

9311229

21

PT-154

56236

Serie técnica
INFORME TECNICO No. 43

Soil Taxonomy:
TAXONOMIA DE SUELOS

Proceedings of the Sixth Soil Science Meeting

Memoria del Sexto Foro
realizado en Turrialba, Costa Rica
24 de octubre al 3 de noviembre, 1983

La publicación de estas memorias ha sido financiada con fondos
del Servicio de Apoyo para el Manejo de Suelos, SMSS

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Departamento de Producción Vegetal
Turrialba, Costa Rica, 1984

Best Available Document

El CATIE es una asociación civil sin fines de lucro, autónoma, con carácter científico y educacional, que realiza, promueve y estimula la investigación, la capacitación y la cooperación técnica en la producción agrícola, animal y forestal con el propósito de brindar alternativas a las necesidades del trópico americano, particularmente en los países del Istmo Centroamericano y de Las Antillas. Fue creado en 1973 por el Gobierno de Costa Rica y el IICA. Acompañando a Costa Rica como socio fundador, han ingresado Panamá en 1975, Nicaragua en 1978, Honduras y Guatemala en 1979 y República Dominicana en 1983.

El SMSS (Soil Management Support Services) es un programa de asistencia técnica Internacional ejecutado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, financiado por AID.

© 1984, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE
Turrialba, Costa Rica, 1984

ISBN 9977-951-40-3

Portada: Héctor Chavarría

631.49063

T235 Taxonomía de suelos : memoria del Sexto Foro realizado en Turrialba, Costa Rica 24 de octubre al 3 de noviembre, 1983. - Turrialba, Costa Rica : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Departamento de Producción Vegetal, 1984
312 p. ; 24 cm. - (Serie técnica. Informe técnico / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza : no. 43)

ISBN 9977-951-40-3

1. Suelos - Reconocimiento - Congresos, conferencias, etc.
2. Suelos - Clasificación - Congresos, conferencias, etc. I. Título
II. Series.

AGRINTER F23

FE DE ERRATAS

Página	Línea	Incorrecto	Correcto
21	23	tridime ional	tridimensional
26	16	100	1000
31	18	a	la
33	25	simultaneusly	simultaneously
70	5	walkley-black	Walkley-Black
78	5	Asia de este	Asia del este
83	donde aparece	Apéndice	Anexo
92	18	culuvio	coluvio
95	30	regioles	regiones
96	28	inferior	interior
97	40	A6	6A
101	12	Esta	Estas
106	20	Ioma	Iowa
106	28	Millisol	Mollisol
106	47	research	research
107	1	wich	which
107	18	survey	surveys
116	22	de de	de
118	33	are	is
130	15	survey	surveys
131	21	Erosición	Erosión
133	Análisis Físicos	% Rentenc.	% Retenc.
166	17	decomposición	descomposición
167	15	adatado	adaptado
167	35	arbusbucar	arbuscular
167	36	Buletin	Bulletin
190	14	In entario	Inventario
266	19	limosa	limoso
274	44	traspedales	transpedales

CONTENIDO

Presentación	5
Foreword	8
Introducción y resumen general	11
Introduction and general summary	20
PARTE I : CONCEPTOS GENERALES	
Enfoque de extrapolación de resultados experimentales en sistemas de cultivo. <i>J. Henao M.</i>	31
El análisis de suelos requerido para la taxonomía de suelos. <i>E. Bornemisza</i>	62
PARTE II: CLASIFICACION DE SUELOS POR TIPO DE CULTIVO	
Clasificación de los suelos arroceros en Costa Rica y en el resto del mundo según la taxonomía de suelos. <i>A. Cordero V.</i>	73
Taxonomía de suelos en áreas cafetaleras y zonas de riego en Costa Rica. <i>A. Vásquez</i>	117
Suelos marginales y pastos tropicales: Hacia un uso más eficiente de los recursos. <i>J. M. Spain</i>	152
PARTE III: ESTUDIOS DE CASO	
El cultivo de frijol en Costa Rica: clasificación y manejo de suelos. <i>J. F. Corella V.</i>	173
Distribución de cultivos en relación con subgrupos de suelos: estudio de caso Honduras. <i>R. Hawkins y E. Vargas V.</i>	190
Manejo de suelos del altiplano central de Guatemala. <i>D. R. Kass</i>	215
El ambiente físico y el arroz de secano en El Bayano, Panamá. <i>J. Jonás</i>	233

PARTE IV: APLICACIONES PRACTICAS: GUIA DE CAMPO

El ambiente físico costarricense	249
Características de las zonas visitadas	254
Volcán Irazú	254
Zona sur	264
Zona norte	279

APENDICE

Programa de la reunión	305
Lista de participantes	309

La realización del Sexto Foro sobre Taxonomía de Suelos fue financiada con aportes de la USAID/ROCAP (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional/Oficina Regional para Programas Centroamericanos); el SMSS (Servicio de Apoyo para el Manejo de Suelos), y la Fundación W. K. Kellogg.

Las opiniones vertidas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no comprometen necesariamente a las instituciones que co-patrocinaron la reunión.

PRESENTACION

La taxonomía de suelos es una herramienta que permite caracterizar los suelos de una región, seleccionar sus propiedades y relacionarlas con el manejo más adecuado para cada tipo y definir algunas características básicas para el establecimiento y desarrollo de los cultivos.

Como disciplina complementaria en la descripción y análisis de los sistemas de cultivo en una área dada, el Departamento de Producción Vegetal del CATIE ha venido dando creciente importancia a la taxonomía de suelos. En ese enfoque de sistemas la taxonomía contribuye con información sobre el manejo de suelos de los sistemas de cultivo; esto incluye también monocultivos y sus relaciones con la ubicación taxonómica de los suelos, lo cual a su vez depende de las propiedades que el suelo presente.

En ese marco general el CATIE, con la colaboración del Servicio de Apoyo para el Manejo de Suelos (SMSS), la Fundación W. K. Kellogg y la Agencia Internacional (AID) a través de su Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP), convocaron al Sexto Foro Internacional sobre Taxonomía de Suelos, el cual se realizó en la Sede del CATIE, en Turrialba, Costa Rica entre el 24 de octubre y el 3 de noviembre de 1983.

El objetivo de la reunión fue contribuir a que técnicos en agricultura, centros de investigación y organismos de los gobiernos interesados en el suelo como un recurso —especialmente de los países del Istmo Centroamericano— obtuvieran información detallada sobre taxonomía de suelos inventario de suelos e interpretación, uso y manejo de los mismos.

Con ese propósito, durante las dos semanas que duró el evento, un total de 25 participantes en el Foro, entre especialistas en suelos y sistemas de cultivo, representantes de organismos internacionales, y profesionales en estudios de posgrado, trabajaron siguiendo un esquema que combinó la presentación y análisis de conferencias técnicas con giras y estudios de campo a tres distintas zonas de Costa Rica, diferentes en topografía, clima y tipos de suelo. Con esas giras se pretendió contribuir al entendimiento y discusión de conceptos básicos y a la aplicación de la taxonomía de suelos.

Durante el Foro y por parte de especialistas invitados para el efecto se presentaron diez conferencias técnicas, seguidas de reuniones plenarias de discusión y análisis sobre materias relacionadas con la taxonomía de suelos y sus aplicaciones prácticas en la interpretación y manejo de los suelos según su fertilidad, en relación con cultivos seleccionados como arroz, café, pastos y frijol. Esas sesiones de trabajo se complementaron con el análisis de estudios de caso en la investigación de sistemas de producción con pequeños agricultores de Centroamérica y los logros alcanzados en el desarrollo de una metodología para extrapolación de resultados de la investigación en sistemas de cultivo del Istmo.

El conjunto de esas conferencias y la guía preparada para las giras de campo se han reunido en esta memoria, con el propósito de ampliar su divulgación y uso en otros ámbitos y para otras personas que no asistieron al evento. Para mejorar la utilidad de esa publicación se ha decidido comenzarla con una introducción y resumen general que relaciona en su primera parte la taxonomía de suelos con el enfoque y la metodología de investigación en sistemas de cultivos. En la primera parte se relaciona y describen brevemente

dos de los trabajos presentados en el Foro, destacando también sus aspectos complementarios y su utilidad para el inventario, reconomicimiento y manejo de suelos.

La introducción y el resumen general compendia en español e inglés, los trabajos del Foro y permite, junto con los resúmenes particulares de cada uno de ellos, que los lectores interesados en estas materias tengan acceso a la información, tanto en la América de habla hispana como en otras regiones.

La publicación reúne en tres partes los trabajos presentados. En la primera se tratan conceptos generales sobre extrapolación de resultados experimentales y su aplicación para determinar la representatividad de un área, incluyendo la información de clima y suelo, así como la de estudios socioeconómicos y sistemas de cultivo prevalecientes. También describe los principios básicos para obtener datos de muestras representativas de suelos y los procedimientos recomendados para la taxonomía de suelos. La segunda parte incluye tres artículos que describen en detalle la clasificación de los suelos en relación con tres cultivos principales (arroz, café y pastos) en ambientes específicos. Estos artículos relacionan también la taxonomía de suelos con la conservación y el uso más eficiente de los recursos. La tercera parte se ha dedicado a estudios de caso en países de Centroamérica, relacionando las características de manejo del suelo y la distribución de los cultivos de frijol en Costa Rica; los subgrupos de suelos y cultivos principales en Honduras; el manejo de los suelos en el altiplano central de Guatemala; y el ambiente físico y el arroz de secano en la región de El Bayano en Panamá.

