos problemas nutricionales.

Cuadro 7. Rendimiento de materia seca en gramos y rendimiento relativo para el suelo del perfil 35, profundidad 11-124 cm.*

Tratamiento	Peso seco ₁ g vaso ⁻¹	Rendimiento relativo %	Respuesta probable a la adición del nutrimento*
-Fe	2.87	76	Ligera
-B	2.83	75	Ligera
Opt. + 3P	3.82	100	-----
-Zn	2.38	62	Ligera
-Mn	2.93	77	Ligera
Opt. + Cu	2.60	70	-----
-S	2.90	76	Ligera
-Mo	2.84	75	Ligera
Opt. -Cu	3.00	79	Ligera
-Mg	2.34	59	Ligera
-P	0.85	22	Muy alta
-N	0.65	18	Muy alta
-K	0.65	19	Muy alta
-Ca	0.36	10	Muy alta
Testigo	0.16	5	-----

* La interpretación "respuesta probable a adición del nutrimento" es parte de la metodología de la prueba biológica en invernadero. La extrapolación al campo debe hacerla el técnico en función del volumen de suelo explorado por la raíz del cultivo.

Es conveniente recordar que en café el 70% del complejo radicular absorbente está distribuido en los primeros 20 cm de profundidad (17.50) y que en caña de azúcar la máxima penetración radicular se distribuye así: 85% en los primeros 30 cm de suelo y 15% entre los 30-50 cm de profundidad (11).

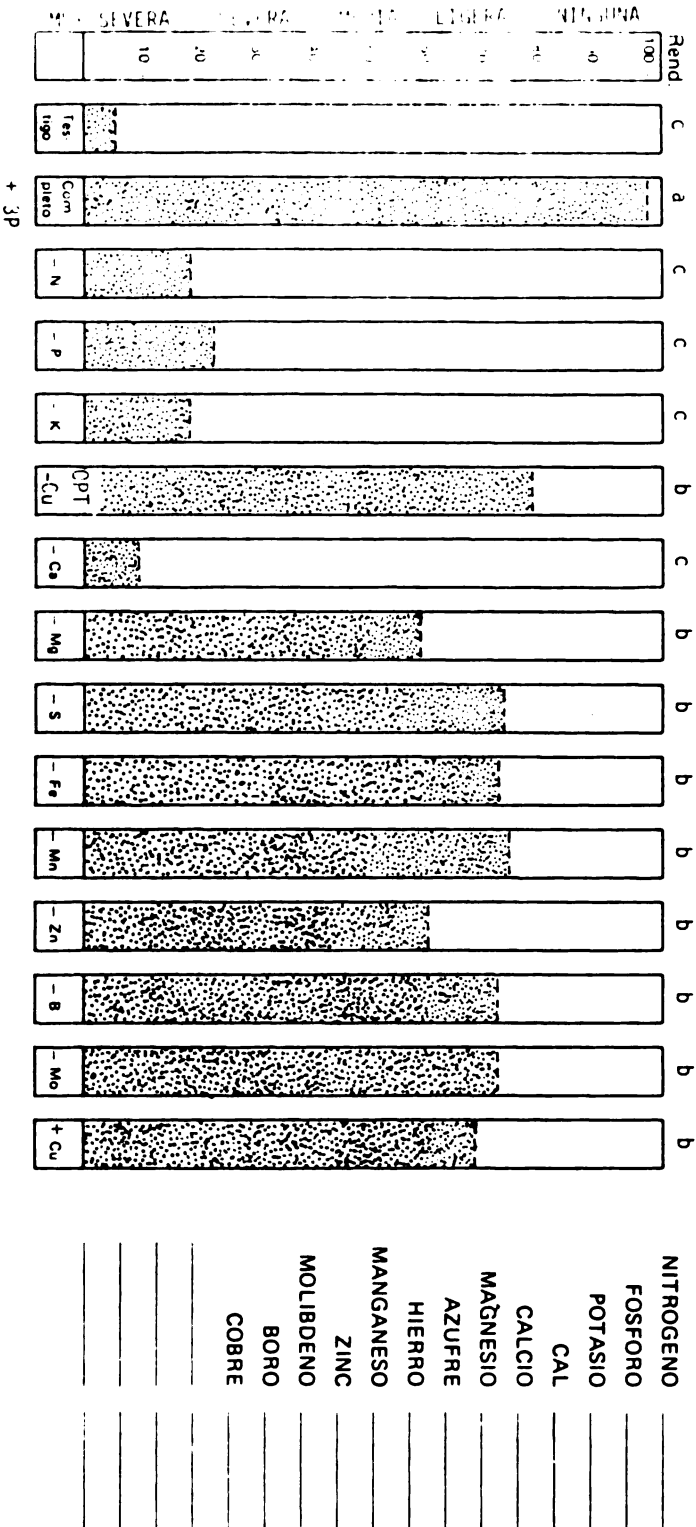
En suelos friables, porosos y bien drenados puede profundizar hasta los 65-75 cm de profundidad (10-11).

GRAFICO NO. 3

42

Ubicacion: 450 Metros al suroeste de la plaza de futbol, La Suiza

Suelo: ANDEPTIC TROPOHUMULI, PEREIL 35, HORIZONTE B_t, CODIGO 35-2
 Curva: BOSQUE HUMEDO TROPICAL, REGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO UDICO.



Comentarios:

MEDIAS CON LA MISMA LETRA NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES AL 5 % SEGUN LA PRUEBA DE DUNCAN.
 CV = 17,85 PESO SECO EN GRANOS.

El coeficiente de "sorci3n de f3sforo" se incluye aqu3 como 3ndice de la capacidad de estos suelos para reaccionar con el f3sforo aplicado, fij3ndolo. Se expresan en porcentaje en el Cuadro 9. La Figura 4 indica los valores de sorci3n en microgramos por mililitro.

Cuadro 9. "Sorci3n de f3sforo" en porcentaje de dos suelos clasificados como Andeptic tropohumult, La Suiza y Tuis, Turrialba.

Localizaci3n	Perfil N3	Horizonte	Profundidad (cm)	Porcentaje de fijaci3n de f3sforo
Tuis	27	B _t	4-97	75.5%
La Suiza	35	A _h	0-11	68.8
La Suiza	35	B _t	11-124	64.5%

En estos suelos 3cidos con alta saturaci3n de aluminio intercambiable, el fosfato soluble es transformado en fosfatos de aluminio y de hierro, compuestos que son relativamente insolubles. Los compuestos formados corresponden en general a fosfatos hidratados de aluminio. A causa de los materiales de origen volc3nico presente en estos suelos se asume que la fijaci3n ocurre principalmente como fosfatos de aluminio, debido al alto contenido de 3xidos de aluminio en los minerales arcillosos formados a partir de cenizas volc3nicas.