Los nueve artículos técnicos de esta publicación se complementarán con la guía preparada para las visitas y prácticas de campo, que se incluye como cuarta parte de este volumen, con la descripción taxonómica de los suelos y de la topografía y clima de tres áreas visitadas en Costa Rica, entre ellas las de los tipos volcánico, ústico, montañoso y tropical húmedo.

La organización y coordinación de la reunión estuvo a cargo de un equipo técnico formado por el Dr. Alfredo Alvarado, el Ing. Mario A. Valverde, el Dr. John M. Kimble del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y el Dr. Carlos F. Burgos, la Ing. Dora María Flores y la Ing. María Inés Mora, del Departamento de Producción Vegetal del CATIE en Turrialba.

Para la preparación y publicación de la Memoria del Foro se tuvo la colaboración del Señor Tomás Saraví quien tuvo a su cargo la primera revisión editorial de los trabajos técnicos presentados, y del MS. Andrés R. Novoa B., especialista en comunicación del CATIE, quien editó los textos finales, preparó el resumen general y tuvo a su cargo la labor editorial. La versión en inglés de la Presentación, la Introducción y Resumen General, así como la de los resúmenes de cada uno de los artículos técnicos fue preparada por Sara Todd Burgos y Sara Elena Burgos.

A todos ellos, quienes contribuyeron a la coordinación técnica y administrativa así como a la editorial; al Servicio de Apoyo para el Manejo de Suelos, a la Fundación W. R. Kellogg y a la AID/ROCAP, se les agradece su participación, así como el apoyo financiero que las entidades mencionadas prestaron para la convocatoria y realización del evento.

El Departamento de Producción Vegetal del CATIE espera que la realización del Sexto Foro Internacional sobre Taxonomía de Suelos y la publica-

ción de sus memorias contribuya a los propósitos de que esa disciplina continúe siendo un instrumento importante en el estudio y mejoramiento de los sistemas de producción de cultivos de los pequeños y medianos agricultores. Se espera que el Foro sea seguido por otros eventos similares que pongan énfasis en los sistemas de cultivo; ello serviría para utilizar al máximo el reconocimiento de suelos que existe en muchos países. De tal modo se usarían eficazmente los recursos invertidos en la elaboración de los inventarios y reconocimiento de suelos.

Carlos F. Burgos

Jefe

Departamento de Producción Vegetal

FOREWORD

Soil Taxonomy is an important tool that is used to characterize the soils of a region, to select the soil properties and relate them to the most suitable management practice for each soil type, and to define some basic features for the establishment and development of crops.

As a complementary discipline to the description and analysis of cropping systems in a given area, Soil Taxonomy has become increasingly important in the work carried out by the Crop Production Department of CATIE.

In the systems approach, Soil Taxonomy contributes information concerning soil management in cropping systems; this also includes monocultures and their relationship with taxonomic placement of soils, which at the same time depends on soil properties.

In this general framework CATIE, with the collaboration of the Soil Management Support Service (SMSS), the W.K. Kellogg Foundation, and the Agency for International Development (AID) working through the Regional Office of Central American Programs (ROCAP), organized the Sixth International Forum on Soil Taxonomy, which was held at CATIE's headquarters in Turrialba, Costa Rica, from October 24 to November 3, 1983.

The purpose of this forum was to provide detailed information on Soil Taxonomy, soil inventory, and interpretation, use and management of soils that would benefit agricultural specialists, research centers and government organizations, especially those of Central American countries, interested in soil as a resource.

Working together toward this purpose, over a two-week period, twenty-five soil and cropping systems specialists, representatives from international organizations and scientists in graduate studies participated in a program which combined presentation and analysis of technical lectures with field studies and trips to three zones of Costa Rica quite different in topography, climate and soil types. The objective of these field trips was to contribute to the understanding and explanation of basic concepts, and to the practical application of Soil Taxonomy.

During the forum, guest specialists presented ten technical conferences, followed by plenary discussions and analysis on subjects related to Soil Taxonomy and their practical application in the interpretation and management of soils according to fertility and in relation to selected crops such as rice, coffee, grasses and beans. These work sessions were complemented with case study analysis in production systems research with small Central American farmers and the progress attained in the development of a methodology for extrapolating results in cropping systems research.

Nine of these conferences and the prepared field trip guide have been presented in this document with the purpose of enlarging their diffusion and use in other places and for other interested persons unable to attend the forum. In order to improve the usefulness of this publication, an introduction and general summary precede the scientific works and relate, in the first part, Soil Taxonomy to cropping systems research. Secondly, the papers given in the forum are related to one another and described briefly, with emphasis on their complementary aspects and usefulness for inventory, reconnaissance and

management of soils.

The first part of this volume, which is written both in Spanish and English for a wider public, gives an overall summary of the forum's papers as well as an abstract of each one; this allows readers interested in these subjects access to the information presented therein.

The rest of the chapters in this publication incorporate the papers in three main groups. The first group deals with papers that discuss general concepts on extrapolation of experimental results and their application for determining the representativeness of an area, including climate and soil data, as well as socio-economic studies and prevalent cropping systems. The second group of papers describes the basic principles for obtaining data from representative soil samples and the recommended procedures for Soil Taxonomy. The third chapter includes three articles which describe in detail soil classification as related to three important crops (rice, coffee, grasses) grown in specific environments. These articles also relate Soil Taxonomy with the conservation and more efficient use of resources. The fourth chapter has been dedicated to case studies made in Central American countries, which deal with the following topics: soil management features and the distribution of common bean cropping in Costa Rica; soil subgroups and main crops in Honduras; soil management in the central highlands of Guatemala; and physical environment and upland rice in the El Bayano area in Panama.

The nine technical articles in this publication are complemented by a guide prepared for the field visits and practices. This guide is included as the fifth chapter of this volume, with the taxonomic description of soils, topography, and climate of three different areas visited in Costa Rica; some of these soils are of the volcanic, ustic, mountainous and tropical humid types.

The technical group in charge of organization and coordination of the forum was formed by Mario A. Valverde and Dr. John M. Kimble of the Soil Conservation Service of the United States Department of Agriculture; Dr. Carlos F. Burgos, Miss Dora Maria Flores and Miss Maria Ines Mora from the Crop Production Department of CATIE in Turrialba; and Dr. Alfredo Alvarado of the University of Costa Rica, consultant in Soil Taxonomy for the forum.

The preparation of this publication had the collaboration of Mr. Tomas Saravi, who took charge of the first editorial revision of technical papers presented during the forum, and Dr. Andres Novoa B., Communication Specialist of CATIE, who edited the final version, prepared the general review and took charge of the general editorial work that made possible the production of this publication. The English versions of the foreword, introduction and general review as well as the English summaries of the technical articles were translated and edited by Miss Sara Elena Burgos and Mrs. Sara Todd Burgos. Many thanks to all who contributed to the technical and administrative as well as the editorial coordination; to the Soil Management Support Service, the W.K. Kellogg Foundation and AID/ROCAP, for their participation and financial support in the organization and realization of the forum.

The Crop Production Department of CATIE hopes that the Sixth International Forum on Soil Taxonomy and the publication of its proceedings will contribute to the use of Soil Taxonomy as an important tool for the study and betterment of the small and medium farmers' cropping systems. Also, it is hoped that the forum will be followed by similar events with emphasis on crop production systems. These events would aid in the maximum use of soil inventories which exist in many

countries. In this way the resources invested in the preparation of soil surveys and inventories would be used efficiently.

Carlos F. Burgos
Head, Crop Production Department

INTRODUCCION Y RESUMEN GENERAL

La metodología de desarrollo de tecnología con agricultores que ha producido el CATIE, a través del Departamento de Producción Vegetal, consiste en varias fases: selección de áreas, caracterización, diagnóstico, diseño de alternativas, prueba de alternativas y validación/transferencia de alternativas.

La metodología utiliza el concepto de sistemas; ello se debe a la importancia de considerar el todo cuando se trabaja con unidades pequeñas en las cuales las interacciones entre componentes de los agroecosistemas son muchas e importantes, a causa de las limitaciones de los recursos de producción.

Un agroecosistema es un caso especial de ecosistema. El hombre es el principal agente que controla algunas de las entradas de ese sistema. Cuando las entradas son bien planeadas y manejadas, las salidas son beneficiosas, con rendimientos altos y de buena calidad. Si las entradas son mal manejadas, o si se trabaja con ignorancia, los rendimientos y su calidad pueden ser reducidos, a causa de la nutrición deficiente de las plantas y el aumento del daño producido por insectos y enfermedades. El descenso en los rendimientos y en la calidad puede deberse también a la contaminación del ambiente por uso excesivo de insecticidas y herbicidas, erosión, disminución o contaminación del agua subterránea, o degradación de la calidad de los suelos por desecación ocasionada por la remoción de la cobertura vegetal y otras malas prácticas de manejo.

El suelo puede ser considerado como un subsistema, aunque no es independiente, ya que todos los subsistemas interactúan. El suelo es variado, es demasiado diverso para considerarlo como una unidad.

Podemos utilizar nuestro conocimiento de similitud para organizar o ubicar suelos en grupos que tienen límites e interacciones similares, que requieren insumos similares para producir salidas similares.

Los dos principales tipos de sistemas de clasificación de suelos son el natural y el técnico (utilitario). La taxonomía es uno de los muchos sistemas de clasificación de suelos; es un sistema muy utilizado en el mundo para clasificar suelos a nivel de agroecosistema.

Usamos la taxonomía de suelos para ayudarnos a organizar nuestro conocimiento y clasificar suelos en grupos que pensamos tienen estructura, función e interacciones similares. La taxonomía de suelos en un sistema natural, en el sentido de que agrupa los suelos con una génesis común en las categorías altas y comienza a subdividir los suelos por consideraciones utilitarias en las categorías más bajas. Esto conduce a clases de suelos en niveles sucesivos de clasificación, llamados categorías, que progresivamente estrechan los límites de insumos e interacciones. Las propiedades del suelo asociadas con las clases son a la vez productos y causas de un juego cada vez más estrecho de condiciones ecológicas.

Si el suelo no es alterado por el hombre se comienza a formar un habitat vegetal y animal dado. Dentro de las limitantes de especies disponibles, que ejercen su influencia sobre el suelo. Esto afecta la adición, disminución y transformación que mencionan algunos investigadores, y son procesos que dejan en el suelo cambios relativamente permanentes comparados con los cambios de los tipos vegetativos.

Cuando el área natural es alterada por el hombre, los tipos vegetativos pueden desaparecer, sin embargo, debido a que las propiedades de los suelos son más permanentes podemos usarlas para identificar similitudes entre suelos.

En la estructura de la taxonomía de suelos, los órdenes son subdivididos en subórdenes, éstos en grandes grupos y así hasta llegar a series. La afirmación más específica puede hacerse para la serie, de modo que si se trata de entender un agroecosistema es más fácil estudiarlo dentro de una serie, una familia o grupos de series similares. Tal grupo tiene un rango cada vez menor de interacciones posibles, requiere un rango menor de insumos y un manejo más compacto de limitantes. La clasificación de suelos es más útil en el manejo de un agroecosistema cuando se desea estimar las interacciones posibles.

Los cambios pequeños de manejo pueden motivar grandes cambios del agroecosistema a través de interacción positiva a negativa. A continuación se mencionan algunos casos:

Drenaje. En ciertos suelos permeables el drenaje permite producción de cultivos de secano en áreas naturalmente pantanosas. Otros suelos se vuelven muy ácidos y no producen cuando son drenados.

Riego. En ciertos suelos el riego permite la producción de cultivos de zonas húmedas en suelos áridos. Otros suelos que tienen drenaje lento pueden tornarse salinos o sódicos y producen poco. Otros se vuelven poco productivos porque liberan niveles tóxicos de manganeso u otro catión dañino cuando son regados.

En ciertos suelos de muy baja fertilidad la fertilización puede convertir una comunidad de plantas en otra o aumentar los rendimientos a un nivel que ocasiona deficiencia de elementos menores.

Un suelo es un cuerpo tridimensional y varía tanto horizontal como lateralmente. El arreglo vertical es considerado como una clase de perfil o miembro en la clasificación de suelos. En un ecosistema natural, cuando el suelo cambia lo suficiente (horizontal y lateralmente) se encuentra una comunidad de plantas diferentes.

En áreas no alteradas por el hombre se puede utilizar la comunidad de plantas para ayudar a identificar áreas de suelo relativamente homogéneas.

En cuestiones de manejo, el arreglo espacial se torna muy importante para unidades extensas de tierra haciendo uso de grandes maquinarias.

Cuando hay gran variabilidad en distancias pequeñas, el manejo diferente para cada unidad no es económico. En la agricultura tradicional y de subsistencia, áreas pequeñas de solo unos pocos metros cuadrados pueden que sean manejadas como agroecosistemas separados.

La investigación en sistemas de cultivo y la taxonomía de suelos no solamente se relacionan en cuanto a la información que se requiere sobre las distintas clasificaciones y características de los suelos para poder determinar el potencial de producción de uno o más cultivos y su manejo en una área dada. Una y otra se relacionan también en los conceptos básicos de la metodología de investigación que se utilice, en los métodos y procedimientos de análisis y en la forma como se determinará la información para inferir a partir de ella la utilidad que los resultados experimentales podrán tener en otra y otras áreas similares.

Los dos primeros trabajos de este volúmen, se ocupan de esos temas y describen los conceptos básicos y la metodología de la extrapolación de resultados experimentales (Henaó), así como los requisitos para obtener buenos datos a partir de muestras representativas para el análisis de suelos (Bornemisza). Estos trabajos, aportan conceptos y procedimientos que se enlazan con los análisis y recomendaciones de los restantes trabajos presentados en el Sexto Foro Internacional sobre Taxonomía de Suelos.

En el primero de ellos el autor desarrolla los conceptos de extrapolación e inferencia de resultados experimentales y el enfoque metodológico que se sigue para determinar el dominio de recomendación de una tecnología. Se parte de la tesis de que la investigación que se realiza en sistemas de cultivo tiende a generar tecnología para remover limitantes de producción en una área determinada. Por tanto, el proceso de selección de la tecnología para una área y el reconocimiento de áreas de inferencia constituyen elementos básicos en la inferencia de resultados experimentales.

En este trabajo también se describe la metodología de extrapolación, las estrategias para la caracterización de áreas y las categorías de datos básicos que se requieren de los factores de clima y suelo, el perfil ambiental de los sistemas de cultivo y la representatividad tecnológica de un área. Con base en la descripción de los principios de modelación de sistemas se describen los principales tipos de modelos y sus expresiones para definir las relaciones entre un sistema de cultivo, su manejo y su ambiente. Las características para la conceptualización y desarrollo de modelos, así como los requerimientos de información o de datos experimentales se ilustran con la parte final del trabajo con los resultados preliminares de la evaluación de los sistemas maíz-sorgo y maíz-vigna en una área específica de El Salvador. Con base en esa evaluación y sus resultados se concluye que los factores que se identifican como limitantes de la producción permiten determinar las condiciones de área y sistemas, para predecir el comportamiento de una alternativa de producción en áreas semiáridas del trópico de América Central.

El enfoque de ese primer trabajo es el de aportar conceptos básicos y metodología útiles en la investigación en sistemas de cultivo y, por supuesto, en su relación con la información necesaria sobre el componente suelo del sistema.

En el segundo trabajo de este grupo se complementa ese enfoque en cuanto a la calidad de la información de laboratorio sobre análisis de suelos que requiere el sistema de taxonomía de suelos. La buena calidad de esa información en el proceso de investigación puede obtenerse si se siguen en forma estricta las recomendaciones de la metodología propuesta por la Soil Conservation Service (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA). Consecuentemente, en este trabajo se describen brevemente los principios esenciales de la toma y manejo de muestras de suelo, la determinación de propiedades físicas y químicas y las ventajas y desventajas de los principales procedimientos que se recomiendan. El autor destaca que para tener adecuado control del proceso de análisis es esencial que a las muestras de campo se acompañen "patrones" o muestras ya conocidas. De esta manera se puede tener confianza de que al clasificar las muestras los datos pueden ayudar a tomar las decisiones taxonómicas basándose en la información de laboratorio. Se concluye señalando que sólo con base en datos analíticos

confiables se puede aprovechar toda la riqueza de clasificación de la taxonomía de suelos. Esa riqueza y utilidad se basan tanto en el buen trabajo de laboratorio como en la aplicación de los procedimientos recomendados para la taxonomía de suelos.

Como se ha destacado, la metodología de desarrollo de tecnología con agricultores que ha producido el CATIE utiliza el concepto de sistemas. Ello se debe a la importancia de considerar el todo cuando se trabaja con unidades pequeñas en las cuales las interacciones entre componentes de los agroecosistemas son muchas e importantes. En el marco de esa metodología el suelo es considerado como un subsistema; es variable, diverso, demasiado diverso para considerarlo como unidad.

Precisamente de esas interacciones entre componentes de un agroecosistema y el suelo en su diversidad tratan los tres trabajos que se incluyen en la segunda parte. En el primero de ellos (Cordero) se parte de información sobre las principales áreas arroceras del mundo y los diversos tipos de suelos, para luego referirse a los principales órdenes y subórdenes en los cuales se encuentra ese cultivo en Costa Rica. En el segundo trabajo (Vásquez) se describe la clasificación taxonómica, a nivel de familia o de subgrupo, de los suelos en el área de riego del río Tempisque y de las principales zonas cafetaleras de Costa Rica. Por último, Spain examina en su trabajo las características de los principales suelos considerados marginales en donde se encuentran pastos, y sus relaciones con los sistemas de producción basados en pastizales de leguminosas y gramíneas adaptadas al medio edáfico de las regiones del trópico americano.