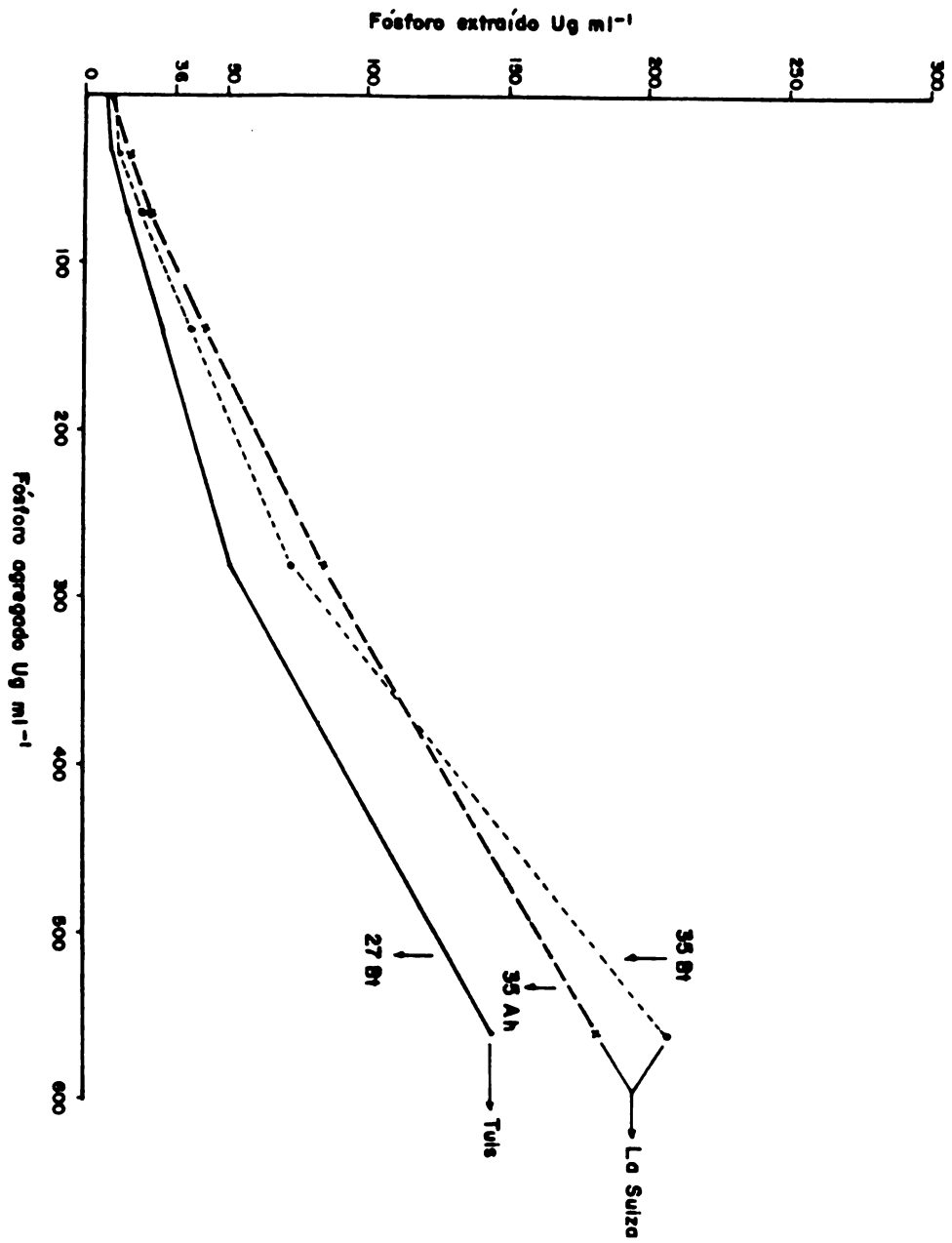


Figura 4. Curvas de sorción de dos suelos clasificadas como Andeptic tropohumult. Turrialba, Costa Rica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La saturación con aluminio intercambiable es menor en los horizontes superiores (Ah) a causa de que tienen un mayor contenido de materia orgánica, por lo que el aluminio muestra una fuerte tendencia a ser acompañado por sustancias orgánicas. Al disminuir el contenido en materia orgánica con la profundidad se incrementa la saturación con aluminio.
- Cuando la saturación con aluminio supera el 60% se incrementa el aluminio en la solución de suelo por encima de valores de 1 ppm (más de $0,037 \text{ mmol dm}^{-3}$). En este punto se llega a problemas por toxicidad con aluminio. El crecimiento radicular se restringe, se acentúan los problemas de absorción de calcio y fósforo y la producción disminuye.
- Considerando que el cafeto es un arbusto bastante tolerante a la acidez y a saturaciones altas de aluminio intercambiable, el encalado de estos suelos debe considerarse como fertilización y no como enmienda. Encalar o sobreencalar estos suelos puede inducir deficiencias en zinc, boro, manganeso y fósforo. La toxicidad de aluminio puede reducirse si se encala hasta pH de 5.5 a 5.6 para que el aluminio intercambiable precipite como hidróxido de aluminio.
- Con base en los resultados obtenidos en laboratorio e invernadero, para cafetos en producción se sugiere una fertilización anual de 190 kg de nitrógeno, 125-135 kg de fósforo y 160-190 de potasio. La fertilización debe complementarse con adición de micronutrientes vía foliar, en base a las densidades promedio de 3500 a 3900 arbustos de cafeto por ha reportadas para la zona de estudio (27).
- En caña de azúcar se sugiere una fertilización anual de 175 kg de nitrógeno, 90 de fósforo como P_2O_5 y 175 kg de potasio como K_2O . Es conveniente la investigación adicional que permita evaluar en campo la respuesta a los elementos magnesio y azufre, igualmente debe investigarse la respuesta a la adición de micronutrientes en los suelos de la Asociación Zafra,

representados por el perfil 35.

- Por los altos índices de aluminio intercambiable y alta capacidad de fijar fosfatos es necesario investigar en caña de azúcar la selección de variedades que tengan buena producción bajo tales condiciones. Igualmente conviene evaluar el comportamiento de las variedades actualmente en explotación comercial a la aplicación de enmiendas como la cal agrícola regulando cuidadosamente las dosis para evitar problemas por aplicación excesiva.

- Considerando las fórmulas fertilizantes disponibles en el mercado, el carácter técnico-práctico de este documento y los resultados de laboratorio que indican en ambas unidades de suelos severas deficiencias en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y moderadas a severas en azufre, se sugiere las siguientes combinaciones de fórmulas fertilizantes para cafetos en producción, por período anual:

Primer año, primera aplicación: en abril-mayo (entrada al invierno). Aplicar 100 gramos de la fórmula NPK 20-20-20; más 75 gramos de carbonato de calcio, por cafeto.

Primer año, segunda aplicación: 2 meses después de la primera. Fórmula NPK, Mg, B. 18-5-18-6-2. Aplicar 100 gramos de fertilizante + 75 gramos de carbonato de calcio por cafeto.

Es conveniente realizar una tercera abonada con una fuente nitrogenada a la entrada de los meses con menor precipitación (febrero-marzo) a razón de 60-70 kg de nitrógeno por hectárea, de tal manera que el cafeto se encuentre preparado para iniciar su nuevo ciclo de producción.

Al segundo año de fertilización se sugiere repetir las mismas dosis de fertilizante eliminando la aplicación de carbonato de calcio.

Al tercer año de fertilización se sugiere repetir las recomendaciones establecidas para el primer año, siendo este el cierre del ciclo. En esta etapa es conveniente tomar muestras de suelos después de que pasa la cosecha para evaluar los contenidos de macro y micronutrientes en el suelo y en consecuencia continuar el programa de fertilización o introducirle modificaciones. Dado el tipo de crecimiento de las ramas plagiotrópicas, una respuesta en producción a un programa de fertilizantes se obtiene en los

cafetos usualmente al segundo año. Este es un factor a tener en cuenta.

- Para el cultivo de caña de azúcar, al establecimiento de la plantación o para renovar cañales se recomienda encalar, preferiblemente con carbonato de calcio. En terrenos de topografía plana en los que la cal se distribuye al voleo e incorpora con arado o rastra se sugiere aplicar 2 ton ha^{-1} para ciclos de 5-6 años de renovación del cañal, incorporando la enmienda de 20 cm de profundidad, al menos un mes antes de la siembra.

En terrenos de relieve quebrado con pendientes escarpadas y muy escarpadas donde no es posible usar maquinaria agrícola, se sugiere aplicar carbonato de calcio a razón de 0.75 ton ha^{-1} en los surcos de siembra, al menos con un mes de anticipación. Al momento de colocar la semilla en el surco el fertilizante debe ser alto en fósforo. la aplicación de 8 quintales de la fórmula 12-24-12 o su equivalente en la fórmula 10-30-10 (NPK) aportará aproximadamente 90 kg de fósforo. El potasio y el nitrógeno deben suplementarse con una fertilización en base a la fórmula 20-3-20 a razón de 12 quintales ha^{-1} , lo que aportará en total 170 kg de nitrógeno y 170 kg de potasio por hectárea. Esta abonada debe realizarse 1 y 1/2 a 2 meses después de sembrar. Para caña de soca se sugiere usar fórmulas bajas en fósforo como la 20-3-20 a razón de 14 quintales por hectárea. Se sugiere realizar investigación en el campo para evaluar la respuesta a la aplicación de micronutrientes (hierro, zinc, manganeso, molibdeno y cobre) en plantaciones nuevas o renovadas, a diferentes etapas de crecimiento de la caña, evaluando también los costos de aplicación y el beneficio derivado de tal fertilización. En especial esta sugerencia es para los suelos de la Conso-ciación Zamora dado que son bastante deficientes en micronutrientes.

- En ambas unidades de suelos es muy conveniente realizar investigación de campo para evaluar la respuesta al azufre y magnesio, especialmente este último nutriente, dados sus bajos contenidos en los suelos.

BIBLIOGRAFIA

1. ADAMS, F. y LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil aluminum on cotton root penetration of acid subsoil. *Soil Sci.* 101(3): 193-198. 1966
2. ALEGRE, J., CASSEL, D.K. y BAUDY, D.E. Effect of land clearing methods on soil properties and crop performances. In *Agronomic Economic Research on soil of the tropics*. Nicholaides J.J., Couto, W. y Wade M.K. eds. Raleigh, North Carolina State Univ. Soil Science Department, 1983. pp 43-45.
3. ALMEIDA, A.M. DE y BORNEMISZA, E. Efeito da calagem sobre o pH do solo, absorcao de fosforo e producao de matéria seca pelo sorgo. *Agropecuaria Técnica (Brasil* 1(1):40-48. 1980.
4. ALVARADO, A. Phosphate retention in andepts from Guatemala and Costa Rica as related to other soil properties. PhD. Thesis, Raleigh, North Carolina State University, 1982. 82 p.
5. AMARISIRI, S.L. y OLSEN, S.R. Liming as related to soil solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37(5):716-721. 1973.
6. AMEDEE, G. y PEECH, M. The significance of KCl-extractable Al (III) as an index to lime requirement of soils of the humid tropics. *Soil Sci.* 121(4):227-233. 1976.

7. APACIBLE, A.R. A review of foliar analyses and crop logging of sugar cane. Sugar News 39(3):129-132. 1963.
8. ARMIGER, W.H. et al. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agron. J. 60(1): 67-70. 1968.
9. ASO, P.J. y FOGLIATA, F.A. El aspecto económico de la fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Rev. Agron. Nordeste Argentino 4(1):43-56. 1963.
10. ATIENZA, J.C. y DEMETRIO, J.K. La industria azucarera en las Filipinas. Parte I. Sugar y Azúcar 75(3):58-70. 1980.
11. AVILAN, L. y MENESES, L. Sistema radical de la caña de azúcar "V58-4" a los seis y doce meses de edad en un suelo del orden mollisol del Estado Portuguesa. Turrialba (Costa Rica) 30(2):203-208. 1980.
12. AYRES, A.S. The growth of sugar cane as influenced by phosphorus; the critical range of soil phosphorus. Proc. Xth Congress Int. Soc. Sugar Cane Techn. Hawaii, 1959. pp. 22-26.
13. BAVER, L.D. Practical lessons from trends in Hawaiian sugar production. Proc. XIth Congress. Int. Soc. Sugar Cane Techn. Mauritius, 1962. pp 19-28.
14. BILT, H. VAN DER. Informe de la revisión de la geología de la cuenca del río Tuis. Cartago, Costa Rica, s.i. 1984. 13 p. mimeografiado.
15. BHUMBLA, D.R. y McLEAN E.O. Aluminum in soils. IV Changes in pH dependent acidity, cation-exchange capacity, and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29(4):370-374. 1965.