El arroz es un cultivo que se encuentra ampliamente distribuido en una gran diversidad de patrones geomorfológicos: valles intermontanos; abanicos aluviales y planicies de piedemonte; planicies de meandros de ríos; planicies fluvio-acustres; planicies fluviales-marinas, y terrazas aluviales. La mayoría de los suelos arroceros del mundo se siembran por el sistema de anegado, pero el 75 por ciento de las siembras de ese grano en Latinoamérica y Africa se realiza bajo condiciones de secano; en Centroamérica ese índice alcanza el 90 por ciento. En Costa Rica el arroz de secano se encuentra ubicado principalmente en las tierras planas del litoral pacífico.

En forma global el arroz se presenta en prácticamente todos los órdenes de suelo. En el trabajo de Cordero se da importante información sobre los principales subórdenes, como los Aquepts, Ochrepts, Tropepts, Aqualfs, y Aquults. En Costa Rica los suelos arroceros se encuentran ubicados principalmente en los órdenes: Inceptisoles, Mollisoles y Vertisoles. En el trabajo se describen las características más importantes de los principales órdenes y subórdenes de los suelos arroceros, según el mapa generalizado de suelos de Costa Rica. Así mismo, en la parte final, el autor presenta información sobre la evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros de Costa Rica en los últimos 25 años, así como una recopilación de los avances de la investigación sobre fertilización del cultivo del arroz de secano en ese país. En este sentido se destaca que el cultivo se encuentra en su mayoría en áreas planas y de origen aluvial con un alto potencial agrícola. De allí que a diferencia de la fertilización nitrogenada, con altos niveles de respuesta y duplicación de la producción, las aplicaciones de fósforo y potasio tienen respuestas de menor grado. En todos los casos la respuesta a la fertilización

está estrechamente asociada a las nuevas variedades de altos rendimientos.

En el trabajo de Vásquez se describe brevemente la localización, clima y geología del valle del río Tempisque y tributarios, donde se encuentra un proyecto de riego en la provincia de Guanacaste, en Costa Rica. Luego de mencionar y discutir los criterios básicos que permitieron la clasificación taxonómica de los suelos encontrados en cada una de las categorías fisiográficas en que se divide la zona en estudio, el autor describe las principales características de los suelos de la llanura aluvial del río Tempisque (Inceptisoles y Mollisoles); del curso medio (Entisoles e Inceptisoles), y del curso inferior del río (Entisol). Así mismo se describen los suelos de la meseta volcánica de Santa Rosa, la transición de esta meseta hacia la bajura de Filadelfia, los suelos de las colinas, lomerías y serranías y de la planicie fluvio-lacustre. En la segunda parte de su trabajo Vásquez presenta la clasificación taxonómica de los suelos de las principales zonas cafetaleras de Costa Rica, destacándose los suelos del Valle Central y de la zona de Tilarán que pertenecen a los órdenes Ultisoles e Inceptisoles; los de la zona norte clasificados como Ultisoles y Alfisoles; los de la zona Atlántica y de San Isidro del General clasificados como Ultisoles; los Inceptisoles en la zona de Coto Brus, y los Alfisoles en la península de Nicoya. Para complementar la información sobre los suelos en las zonas de riego y las áreas cafetaleras, el autor aporta un detallado anexo con cinco perfiles de suelos, incluyendo datos sobre clasificación, ubicación, forma, pendiente y uso agrícola de los suelos en cada sitio; características edáficas, así como análisis fisiográficos y de química del suelo.

En el tercer trabajo de este grupo (Spain), se parte de la afirmación de que mediante el uso de especies de plantas y animales adaptadas y eficientes, y con un manejo adecuado, se pueden desarrollar sistemas de alta producción estables y sostenibles. Para sustentar su afirmación el autor comienza por señalar las características que hacen limitantes los suelos marginales. Se basa para ello en cuatro criterios: suelos de baja fertilidad, mal drenados e inundables; suelos en zonas muy aisladas y suelos de topografía accidentada o con demasiada pendiente para la agricultura. Como alternativa, el autor indica que existen muchas especies de leguminosas y gramíneas forrajeras de alto potencial productivo y buena calidad que se adaptan al medio edáfico sin necesidad de utilizar correctores del suelo (como la cal) y fertilizantes, debido a que han evolucionado en suelos ácidos e infértiles.

Como ventajas de los pastos tropicales para el uso y conservación de los recursos se destacan su contribución para proteger el suelo de la erosión, cuando están adaptados y son bien manejados; su papel en el reciclaje de nutrientes, su alta conversión de la energía solar, y la actividad biológica del suelo que favorecen especialmente cuando están asociados a la producción animal. En este último aspecto se indica que, por ejemplo, la carne y la leche, como productos de los pastos con bovinos, demandan muy poca extracción de minerales del pastizal, ya que están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, que son extraídos del agua o del aire. Las proporciones de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el cuerpo del ganado bovino vivo son tales, que aunque se sumen todas las cantidades de otros elementos extraídos diferentes al nitrógeno, no alcanzan a 10 kilos en un animal de 400 kilos de peso vivo.

Los pastos, en general, pueden tener una muy baja cobertura de la superficie del suelo. Por esto, por el balance favorable de carbono y nitrógeno y por el sistema radicular eficiente de las plantas forrajeras, hay un reciclaje muy eficiente de nutrimentos. En ese ambiente las raíces de las plantas, directamente y mediante la simbiosis de la micorriza, son muy eficientes en la absorción de los nutrimentos en general y de fósforo en especial, dándoles poca oportunidad para que éste se fije en forma inorgánica en el suelo.

Esta función de la asociación raíz-micorriza-vesícula-arbuscular (MVA) es examinada en detalle por el autor en su trabajo, destacando en particular su importancia en la asociación de gramíneas y leguminosas en los pastizales del trópico húmedo. Destaca también el papel de esas asociaciones en relación con la fertilidad de los suelos, los requerimientos de nutrimentos por las plantas y su potencial productivo.

Con base en esas consideraciones y la necesidad de reducir los costos de producción por medio de fuentes de nutrimentos menos solubles que suministren las necesidades de la planta, el autor desarrolla el concepto de pastizales estables y sostenibles. En este aspecto destaca las características que pueden cambiar el pesimismo de muchos científicos debido a las experiencias que se han tenido con pastos en el trópico húmedo, especialmente en zonas de bosque. En la parte final de su trabajo Spain examina brevemente las características del ecosistema de bosque húmedo en comparación con el de las sabanas, así como los recursos de germoplasma de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al trópico húmedo americano. Concluye destacando que los pastizales formados de ese germoplasma, bien manejados, requieren pocos insumos, son eficientes en la conservación del suelo y los nutrimentos y son muy productivos.

Los cuatro trabajos que comprenden la tercera parte se asemejan a estudios de caso que relacionan la clasificación taxonómica de los suelos a nivel de grandes grupos y subgrupos, con la distribución de los cultivos principales (y en general con el uso del suelo) en cuatro países de Centroamérica.

En el primero de ellos, Corella se ocupa del cultivo de frijol en Costa Rica y la clasificación y manejo de suelos. Describe los principales factores generales de suelos, su clasificación y aptitud para el cultivo y las condiciones físico-químicas que se requieren para su óptimo crecimiento; así mismo hace algunos comentarios sobre el manejo de los suelos con énfasis en la fertilización.

En Costa Rica el frijol se cultiva en diferentes tipos de suelos con diversas deficiencias o toxicidades nutricionales que pueden limitar el desarrollo de la planta y su rendimiento. El frijol se produce en la zona montañosa donde predominan los suelos de origen volcánico; también en la zona de piedemonte, en suelos aluviales y en otra gran diversidad de suelos.

Para la clasificación y aptitud de los suelos para el cultivo de frijol, el autor presenta el mapa generalizado de suelos de Costa Rica superpuesto por el mapa ecológico del cultivo y el de las principales zonas productoras de frijol en el país. Con base en esto y en el cálculo del área de los suelos seleccionados -pues se eliminaron los suelos mal drenados, de texturas pesadas y los suelos de poco desarrollo- se presenta una descripción de las áreas de cultivo en el país, además de otros aspectos como aptitud para el

cultivo, fertilidad y pendiente de los suelos.

Basándose en la consideración de que el suelo es sólo un factor en el cultivo, pero importante en cuanto determina la interacción de otros como el potencial genético, las condiciones climáticas y el nivel tecnológico de los agricultores, la segunda parte del trabajo se ocupa del manejo de los suelos y algunas características físicas y de fertilidad que presentan los suelos aptos para el cultivo de frijol en Costa Rica. En este aspecto se destacan los principales problemas de fertilidad, clasificados en cuatro grupos de acuerdo con el nivel de disponibilidad de nutrientes aprovechables por la planta, según los diferentes grupos y características de los suelos. Como conclusión del análisis de esas características de fertilidad, el autor presenta recomendaciones generales para los grupos de suelos examinados: suelos de baja fertilidad, de fertilidad media, suelos con problemas de acidez y suelos volcánicos. Adicionalmente se tratan brevemente la fertilización foliar, la fertilización en el sistema de frijol tapado y el uso de abonos orgánicos en este cultivo.

En el trabajo de Hawkins y Vargas se describe un método para caracterizar los suelos en que se siembran diferentes cultivos. El método se basa en el uso de computadoras -que ha facilitado procesar grandes cantidades de información- una de cuyas aplicaciones ha sido el manejo de datos geográficos. En este trabajo los autores describen el método, en el que se utilizó el Sistema Comprensivo para el Inventario y Evaluación de datos de Recursos (CRIES), elaborado en el Departamento de Desarrollo de Recursos de la Universidad del Estado de Michigan (USA), superponiendo mapas de cultivos (por municipio) y de clasificación de suelos (según el Soil Taxonomy), para definir la extensión de cada cultivo principal de acuerdo con los subgrupos de suelos en Honduras. Basándose en esa descripción, los autores discuten los problemas que se enfrentan respecto al aumento de la producción de cultivos y al desarrollo agrícola en general.

Luego de describir la metodología, en el trabajo se describen y analizan seis grupos de suelos en Honduras: Lithic Ustorthents, Typic Tropohumults, Lithic Dystropepts, Lithic Haplustoll, Typic Ustrophept, y Tropic Fluvaquents. A continuación se aportan datos sobre superficie sembrada, tipos de suelos, distribución y problemas asociados al suelo para los cultivos de pastos, granos básicos, café, caña de azúcar, y banano, plátano y otros guineos. Los resultados muestran dos tipos de cultivo principales: los dedicados a la producción de alimentos básicos para consumo interno, y aquellos dedicados al mercado de exportación. En general los cultivos para consumo interno se encuentran en todo tipo de suelo, grandes extensiones de los cuales (como los Lithic Ustorthents) presentan serios problemas para el cultivo. Por otra parte, los cultivos de exportación están concentrados en los suelos de mayor potencial. El análisis muestra además que en Honduras se tiene en general baja calidad en el recurso suelo, y que algunos de los peores suelos se utilizan para sembrar granos básicos, con un uso intensivo, lo cual unido a la presión demográfica y a la conversión de muchos terrenos en pastizales, trae consigo una disminución de la fertilidad y un aumento en la erosión.

Los suelos del altiplano central de Guatemala son el objeto del trabajo de Kass. Estos suelos con elevaciones mayores de 1000 metros sobre el nivel del mar y equivalen a un tercio de la superficie total de Guatemala; cerca de

la mitad provienen de ceniza volcánica. Además son de los mayores suelos en el país y se encuentran alrededor de áreas muy pobladas. La alta capacidad de retención de agua que tienen esos suelos permite que los agricultores los utilicen para producir cultivos durante más de ocho meses al año, en áreas donde la precipitación fluvial puede ser menor a los 1000 mm anuales.

En su trabajo, Kass considera las 79 series de suelos que Simmons *et al.* han indicado como localizadas a más de 100 metros de altura en Guatemala. Según las descripciones de esos autores, Kass las divide en cuatro grupos: a) Volcánico profundo; b) Volcánico no profundo; c) No volcánico profundo, y d) No volcánicos no profundos. A su vez, divide cada grupo en tres clases de relieves: a) planos, con pendientes menores de 10 por ciento; b) ondulados, con pendientes entre 10 y 25 por ciento, y c) inclinados, con más de 25 por ciento de pendiente. Basado en esta clasificación examina las características de los suelos y la distribución y manejo de los principales cultivos. Uno de los factores examinados es el de las prácticas tradicionales para conservar agua en esos suelos. Algunos de ellos -suelos volcánicos y profundos en pendientes del 10 al 25 por ciento- son también muy utilizados para agricultura, ya que con frecuencia el agua es un factor menos limitante que en los suelos de los valles. Sin embargo, con frecuencia se necesitan prácticas especiales para evitar daños por heladas.

En sus conclusiones el autor señala que desafortunadamente los suelos planos han recibido mayor atención de los investigadores, y que aún en el caso de los suelos planos y profundos de origen volcánico la investigación ha sido poca. Es probable, sin embargo, que las prácticas de manejo más comunes -como el aprovechamiento de la humedad residual en relación con la época de siembra- fueran desarrolladas en los suelos planos y extendidas a los suelos más ondulados, cuando las presiones demográficas demandaban la utilización de esta área. Este aspecto de la presión ha resultado en que algunos de los suelos menos profundos y menos fértiles que se utilicen en la producción de cultivos alimenticios; como consecuencia, una considerable parte del suelo se ha perdido debido a la erosión.

En el último trabajo de este grupo, Jonas se ocupa del análisis de las características agroclimáticas de suelos y de tecnología del cultivo del arroz de secano en la zona de El Bayano en Panamá. El autor pone énfasis en este cultivo al señalar que el arroz de secano es un cultivo importante en Panamá, tanto por el área cultivada total como por la producción de grano y los rendimientos del cultivo. Además de sus contribuciones al Producto Interno Bruto del sector agropecuario del país, el cultivo del arroz es importante porque los agricultores de subsistencia son responsables de cerca del 60 por ciento del área cultivada y porque ese grupo de productores se encuentra en ambientes desfavorables con una tecnología de producción rudimentaria.

Luego de describir las características agroclimáticas del área en estudio, el autor examina brevemente las características de seis grandes unidades de suelos y su relación e importancia para el cultivo de arroz de secano. Destacan entre ellas las tierras onduladas y ligeramente onduladas; las planicies fluviales, y las planicies fluviales inundables. En cada caso se hacen indicaciones sobre el tipo de tecnología y manejo del cultivo.

En la parte final de su trabajo, Jonas hace referencia a las innovaciones agroeconómicas y tecnológicas del cultivo, especialmente en cuanto a

variedades, fertilización y combate de malezas e insectos. Aspectos que se consideran como los limitantes más importantes de la producción de arroz de secano particularmente en cuanto a sus relaciones con las características del suelo y su manejo. Se indica, así mismo, que los aspectos prácticos de las innovaciones tecnológicas para el cultivo de arroz de secano se deben en gran medida al esfuerzo espontáneo de los agricultores de la región. Por otra parte, el autor aclara que el dominio de aplicación de las recomendaciones para el cultivo desarrolladas hasta el presente, corresponden en términos físicos a las tierras de origen fluvial.

La última parte de estas memorias está dedicada a la guía que se preparó para las visitas al campo que se realizaron a tres distintas zonas en Costa Rica. La primera parte de la guía describe las características generales de clima, vegetación, geología y geomorfología de el ambiente físico costarricense. En general se consideran dos grandes zonas: las de relieve plano-ondulado (llanura norte-atlántica; llanura de Guanacaste; llanura de El General y llanura del Pacífico), y las zonas ondulado-montañas (volcánica reciente; cordillera de Talamanca y área de Nicoya-Santa Elena). La segunda parte de la guía presenta la descripción detallada de 21 perfiles de suelos: cuatro de la gira al volcán Irazú; siete de las giras a la zona sur (Cerro de la Muerte; San Isidro del General, y Palmar Sur); y diez de la zona Norte (Guanacaste). En cada caso se da información sobre la distribución de áreas por tipos de suelos, las características agroclimáticas y ecológicas y los datos de campo y de laboratorio de cada uno de los perfiles de suelo.

INTRODUCTION AND GENERAL SUMMARY

The methodology for generating technology with farmers, that CATIE has developed through the Crop Production Department, consists of the following phases: selection of areas, characterization, diagnosis, design of alternatives, testing of alternatives, and validation/transference of alternatives.

This methodology uses the systems approach because of the importance of considering the whole system when working with small units in which the interactions between components of the agroecosystems are abundant and significant due to the limitations of production resources.

An agroecosystem is a special case of ecosystem. Man is the main agent who controls various inputs of this system. When the inputs are well-managed and well-planned, results are beneficial, with high yields and good quality products. If the inputs are poorly managed, or if the work is done with ignorance, results and quality can be reduced because of deficient plant nutrition or increased damage by insects or disease. Reduced yields and quality can also be due to environmental pollution caused by excessive use of insecticides and herbicides, soil erosion, decrease or pollution of underground water, or the degradation of soil quality due to desiccation caused by the removal of vegetal cover and other poor management practices.

The soil can be considered as a subsystem although it is not independent, for subsystems interact with each other. The soil is variable, diverse; it is too diverse to be considered as a unit.

We can use our knowledge of similitude to organize or place the soils in groups which have similar limits and interactions and need rather similar inputs to produce similar outputs.

The two main types of soil classification systems are: natural and technical (utilitarian).

Soil Taxonomy is one of the many systems of soil classification; it is a system widely used in the world for classifying soils at the agroecosystem level.

We use Soil Taxonomy to help us organize our knowledge and classify soils in groups that we think have similar structure, function and interactions.

Soil Taxonomy is a natural system in the sense that it groups the soils with a common genesis in the highest categories and begins to subdivide the soils by utilitarian considerations in the lower categories.

This leads us to soil classes in successive levels of classification, called categories, that progressively narrow the limits of inputs and interactions.

The soil properties associated with the classes are at the same time both products and causes of an ever-narrowing set of ecological conditions.

When the soil is left undisturbed by man, a natural vegetal and animal habitat begins to form within the constraints of available species and exerts its influence on the soil. This affects the processes of addition, depletion and transformation mentioned by some researchers, which leave relatively permanent changes in the soil compared to the vegetative types themselves.

When the natural area is altered by man, the vegetative types can disappear; however, because soil properties are more permanent, we can utilize them to identify similarities among soils.

In the structure of Soil Taxonomy, orders are divided into suborders, these into large groups and so on down the line until one reaches series.