16. BUSCH, J. Etude de la nutrition minérale du caféier robusta dans le Centre Oubangui. Agron. Trop. 11:416-447. 1956.
17. CARVAJAL, J.F. Cafeto, cultivo y fertilización. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1972. pp 13-125. 130-141.
18. CARVAJAL, J.F. y BRICEÑO, J.A. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalino-térreos en el suelo, asociado con la respuesta al cafeto. Turrialba (Costa Rica) 23(1):56-71. 1973.
19. CONINCK, Fr. DE. Physico-chemical aspects of pedogenesis. Ghent, International Training Centre for Postgraduate Soil Scientists, 1978. pp. 1-4.
20. CORREA, J.C. Características físico-hídricas dos solos latossolo amarelo, podzolic vermelho-amarelo e podzol hidromórfico do Estado do Amazonas. Pesq. Agropec. Bras. (Brasil) 19(3):347-360. 1984.
21. COSTA RICA. COMISION NACIONAL DE DIVISION TERRITORIAL ADMINISTRATIVA. División territorial administrativa de la república de Costa Rica. San José, Costa Rica, Imprenta Nac. 1981. 126 p.
22. COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Hoja topográfica Pejibaye 3445 II. San José, Costa Rica. 1968. esc. 1:50000. color
23. COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Hoja topográfica Tucurrique 3445 I. San José, Costa Rica, 1968. escala 1:50000. color.
24. DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 1978. 68 p.
25. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA, 1967. 3 p.

26. EVANS, H. Elements other than nitrogen, potassium and phosphorus in the mineral nutrition of sugar cane. Proc. Xth Congress Int. Soc. Sugar Cane Techn. Hawaii, 1959. pp. 17.
27. FASSBENDER, H.W. Bases edafológicas de los sistemas de producción agroforestales, Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 1984. 191 p. serie 21.
28. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. 4ed. Colombia, 1979. 209 p.
29. FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciencia e Cultura (Brasil) 28(2):150-155. 1976.
30. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth In Carson, E.W., ed. The plant root and its environment. Virginia, Univ. Press of Va. 1974. pp. 613-633.
31. _____ Y BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(1):27-32. 1964.
32. FRANCO, A.A. y DAY, J.M. Effects of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of Phaseolus vulgaris L in acid soils of Brazil. Turrialba (Costa Rica) 30(1):99-105. 1980.
33. FREITAS, L.M.M. DE y RAIJ, V. Efectos residuales del encalado de un latosol en Sao Paulo, Brazil. In Bornemisza E. y Alvarado A. eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina State Univ., 1974. pp. 304-312.
34. FRIESEN, D.K., JUO, A.S.R. y MILLER, M.H. Residual value of lime and leaching of calcium in a kaolinite ultisol in the high rainfall tropics. Soil Sci. Soc. Am. J. 46(6):1184-1189. 1982.

35. GEUS, J.G. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming Zurich, Centre D'Etude de L'Azote, 1967. 727 p.
36. HALAIS, P. High sucrose response to nitrogen fertilization-an important varietal characteristic. Ann. Rep. Mauritius Sugar Industry Res. Inst., 1973. pp. 71-74.
37. HALAIS, P. The determination of nitrogen fertilizer requirement of sugar cane crops by foliar diagnosis. Proc. Xth Congress Int. Soc. Sugar Cane Techn. Hawaii, 1959. pp. 32-38.
38. HARDY, F. y BAZAN, R. Análisis de textura, método de Bouyoucos. In Curso de Productividad y Fertilidad de Suelos, 1975. Apuntes. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 1979. 221 p.
39. HAWAIIAN SUGAR PLANTERS ASSOCIATION. Reports, 1951-1957. Reports Exp. Sta. Committee, HSPA, Hawaii, 1958. pp 23-26.
40. HELYAR, K.R. Effects of calcium carbonate on the availability of nutrients in an acid soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38(2):341-346. 1974.
41. HOURIGAN, W.R. et al. Growth and Ca uptake by plants as affected by rate and depth of liming. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25(6):491-494. 1961.
42. HUMBERT, R.P. y ULRICH, A. Fertilizer use on sugar crops. In Changing patterns in fertilizer use. Dinauer, R.C. ed. Wisconsin, SSSAP, 1968. pp. 379-401.
43. KAMPATH, E.J. Exchangeable aluminum as criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(2):254-258.

44. _____. Soil acidity in well drained soils of the tropics. In Priorities for alleviating soil related constraints to food production in the tropics. Los baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1980. pp. 107-140.
45. LEVERINGTON, K.C., SEDLE, J.M. y BURGE, J.R. some problems in predicting potassium requirements of sugar cane. Proc. XIth Congress Int. Soc. Sugar Cane Techn, Mauritius, 1962. pp. 14-18.
46. McLEAN, E.D. Aluminum. In Black, C.A. ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 978-998.
47. NUÑEZ SOLIS, J. Estudio semidetallado de suelos en el área Sur de la cuenca del Río Tuis. Thesis Mg. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1985. (sin publicar).
48. NYE, P.D. Ion exchange equilibrium involving aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25(1):14-17. 1961.
49. PEARSON, R.W., CHILDS, J. y LUND, Z.F. Uniformity of limestone mixing in acid subsoil as a factor in cotton root penetration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37(5):727-732. 1973.
50. PEREZ, V.M. et al. Nutrición del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1963. 35 p. Bol. Tec. 43.
51. PISSOT, P. La culture de la canne á sucre á Kom O'mbo. Feuilles Agric. 10(74):23-32. 1952.
52. QUIROS, S. y GONZALEZ, M.A. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. Agron. Costarr. (Costa Rica) 3(2):137-149. 1979.

53. ROJAS, O.E. y ELDIN, M. Zonificación agroecología para el cultivo de la caña de azúcar (Sacharum spp) en Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 33(2):151-160. 1983.
54. SAIZ DEL RIO, J.R. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad, Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1961. 107 p.
55. SALINAS, J.G. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. In Seminario de Fertilidad y Conservación de Suelos, Turrialba, Costa Rica. 1982. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 1982. pp. 7.
56. _____. y SANCHEZ, P.A. Soil plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Ciencia e Cultura, (Brasil) 28(2):156-168. 1976.
57. SAMUELS, G. The efficiency of sugar cane in its use of nitrogen fertilizer applications. J. Agric. Univ. (Puerto Rico) 40(4):209-217. 1956.
58. SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the Tropics. New York, Wiley, 1976. pp. 223-226.
59. _____. y COCHRANE, T.T. Soil constraints in relation to major farm systems of Tropical America. In Priorities for alleviating soil related constraints to food production in the tropics. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1980. pp. 107-140.
60. SCHERHAG, R. y BLUTHGEN, J. Klimatologie. Braunschweig, Georg Westermann Verlag, 1976. pp. 9-11.

61. SHAW, M.E. Some aspects of the potash nutrition of sugar cane grown on a heavy clay soil in Jamaica. *Fertilité* 19:13-24. 1963.
62. SILVA, J.B.C.DA., NOVAIS, R.F.DE y SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genotipos de soja em solo com alta saturacao de aluminio. *Pesq. Agrop. Bras. (Brasil)* 19(3):287-298. 1984.
63. TOIT, J.L.DU. Analytical data and yield responses. *Ann. Rep. Exp. Sta. S. Afr. Sugar Assoc.*, 1959-1960. pp. 19-22. 1961.
64. VALENCIA ARISTIZABAL, G. y CARRILLO PACHON, I.F. Interpretación de análisis de suelos para café. *Federación Nacional de cafeteros de Colombia, Caldas*, 1983. 5 p. B.T. 115.
65. WAARD, P.W.F. DE y SUTTON, C.D. Toxicity of aluminum to black pepper (Piper nigrum L.) in Sarawak. *Nature* 188(4756):1129-1130. 1960.

APENDICES

APENDICE 1. Descripción del perfil 27, Consociación Silencio

Es un suelo de buenas condiciones físicas, poroso, friable, bien estructurado y buen drenaje interno.

Localización: Finca del señor Harry Carranza, de la confluencia de la Quebrada Marimba con el Río Tuis, 1100 m Sur, en posición de relieve convexo (cimas de los escarpes escalonados del Río Tuis).

Altitud: 902 metros sobre el nivel del mar .

Clasificación taxonómica: Andeptic tropohumult, familia medial, mixta e isohipertérmica.

Posición fisiográfica: Escarpe de falla escalonado del Río Tuis.

Descripción del perfil 27 (*)

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCION
Ah	0-4	Pardo oscuro (7,5 YR 3/2, húmedo); franco; granular y en bloques subangulares finos y medianos, fuerte; firme a muy firme en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; poros finos, muy finos y gruesos abundantes; raíces finas y muy finas muchas; límite claro y plano; pH 5.3.
B _t	4-97	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4 húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares medianos y gruesos de moderado a fuerte desarrollo; cutanes moderadamente espesos zonales a discontinuos; friable en húmedo y adhesivo y plástico en mojado; poros discontinuos muy finos y finos frecuentes, gruesos pocos; raíces finas, medianas y gruesas pocas a muy pocas; límite gradual y plano; pH 5.0.
Bw	97-190	Rojo amarillento (5 YR 3/6, húmedo); franco en textura; estructura en bloques subangulares finos y medianos de desarrollo débil; muy friable en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; poros discontinuos, finos, muy

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCION
		finos y medianos frecuentes. Presenta entre 7 a 10 por ciento de fragmentos angulares de toba en proceso de meteorización avanzada (saprolita) de 2 cm de diámetro; pH 5.0.

(*) Los ensayos en invernadero se realizaron únicamente para el horizonte Bt en este perfil. Los ensayos realizados con el horizonte Ah no dieron respuesta a la prueba biológica. Dado que el grosor de este horizonte es de solo 4 centímetros, se omite la presentación de esos datos.

Para el horizonte B_w no se hicieron pruebas biológicas porque se consideró que los cultivos de caña de azúcar y de café no tienen raíces absorbentes a esa profundidad.

APENDICE 2. Datos de laboratorio para taxonomía; Perfil 27.

Horizonte		Ah	Bt	Bw
Profundidad (cm)		0-4	4-97	97-190
pH	H ₂ O (1:2.5)	5.32	5.0	5.08
	NaF (2 minutos)	8.03	9.20	9.56
*	M.O.	8.17	2.01	0.67
*	C.O.	4.74	1.16	0.39
*	N.T.	0.52	0.12	0.03
*	C/N	9.0	10	13
meg/100 g suelo	Ca	4.42	0.55	0.30
	Mg	2.72	0.19	0.11
	K	0.48	0.06	0.03
	Na	0.22	0.19	0.20
	Al	0.78	5.26	5.71
	Suma de bases	7.84	0.99	0.64
	C.I.C. (pH 8.2)	33.84	24.59	24.74
	Acid. Interc. (BaCl ₂ , pH 8.2)	26.0	23.6	24.1
*	Sat. de bases	23.2	4.1	2.6
*	Sat. de acidez	76.8	95.9	97.4
*	Sat. de aluminio	9.05	84.2	89.9
Granulometría	Arena (%)	48	22	36
	Limo (%)	30	38	42
	Arcilla (%)	22	40	22
	Textura	F	A	F
g/cm ³	Densidad aparente	0.80	0.86	0.89
	Densidad partículas	2.41	2.69	2.71
*	Porosidad			
Humedad %	1/3 Bar	53.90	40.13	54.76
	15 Bares	44.01	29.06	26.81
	Humedad disponible	9.89	11.07	18.95

F : franco A : Arcilloso

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE NUTRIMENTOS DEL SUELO - Soil nutrient survey study PROGRAMA DE FERTILIDAD DE SUELOS - CATIE - TURRIALBA, COSTA RICA
 CUADRO 2a
 Muestra de suelo No. 1 Ubicación PEREIL 27, (4-97 cm) LA SUIZA, TURRIALBA, CARTAGO, C. R. Textura ARCILLOSO
 Soil sample No. Location

Análisis de la muestra de suelo original - Analysis of original soil sample

Método	Acid.	Al	pH	M.O.	Ca	Mg	K	Cu/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	4,6	3,4	4,15	4,4	0,69	0,09	0,05	7,7	1,8		8,3	17,7	-	57,0	-	7,0	3,8
2																	
3							0,06				7,7	26,9				6,0	1,6

Análisis del estudio de sorción - Sorption study analysis

Cantidad																		
1																		
2											9,3	23,0					10,0	2,6
3											14,9	26,3					14,0	4,2
4											30,0	32,2					24,0	7,8
5											179,5	37,4					41,0	15,6
											261,4	62,1					71,0	43,5

Cantidad del elemento que se necesita de acuerdo al estudio de sorción u otro criterio usado - Amount of element needed according to sorption study or other criteria used

											50	150	86,0	2	0	20	11	18
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	-----	------	---	---	----	----	----

Peso de compuestos o ml de soluciones madre a agregar a _____ ml de suelo para el estudio de invernadero - Weight of compounds or ml of stock solutions to be added to _____ ml soil for greenhouse study

Descripción del tratamiento	Opt.	- + Ca	- + Mg	- + N	- + P	- + K	- + B	- + Cu	- + Fe	- + Mn	- + Mo	- + S	- + Zn	Testigo	+ 3P	+ 6F	+ 9P
TRATAMIENTO N°.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Gramos CaCO ₃	0,69	0	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0	0,69	0,69	0,69
Gramos MgO	0,07	0	0	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	0,07	0,07	0,07
N	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
P	2,25	2,25	2,25	2,25	0	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0	2,25	2,25	2,25
K	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0	6,4	6,4	6,4
B	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Cu	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Mn	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0,6	0,6	0,6	0	0,6	0,6	0,6
Mo	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
S	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	0	4,2	4,2	4,2
Zn	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	0	2,7	2,7	2,7
Gramos NH ₄ NO ₃ /5 litros de solución de irrigación	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5

APENDICE 4. Descripción del perfil 35, Consociación Zamora

Este perfil corresponde a la unidad cartográfica Consociación Zamora que se subdivide en el mapa de suelos en dos unidades, por el grado de disección que presentan. Las subunidades son: TR₁, disección moderada; TR₂, suelos de fuerte disección.