A more specific affirmation can be made for a series, so in order to understand an agroecosystem, it is much easier to study it within the framework of a series, a family or groups of similar series. Such a group has an ever-diminishing range of possible interactions, requires a smaller number of inputs and has a more compact set of constraints. Classification of soils is more useful in the management of an agroecosystem when one wishes to estimate possible interactions.

Small changes in management can motivate large changes in the agroecosystem through a positive or negative interaction. Some cases are mentioned below:

Drainage: In certain permeable soils, drainage permits the production of upland crops in areas that are naturally swampy. Other types of soils become very acid and therefore unproductive when they are drained.

Irrigation: In certain arid soils irrigation permits the production of crops from humid zones.

Other soils that have slow internal drainage may become saline or sodic and produce very little.

Others become less productive because they liberate toxic levels of manganese or other damaging cation when irrigated.

In certain very low-fertility soils, fertilization can convert one plant community into another or increase yields to a level that causes deficiency of minor elements.

A soil is a tridimensional body and varies horizontally as well as laterally. The vertical arrangement is considered as a profile class or number in soil classification or a pedon in a given land.

In a natural ecosystem, when the soil changes enough (horizontally or laterally), one finds a different plant community.

In areas not altered by man, one can utilize the plant community to help identify areas of relatively homogeneous soils.

For management purposes, the spatial arrangement is very important for extensive units of soil tilled with heavy farm machinery.

When there is great variability within small distances, different management for every unit is not economical. In traditional and subsistence agriculture, small areas of only a few square meters can be managed as separate agroecosystems.

Soil Taxonomy provides cropping systems research with information on soil characteristics which help to determine production potential of one or more crops and their management for a given area. Other contributions of Soil Taxonomy to systems research include basic concepts of the research methodology being used, methods and procedures of analysis, and means of determining information from which can be inferred the possible usefulness of experimental results in another similar area or areas.

The first two papers in this volume deal with those themes and describe basic concepts and methodology for extrapolating experimental results (Henao), as well as requirements for obtaining good data starting with representative samples for soil analysis (Bornemisza). These two papers, that form the second chapter of this publication, provide concepts and procedures linked to the analysis and recommendations of the other papers presented in the Sixth Forum on Soil Taxonomy. In the first of these, the author develops concepts of extrapolation and inference of experimental results and the methodological approach that is followed for determining the domain of recommendation of a technology.

The assumption is made that cropping systems research tends to generate technology for removing production constraints in a determined area. Therefore, the process of selecting technology for an area and the definition of areas of inference are basic elements in the inference of experimental results.

In the second part of this work, the following aspects are described: extrapolation methodology, strategies for area characterization and categories of basic data that are required on climatic and soil factors, the environmental profile for cropping systems, and the technological representativeness of an area. Based on system modelling principles, description is given of the main types of models and their expressions for defining the relationships between a cropping system, its environment and management. Characteristics for conceptualizing and developing models, as well as information requirements of experimental data, are illustrated in the final part of the work with preliminary results of the maize-sorghum and maize-cowpea cropping systems in a specific area of El Salvador. Based on this evaluation and its results, the conclusion is made that factors which are identified as production constraints allow researchers to determine area and systems conditions for predicting the performance of a production alternative in semi-arid regions of the tropics in Central America.

The approach of this first work is to provide basic concepts and useful methodologies in cropping systems research and, of course, in its relationship with necessary information on the soil component of the system. In the second paper of this group, the approach in regard to quality of laboratory information on soil analysis required by Soil Taxonomy is complemented.

Good quality of information in the research process can be obtained if recommendations on the methodology proposed by the Soil Conservation Service (SCS) of the United States Department of Agriculture (USDA) are strictly followed. Consequently, this work contains the essential principles for sampling and handling soil samples, the determination of physical and chemical properties, and the advantages and disadvantages of the main procedures that are recommended. The author points out that in order to have adequate control of the analytical process, it is essential that field samples be accompanied by standards or samples previously analyzed. In this way one can be confident that when samples are classified, the data can help to make taxonomic decisions based on laboratory information. The conclusion is made that only with a basis of reliable analytical data, is it possible to take advantage of all the wealth of Soil Taxonomy. This wealth and usefulness are based on good laboratory work and on the application of procedures recommended for Soil Taxonomy.

As pointed out in the general introduction, the methodology that CATIE has developed for generating technology with farmers utilizes the systems concept. This is due to the importance of considering the unit as a whole when working with small farms where the interactions between components of the agroecosystem are many and significant. In the framework of this methodology, the soil is considered as subsystem; it is variable, diverse, too diverse to be considered as a unit.

The three papers included in the third chapter deal precisely with interactions between the components of an agroecosystem and the soil and its diversity. In the first paper (Cordero), the author gives information on the principal rice-growing areas of the world and the different soil types; then he refers to the main orders and suborders on which rice is grown in Costa Rica.

In the second paper, Vasquez describes taxonomic classification, at the family or subgroup level, of soils in the irrigation area of the Tempisque

River and in the main coffee-growing areas of Costa Rica. Lastly, Spain in his paper examines characteristics of the main soils considered marginal where pastures are grown, and their relationship with production systems based on pastures of legumes and grasses adapted to edaphic conditions of the American humid tropics.

Rice growing is widely distributed on a large diversity of geomorphological patterns: intermontane valley; alluvial fans and piedmont plains; river meander plains; fluviolacustrine plains; fluviomarine plains; and alluvial terraces. Most of rice-growing soils are used for paddy rice, but 75 percent of the rice in Latin America and Africa is grown as an upland crop; in Central America the percent of upland rice reaches 90 percent. In Costa Rica upland rice is mainly located in the flat lands of the Pacific littoral.

In a global form, rice is present practically on every soil order. In Cordero's paper, important information is given on the main suborders, such as: Aquepts, Aquepts, Ochrepts, Tropets, Aqualfs, and Aquults. In Costa Rica, rice-growing soils are placed mainly in the following orders: Inceptisols, Mollisols and Vertisols. In this paper, the most important characteristics of the main orders and suborders of rice-growing soils are described according to the generalized soils map of Costa Rica. In the final part, the author presents information on the evaluation of fertility of rice-growing soils in Costa Rica during the last 25 years, as well as a summary of research progress in the fertilization of upland rice in Costa Rica. He points out that upland rice is found mainly in flat areas of alluvial origin with a high agricultural potential. For this reason, and contrary to nitrogen fertilization which results in high levels of response and duplication of production, phosphorus and potassium applications obtain low-level responses. In all cases, response to fertilization is closely associated with new high-yield varieties.

In his paper, Vasquez briefly describes the localization, climate, and geology of the valley of the Tempisque River and its tributaries, where an irrigation project of that Guanacaste River is located in Costa Rica. He mentions and discusses basic criteria which allowed him to taxonomically classify soils found in each of the physiographic categories in which the area under study is divided. Then the author describes the main characteristics of soils located on the alluvial plain of the Tempisque River (Inceptisols and Mollisols); those at the medium river course (Entisols and Inceptisols); and soils at the lower river course (Entisols). Further description follows of soils on the volcanic plateau of Santa Rosa, in the transition from this plateau to the lowlands of Filadelfia, and soils on the rolling hills, hills and highlands of the fluviolacustrine plains. In the second part of his paper, Vasquez uses Soil Taxonomy to classify soils in the main coffee-growing areas of Costa Rica; he emphasizes Central Valley soils and Tilaran soils which belong to the Ultisol and Inceptisol orders; soils from the North Zone which are classified as Ultisols and Alfisols; Atlantic zone and San Isidro de El General soils classified as Ultisols; Inceptisols of the Coto Brus Zone, and Alfisols of the Nicoya Peninsula. As a complement to the information on soils in irrigation zones and coffee-growing areas, the author presents a detailed annex with five soil profiles, including data on classification, location, shape, slope and agricultural use of soils on each site, edaphic characteristics, and physiographic analysis and soil chemistry analysis.

In the third paper of this group, Spain begins by stating that through the use of efficient and adapted plant and animal species, and with adequate management, it is possible to develop stable and sustained highly productive

systems. To support his statement, the author points out characteristics which make marginal soils limiting. He bases these limitations on four criteria: low fertility soils, poorly drained and flooded soils, soils in isolated zones, and those on topography that is uneven or too steep for agriculture. As an alternative, the author indicates that there are many legumes and grass species of high production potential and good quality which the farmer can adapt to the soil without having to apply soil amendments (such as lime) and fertilizers. This adaptation is possible because those plants have evolved in acid and low-fertility soils.

The author points out that the contribution of tropical pastures in protecting the soil from erosion is an advantage in the use and conservation of natural resources. This occurs when the plants are well-adapted and properly managed. The plants' role in nutrient recycling, high solar energy conversion, and soil biological activity is favorably enhanced when they are associated with animal production. Regarding this last aspect, Spain indicates that, for example, meat and milk as products of pastures with bovines demand little mineral extraction from the pasture land, since they are mainly composed of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen. These elements are obtained from water and air. The proportions of nitrogen, calcium, phosphorus, potassium, sulfur and magnesium in the body of live cattle are such that even if the amounts of extracted elements other than nitrogen are added, the sum does not reach 10 kilograms for an animal of 400 kilos of live weight.

Pastures, in general, can provide good plant cover for the soil. For this reason and the favorable carbon to nitrogen ratio of the plant tissue and for the very efficient root system of the forage plants, there is very efficient recycling of nutrients. In this environment plant roots, either directly or through symbiosis with mycorrhiza, are very efficient in nutrient uptake in general and especially of phosphorus. Therefore, this nutrient has little opportunity for inorganic fixation in the soil.

In his paper, Spain examines in detail the function of the root vesicular-arbuscular mycorrhiza association (VAM). He points out, in particular, the importance of VAM in grass and legume associations in pastures of the humid tropics. He also emphasizes the role of these associations in relation to soil fertility, the plants' nutrient requirements and their production potential.

Based on these considerations and the need to reduce production costs through the use of less soluble sources of plant nutrients, the author develops the concept of stable and sustained pastures. On this point, Spain stresses the characteristics that may change the pessimism of many scientists due to past experiences with pastures in the humid tropics, especially in forest zones.

In the final part of his paper, Spain briefly examines ecosystem characteristics of the humid forest as compared to savannas, and the germplasm resources of grass and legume forages adapted to the American humid tropics. He concludes by emphasizing that pastures formed by this germplasm, when well managed, require little inputs, are efficient in soil and nutrient conservation and are very productive.

The four papers of this chapter are similar to case studies relating taxonomic classification of soils, to great group and subgroup level, with main crop distribution (and in general with soil use) in four countries of Central America.

In the first of these papers, Corella deals with cropping of common bean

in Costa Rica and classification and management of soils. He describes the main general soil factors, soil classification and aptitude towards the crop, and physical-chemical conditions that are required for optimum bean growth. At the same time, some comments are made about the management of these soils with emphasis on fertilization.

In Costa Rica common bean is planted in different types of soils with diverse nutritional deficiencies or toxicities that can limit plant development and yields. Common bean is produced in mountainous areas where soils of volcanic origin predominate and also in the piedmont area, in alluvial soils and in a large diversity of soils.

For classification and aptitude of soils for bean cropping, the author presents a generalized soils map of Costa Rica overlaid with an ecological map for the crop and one showing the main bean production areas in the country.

Based on the above and on the calculation of areas which contain selected soils (eliminating poorly drained soils, heavy textured soils, and poorly developed soils) the following features are presented: a description of cropping areas in the country, and other soil aspects such as aptitude for the crop, fertility and gradient.

Considering that soil is only one factor in cropping, but an important one for it determines the interaction of other factors such as genetic potential, climatic conditions and the farmers' level of technology, the second part of the work deals with soil management and some physical and fertility characteristics present in soils suitable for bean cropping in Costa Rica.

Emphasis is placed on the main problems of fertility, which are classified in four groups according to availability of nutrients advantageous to the plant and according to characteristics and different groups of soils. In concluding this analysis of fertility characteristics, the author makes general recommendations for the analyzed soil groups. These soil groups include low-fertility soils, those of medium fertility, soils with acidity problems, and volcanic soils. In addition, the author briefly analyzes foliar fertilization, fertilization of covered bean (frijol tapado), and the use of organic fertilizers in these crops.

Hawkins and Vargas describe in their paper a method to characterize soils where several different crops can be planted. This method is based on the use of computers which have facilitated processing of large quantities of information. One of the applications has been the management of geographic data. In this paper the authors describe the method in which the Comprehensive Resource Inventory and Evaluation System (CRIES) was used. CRIES was elaborated by the Resource Development Department of Michigan State University (USA). The authors overlaid cropping system maps (by municipality) and soil classification maps (according to Soil Taxonomy) to define the extension of each main crop according to soil subgroups in Honduras. Based on this description, the authors discuss the problems that arise with respect to increased crop production and agricultural development in general.

After discussing the methodology, the authors describe and analyze six soil groups in Honduras. These are the Lithic Ustorthents, Typic Tropheumults, Lithic Dystropepts, Lithic Haplustolls, Typic Ustrophepts, and Tropic Fluvaquents. In continuation, data is provided about surface area planted, soil types, distribution and problems related to the soil in pasture crops, basic grains, coffee, sugar cane, and banana, plantains and other banana varieties.

The results demonstrate two main types of cropping systems: those intended for basic food production for local consumption and those intended for the

export market. In general, crops for local consumption are grown in all kinds of soil, large extensions of which (as the lithic Ustorthents) present serious problems for the crops. On the other hand, export crops are concentrated in soils of greater potential. The analysis also demonstrates that Honduras has, in general, low quality soils, and that some of the poorest soils are utilized very intensely in the planting of basic grains. This, added to the demographic pressure and the conversion of many lands into pastures, causes a decrease in fertility and an increase in erosion.

Soils of the central highlands in Guatemala are the object of Kass' work. These are soils at elevations more than 1000 meters above sea level and are equivalent to a third of Guatemala's total surface; close to fifty percent of the soil comes from volcanic ash. These soils are the main ones in the country and are found close to very populated areas. The high water-holding capacity of these soils is used by farmers to extend crop production for more than eight months in a year in areas where rainfall is less than the yearly 100 mm.

Kass, in his paper, considers all of the 79 soil series that Simmons *et al* have indicated as localized in areas more than 1000 meters above sea level in Guatemala. According to those authors' descriptions, Kass divides them into four groups: a) deep volcanic; b) not deep volcanic; c) deep not volcanic; and d) not volcanic not deep. At the same time, he divides each group into three relief types which are the following: a) plains, with slope less than 10 percent; b) undulated, with slopes between 10 and 25 percent; and c) inclined, with slopes more than 25 percent. Kass, using this classification as a base, examines the characteristics of the soils and the distribution and management of the main crops.

One of the factors examined is that of traditional practices for conserving water in these soils. Some volcanic and deep soils on slopes of 10 to 25 percent are widely used for agriculture, because on these soils water is often a less limiting factor than on valley soils. However, special practices are needed to avoid injuries caused by frost.

In his conclusions, the author points out that unfortunately flat soils have received greater attention from researchers, and that even in the case of flat and deep soils of volcanic origin, research has been scanty. It is possible, however, that the most common management practices (such as the use of residual moisture in relation to planting date) could have been developed in flat soils and extended to more undulated soils when demographic pressure demanded the use of this area. This pressure has caused some of the shallower, less fertile soils to be utilized in the production of food crops; as a consequence, a considerable part of the soil has been lost because of erosion.

Jonas, in the last paper of this group, deals with analysis of the soils' agroclimatic characteristics and with cropping technology of upland rice in the El Bayano area of Panama. The author emphasizes that this crop is very important in Panama, not only because of the total area cultivated but also because of grain production and crop yields. In addition to its contribution to the gross Internal Product of the national agricultural sector, rice growing is important because subsistence farmers are responsible for approximately 60 percent of the cultivated area and also because this group is found in an unfavorable environment with rudimentary production technology.

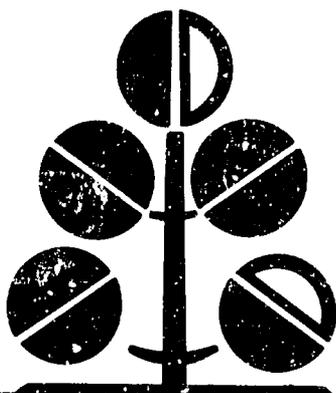
After describing agroclimatic features of the area under study, the author proceeds to briefly examine the characteristics of six large soil units and their relation to and importance for the growing of upland rice. Of these

units, the author gives more attention to the undulated and slightly undulated lands, fluvial plains, and flooding fluvial plains. In each case, Jonas gives some indications about the type of technology and crop management.

In the final part of this article, Jonas refers to the agro-economic and technological innovations of this crop, especially in regard to varieties, fertilization, and weed and insect control. These aspects are considered very important factors in the production of upland rice, particularly regarding their relation to soil characteristics and soil management. Jonas indicates that the practical aspects of technological innovations for upland rice production are due in most part to the spontaneous effort of farmers in the region. On the other hand, the author explains that the domain of recommendations so far developed for the crop corresponds in physical terms to the lands of fluvial origin.

The last part of this document is dedicated to the guide prepared by organizers of the forum for field trips made to three different zones of Costa Rica. The first part of the guide contains a description of the general characteristics of climate, vegetation, geology and geomorphology of the physical environment of Costa Rica. In general, two large zones are considered: flat-undulating land (Northern Atlantic plain; Guanacaste plain; El General river plain and Pacific plain) and undulating-mountainous land (recent volcanic; Talamanca range and the Nicoya-Santa Elena area). The second part of the guide contains a detailed description of 21 soil profiles, namely: four on the field trip to the Irazu volcano; seven on the trip to the Southern zone (Cerro de la Muerte, San Isidro de El General, and Palmar Sur); and ten in the Northern zone (Guanacaste). In each case, information is provided about the distribution of areas by soil types, agroclimatic and ecological characteristics, and field and laboratory data for each soil profile.

Parte I
CONCEPTOS GENERALES



Enfoque de extrapolación de resultados experimentales en sistemas de cultivo

Julio Henao M.*

Resumen

La investigación que se realiza en sistemas de cultivo tiende a generar tecnología para remover limitantes de producción en un área determinada. El proceso de selección de la tecnología para un área y el reconocimiento de áreas de inferencia constituyen elementos básicos en la inferencia de resultados experimentales.