Son suelos porosos, profundos a moderadamente profundos, con buen desarrollo estructural y buen drenaje interno.

Localización: 450 metros al sureste de la plaza de futbol de La Suiza, a mano derecha en ruta sobre la carretera que conduce de la Suiza a finca Nubes.

Altitud: 682 metros sobre el nivel del marz.

Clasificación taxonómica: Andeptic Tropohumult, familia medial, mixta e isohipertérmica.

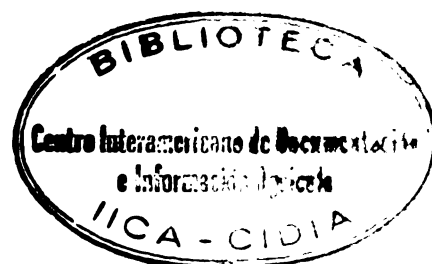
Posición fisiográfica: Esta unidad de suelos se distribuye en las terrazas residuales del Plioceno-Pleistoceno, que presentan una disección moderada y fuerte a consecuencia de procesos erosivos, principalmente erosión laminar, en surcos y en cárcavas.

(Descripción del perfil (*))

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCION
Ah	0-11	Pardo oscuro (7.5 YR 3/4, húmedo) arcilloso; estructura granular y en bloques subangulares medianos y gruesos de fuerte desarrollo; friable en húmedo y adhesivo y plástico en mojado; poros finos y muy finos abundantes, gruesos frecuentes; raíces finas y muy finas frecuentes; medianas pocas; límite difuso y plano; pH 4.8.
B _{t1}	11-124	Rojo amarillento (5 YR 3/6, húmedo); arcilloso; estructura en bloques subangulares medianos finos y gruesos de fuerte desarrollo; friable en húmedo y adhesivo y plástico en mojado; cutanes espesos y discontinuos; poros finos y muy

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCION
		finos abundantes, medianos frecuentes; raíces finas, muy finas y medianas pocas; límite gradual y plano; pH 4.9.
B _{t2}	124-210	Rojo amarillento (5 YR 4/7, húmedo); arcilloso, estructura en bloques subangulares finos, medianos y gruesos de desarrollo moderado; friable en húmedo y adhesivo y plástico en mojado; cutanes moderadamente espesos y discontinuos; poros finos y muy finos abundantes; medianos frecuentes; pH 4.7.

(*) En este perfil no se realizaron pruebas de invernadero para el horizonte B_{t2}, porque se consideró que las raíces de los cultivos estudiados en este documento no exploran a esa profundidad.



APENDICE 5. Datos de laboratorio para taxonomía, perfil Nº 35.

Horizonte		A _h	B _{1t}	B _{2t}
Profundidad (cm)		0-11	11-124	124-210
pH	H ₂ O (1:2.5)	4.75	4.91	4.68
	NaF (2 minutos)	7.90	9.30	9.52
%	M.O.	5.96	1.94	0.80
%	C.O.	3.46	1.12	0.46
%	N.T.	0.39	0.11	0.06
%	C/N	9.0	10.0	8.0
meq/100 g suelo	Ca	1.17	0.70	0.59
	Mg	0.70	0.26	0.17
	K	0.59	0.06	0.04
	Na	0.17	0.17	0.31
	Al	3.03	3.48	5.39
	Suma de bases	2.63	1.19	1.11
	C.I.C. (pH 8.2)	66.23	55.59	49.61
	Acid. Interc. (BaCl ₂ , pH 8.2)	63.6	54.4	48.5
%	Sat. de bases	3.97	2.19	2.29
%	Sat. de acidez	96.03	97.81	97.71
%	Sat. de aluminio	53.5	73.7	81.5
Granulometría	Arena (%)	20	8	8
	Limo (%)	22	22	26
	Arcilla (%)	58	70	60
	Textura	A	A	A
g/cm ³	Densidad aparente	0.69	0.80	0.87
	Densidad partículas	2.56	2.66	2.67
%	Porosidad			
Humedad %	1/3 Bar	43.25	45.56	45.85
	15 Bares	32.56	35.23	34.77
	Humedad disponible	10.69	10.33	11.08

A: Arcilloso.

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE NUTRIMENTOS DEL SUELO - Soil nutrient survey study PROGRAMA DE FERTILIDAD DE SUELOS - CATIE - TURRIALBA, COSTA RICA

CUADRO 4a.

Muestra de suelo No. 2 Ubicación PEREIL 35, I.A. SUITZA, TURRIALBA, CARTAGO, COSTA RICA (0-11cm) Textura ARCILLOSO
Soil sample No Location

Análisis de la muestra de suelo original - Analysis of original soil sample

Método	Acid.	pH	M.O.	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	5,8	4,30	4,4	0,89	0,36	0,19	2,47	1,89	10,8	24,1			27,0		14,0	2,8
2																
3						0,16			8,3	29,5					15,0	1,3

Análisis del estudio de sorción - Sorption study analysis

Cantidad																	
1						0,32				17,6	33,5					17,0	2,9
2						0,34				24,2	34,9					24,0	4,9
3						0,47				42,8	46,6					33,0	9,0
4						0,82				172,1	58,0					50,0	16,5
5						1,38				259,3	81,9					78,0	44,0

Cantidad del elemento que se necesita de acuerdo al estudio de sorción u otro criterio usado - Amount of element needed according to sorption study or other criteria used

						0,58	0,043	0,62								0	16,0
--	--	--	--	--	--	------	-------	------	--	--	--	--	--	--	--	---	------

Peso de compuestos o ml de soluciones madre a agregar a ___ ml de suelo para el estudio de invernadero - Weight of compounds or ml of stock solutions to be added to ___ ml soil for greenhouse stud.

Descripción del tratamiento	Opt.	Ca	Mg	N	P	K	B	Cu	Fe	Mn	Mo	S	Zn	Testigo	+ 3P	+ 6P	+ 9P
TRATAMIENTO N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Gramos CaCO ₃	0,87	0	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0,87
Gramos MgO	,064	,064	0	,064	,064	,064	,064	0,064	,064	,064	,064	,064	,064	0	,064	,064	,064
N	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
P	1,7	1,7	1,7	1,7	0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0	1,7	1,7	1,7
K	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0	4,7	4,7	4,7
B	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
S	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0	1,1	1,1	1,1
Zn	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0	2,4	2,4	2,4
Gramos NH ₄ NO ₃ / 5 litros de solución de irrigación	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE NUTRIMENTOS DEL SUELO - Soil nutrient survey study PROGRAMA DE FERTILIDAD DE SUELOS - CATIE - TURRIALBA, COSTA RICA
 CUADRO N°. 5a Ubicación PEREIL 35 LA SUIZA, TURRIALBA, CARTAGO, COSTA RICA. (11-124 cm) Textura ARCILLOSO
 Muestra de suelo No. 3 Location Soil sample No

Análisis de la muestra de suelo original - Analysis of original soil sample

Método	Acid	pH	M.O.	Ca	Mg	K	Cu/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	4,80	3,70	4,79	1,1	0,91	0,05	5,06	3,60	8,87	11,5	-	30,0	-	-	5,0	2,9
2																
3						0,04			10,5	11,8					6,0	2,2

Análisis del estudio de sorción - Sorption study analysis

Cantidad																	
1						0,10				12,7	15,5				10,0	3,2	
2						0,19				20,8	16,7				15,0	4,6	
3						0,31				38,5	21,8				24,0	8,8	
4						0,60				148,9	23,3				42,0	15,9	
5						1,18				257,1	50,0				73,0	51,5	

Cantidad del elemento que se necesita de acuerdo al estudio de sorción u otro criterio usado - Amount of element needed according to sorption study or other criteria used

						0,48	0,054	0,90								10,0	19,0
--	--	--	--	--	--	------	-------	------	--	--	--	--	--	--	--	------	------

Peso de compuestos o ml de soluciones madre a agregar a - ml de suelo para el estudio de invernadero - Weight of compounds or ml of stock solutions to be added to - ml soil for greenhouse study.

Descripción del tratamiento	Opt.	Ca	Mg	N	P	K	B	Cu	Fe	Mn	Mo	S	Zn	Te	U	V	W
TRATAMIENTO N°																	
Gramos CaCO ₃	0,72	0	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0	0,72	0,72	0,72
Gramos MgO	0,079	0,079	0	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0	0,079	0,079	0,079
N	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
P	1,8	1,8	1,8	1,8	0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0	1,8	1,8	1,8
K	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	0	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	0	6,8	6,8	6,8
B	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Cu	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
Mn	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5
Mo	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
S	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	0	7,4	0	7,4	7,4	7,4
Zn	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	0	0	2,9	2,9	2,9
Gramos NH ₄ NO ₃ /5 litros de solución de irrigación	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5

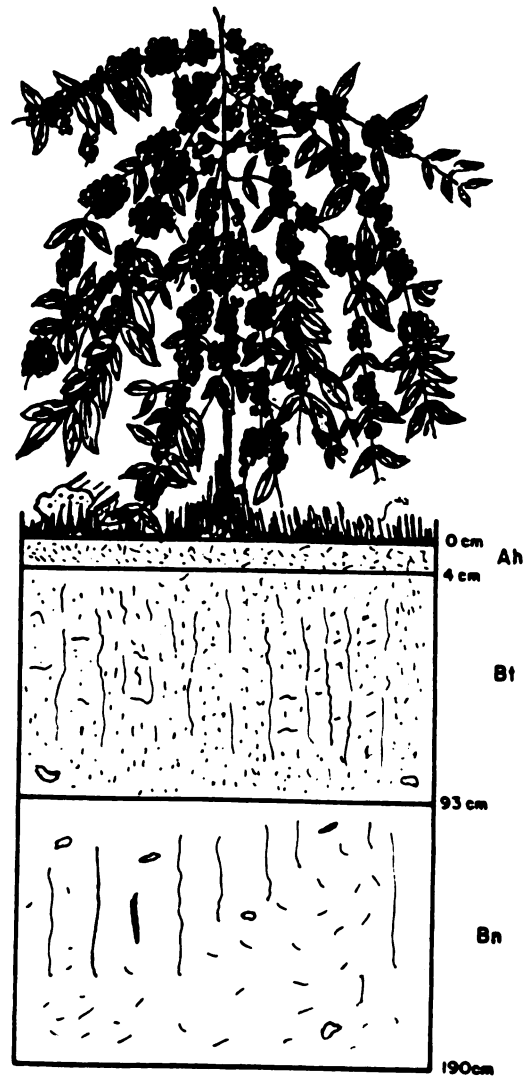
APENDICE 8. Equilibrio entre metales alcalinos y alcalinotérreos para los horizontes de los perfiles Nº. 27 y 35.

Cociente entre metales alcalinos y alcalino térreos. (meq 100 ⁻¹ g suelo)	PERFIL 27		PERFIL 35	
	Hte A _h (0-4 cm)	Hte B _t (4-97 cm)	Hte A _h (0-11 cm)	Hte B _t (11-124 cm)
Ca/K	9.21	9.16	1.98	11.7
Mg/K	5.67	3.17	1.18	4.33
(Ca + Mg)/K	14.88	12.33	3.17	16.0
Ca/Mg	1.63	2.89	1.67	2.69
100 K	0.16	7.5	23.98	5.88
(Ca + Mg + K).				

Observaciones

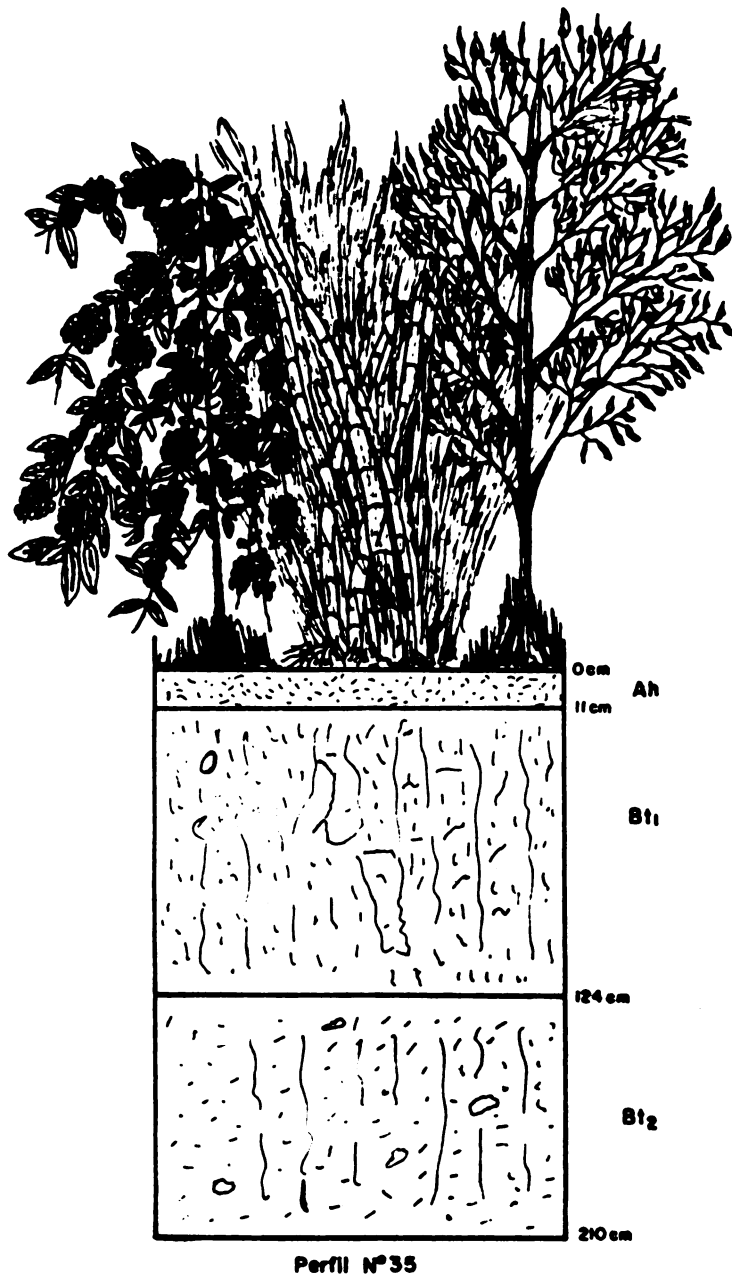
De acuerdo a los ámbitos definidos por Carvajal (18), no existirá respuesta al potasio en estos suelos. También define que no se espera respuesta en suelos contenidos de potasio mayores a 0.21 meq 100⁻¹ g de suelo en la capa arable (0-30 cm de profundidad).

Pero estos suelos tienen entre los 4-30 cm y los 11-30 cm de profundidad índices de potasio de 0.06 meq 100⁻¹ g de suelo, valores en potasio sumamente bajos. Además, dados los bajos contenidos de calcio y magnesio, la fuerte acidez y la alta saturación con aluminio intercambiable, un encañado regulado (0.5 ton ha⁻¹ de cal agrícola) para corregir tales problemas y a la vez suplir calcio como nutrimento, obviamente producirá desbalances entre las relaciones calcio - potasio y calcio - magnesio, lo cual debe prevenirse con aplicaciones de fórmulas altas en potasio y que contengan magnesio.



Perfil N° 27

APENDICE 9. Diagrama de la posición de horizontes. Uso predominante del suelo con arbustos de café. Perfil N° 27.



APENDICE 10. Diagrama de la posición de horizontes. Uso predominante del suelo con cafetos y caña de azúcar. Perfil Nº 35.

Mapa 1. Unidades de suelos en la vertiente sur, cuenca del río Tuis.

LEYENDA FISIOGRAFICA

GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUB-PAISAJE	ELEMENTO DE PAISAJE	UNIDAD CARTOGRAFICA	UNIDAD TAXONOMICA	
C O R D I L L E R A D E T A L A M A N C A	TT TERRAZAS MUY EROSIONADAS DE ORIGEN TECTONICO (Mioceno superior-Plioceno)	TT ₁ ALTAS	TT ₁₁ Moderadamente disectadas	ASOCIACION PORVENIR-ESPERANZA	HYDRIC DYSTRANDET ENTIC DYSTRANDET	
			TT ₁₂ Fuertemente disectadas	COMPLEJO: PORVENIR fase pedreg-ESPER	HYDRIC DYSTRANDET ENTIC DYSTRANDET	
		TT ₂ INTERMEDIAS	TT ₂₁ Moderadamente disectadas	CONSOCIACION: NUBES	OXIC DYSTRANDET	
			TT ₂₂ Fuertemente disectadas	ASOCIACION: LA ROMA- QDA . DELGADO	ANDIC HUMITROPEPT OXIC DYSTRANDET	
	TE ESCARPES DE FALLA (Mioceno - Plioceno)	TE ₁ ESCARPE COMPUESTO DEL RIO ATIRRO		NO FUE CARTOGRAFIADO		-----
		TE ₂ ESCARPE ESCALONADO Y COMPUESTO DEL RIO TUIS	TE ₂₁ COMPUESTO	COMPLEJO Tuis, fase rocosa y Zamora, fase muy pedregosa		LITHIC TROPORHENT ANDEPTIC TROPORHUMULT
			TE ₂₂ ESCALONADO	CONSOCIACION: SILENCIO		ANDEPTIC TROPORHUMULT
	TR TERRAZAS RESIDUALES (Plioceno - Pleistoceno)	TR ₁ MODERADAMENTE DISECTADAS		CONSOCIACION: ZAMORA	ANDEPTIC TROPORHUMULT	
		TR ₂ FUERTEMENTE DISECTADAS				
	TB VALLES MENORES (Pleistoceno-Holoceno)	TB ₁ CUENCA MEDIA E INFERIOR DEL RIO CONEJO		COMPLEJO Tuis, fase rocosa y La Roma, fase pedregosa	LITHIC TROPORHENT ANDIC HUMITROPEPT	
		TB ₂ CUENCA MEDIA Y SUPERIOR QDA ARMADO		COMPLEJO Tuis, fase rocosa y La Roma, fase pedregosa	LITHIC TROPORHENT ANDIC HUMITROPEPT	
		TB ₃ CUENCA SUPERIOR DEL RIO TUIS	TB ₃₁ LADERAS ESCARPADAS	ASOCIACION: Tuis y Tuis, fase rocosa		ANDEPTIC TROPORHENT LITHIC TROPORHENT
TB ₃₂ AREAS DE DEPOSICION COLUVIAL			CONSOCIACION: RIVEL		ENTIC DYSTRANDEPT	
TB ₄ VALLE COLGANTE DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CONEJO		CONSOCIACION: CONEJO		ENTIC DYSTRANDEPT		
TA LLANURA ALUVIAL DEL RIO TUIS (Pleistoceno - Holoceno)	TA ₁ CUENCA MEDIA E INFERIOR DEL RIO TUIS	TA ₁₁ LLANURA ALUVIAL DE INUNDACION INDIFFERENCIADA	COMPLEJO LASTUSAN		TYPIC TROPORHENT TROPORFLUVENT	
		TA ₁₂ TERRAZAS ALUVIALES RECIENTES	CONSOCIACION CALEDONIA		TYPIC TROPORHENT	

REALIZO	JORGE NUÑEZ
DIBUJO	ANDRES NUÑEZ
ESC	1:50 000
	FEB 1983