Se han propuesto algunas estrategias para inferir sobre resultados experimentales de un área a otras áreas consideradas similares; estas estrategias están basadas en esquemas de analogía, relacionados con sistemas de clasificación de suelo, uso de la tierra, clima y vegetación. El argumento alrededor de esta estrategia es la imposibilidad de encontrar una clase dentro del sistema clasificatorio con las condiciones definidas por la tecnología.

El concepto de extrapolación o inferencia al enfoque metodológico para determinar el dominio de recomendación de una tecnología. Este enfoque debe considerar por lo tanto aspectos de representatividad de un área o región; representatividad de un sistema de cultivos y representatividad de la tecnología que se genera. Los tres aspectos requieren conocimiento de los factores principales de clima, suelo y manejo que caracterizan un área y un sistema de cultivo, a la vez que relacionan estos factores con la tecnología generada, para predecir su comportamiento o respuesta en otra área o en áreas similares.

Para determinar la representatividad de un área se debe considerar la información de clima y suelo y de estudios socioeconómicos realizados en el área; debe identificarse los sistemas de cultivo prevalentes en el área y determinarse

* Biometrista Ph.D. Jefe de la Unidad de Metodología Experimental y Procesamiento de Datos, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

la presencia de subareas homogéneas, utilizando conceptos de analogía y clasificación. En la representatividad de sistemas se evaluarán los factores edafoclimáticos que determinan tanto la presencia del sistema como los cambios en el manejo de cultivos. En la representatividad tecnológica se asocian los conceptos de capacidad de diseño de tecnología y el estudio de interacciones, a través de modelación y experimentación, entre componentes de la tecnología y factores críticos de clima, suelo y planta que limitan su respuesta.

La aplicación de los aspectos desarrollados está limitada por la disponibilidad de la información ya sea secundaria o de datos experimentales; se debe disponer de una cantidad mínima de información sobre clima, suelo y manejo, a la vez que se deben desarrollar sistemas apropiados para el manejo de esta información.

En el presente trabajo se presentan resultados preliminares sobre el uso de los conceptos de representatividad para la evaluación de los sistemas maíz-sorgo y maíz-vigna. Se evaluaron los factores determinantes de variación en los rendimientos para una tecnología de producción desarrollada en áreas del trópico semiárido. Los factores que influenciaron la respuesta del maíz a la tecnología propuesta están relacionados con la variación en la época de siembra, los períodos erráticos de lluvia que se presentan durante los meses de junio y julio, las pendientes pronunciadas con fuerte drenaje externo y las condiciones de fertilidad bajas que limitan la producción. Los factores mencionados permiten determinar las condiciones de área y sistemas para predecir el comportamiento de una alternativa de producción en áreas semiáridas del trópico en América Central.

Summary

Cropping systems research tends to produce technology for removing production constraints in a specific area. The process for selecting technology for an area and the definition of areas of inference constitute basic elements for the inference of experimental results.

Some strategies have been proposed for inferring from experimental results obtained in one area to others considered similar; these strategies are based on analogy schemes related to systems of soil classification, land use, climate and vegetation. The argument about these strategies is the failure to find a class within the classification system that has conditions defined by the technology.

The concept of extrapolation or inference must refer to the methodological approach for determining the domain of recommendation of a technology.

Therefore, this approach must consider aspects of representativity of an area or region; representativity of a cropping

system, and representativity of the technology which is generated. The three aspects require knowledge of the main factors of climate, soil and management that characterize an area and a cropping system, at the same time that they relate these factors with the technology generated for predicting its performance or response in another similar area or areas.

For determining the representativeness of an area, information on soils, climate and socioeconomic studies already carried out there should be considered; prevailing cropping systems in the area must be identified, and the presence of homogeneous sub-areas should be determined, utilizing concepts of analogy and classification. In the representativeness of systems, soil and climatic factors which determine not only the presence of the system but also changes in crop management should be evaluated.

In technological representativeness, we associate the concepts of capability for designing technology and the study of interactions, through modelling and experimentation, between technological components and critical factors of climate, soil and plant that limit the plant's performance.

Application of the aspects developed depends on availability of secondary information or experimental data. A minimum of information on climate, soil and management should be available, and appropriate systems for managing this information should be simultaneously developed.

In this paper preliminary results are presented on the use of concepts of representativeness for evaluating maize-sorghum and maize-cowpea systems.

Evaluation was made of determinant factors of yield variation for a proposed production technology in areas of the semi-arid tropics. Factors that influenced the response of maize to the proposed technology are related to: variation in planting date, erratic rainy periods which occur during the months of June and July, steep slopes with excessive surface drainage and low soil fertility conditions which limit production. The above-mentioned factors allow us to determine the conditions of the area and cropping systems for predicting the performance of an alternative production in semi-arid regions of the Central American tropics.

INTRODUCCION

La investigación de sistemas de cultivo en fincas de agricultores tiene como objetivo principal permitir que los resultados obtenidos en un área específica sean directamente aplicables a esta área. Complementariamente, los resultados experimentales pueden ser aplicables a otras áreas similares si se reconocen las variables y los factores de variación que influyen sobre la presencia de un sistema, sobre los cambios en el

manejo por parte del agricultor que afectan el sistema y sobre las variaciones de las variables respuesta del sistema.

El problema de inferencia de resultados experimentales a otras áreas se ha denominado "extrapolación" y el interés ha sido evaluar metodologías que permitan hacer esta inferencia. Algunas estrategias han sido propuestas basadas en esquemas de analogía; otras metodologías contemplan el uso de modelos simulados y la evaluación experimental de estos modelos de respuesta.

En el presente trabajo se destaca el enfoque metodológico que el CATIE ha desarrollado para extrapolar tecnología experimental sobre sistemas de producción de un área determinada hacia otras áreas.

ANTECEDENTES

Se han desarrollado esquemas conceptuales sobre las ventajas y uso de conceptos de analogía para inferencia de resultados experimentales. Básicamente, el enfoque ha sido la utilización de conceptos de analogía como un medio de inferencia de resultados, considerando como área análoga al área de una región con similares características de clima, suelo y especie a la de un miembro o área de otra región.

Basados en este concepto de analogía se ha utilizado conceptos de clasificación ecológica (Hollridge, 1966); clasificación de suelos (Beinroth, 1975) y clasificación climática (Gabriel y Neumann, 1962; Virmani *et al*, 1978). Los propósitos de estas clasificaciones son, entre otros; 1) Establecer relaciones entre los individuos y las clases; 2) definir características principales de los individuos clasificados y 3) establecer grupos o subdivisiones para propósitos prácticos, como predicción de comportamiento, identificación de usos, estimación de productividad y extrapolación de resultados. En la Figura 1 se pueden observar las clases, categorías y características diferenciables que se tienen en cuenta para la clasificación taxonómica de suelos. Esta clasificación se basa en un nivel muy general, en conceptos genéticos y horizontes diagnóstico, hasta proceder en forma piramidal (jerárquica) a niveles más específicos que incluyen factores de clima y suelo relacionados directamente con el comportamiento y desarrollo de una especie y cultivo. El argumento que se ha expuesto para uso de esquemas de clasificación taxonómica como un método de extrapolación es la tendencia a hacer más específica una recomendación, en la medida en que se incorporan un mayor número de características diferenciales.

De acuerdo con la Figura 2 se puede suponer que dada un área geográfica existe cierta escala de inferencia en tecnología la cual depende del tamaño de la región y de la estrategia de inferencia utilizada. Generalmente se supone que si se tiene una región muy pequeña, su variabilidad interna en términos de

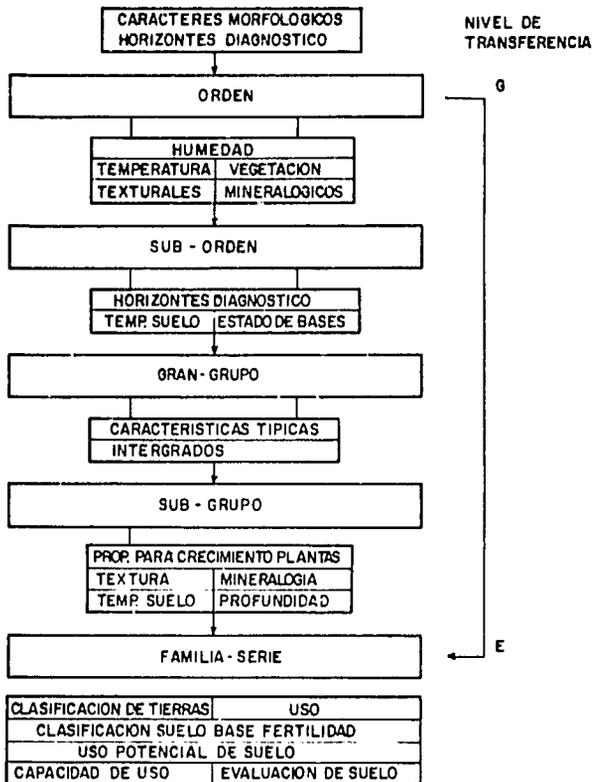


Figura 1. Taxonomía de suelos y clasificación de tierras. Su utilización en transferencia agrotecnológica.

rendimiento de un cultivo será menor y, por lo tanto, el número de casos repetitivos será mayor; desde este punto de vista el uso de resultados de experimentación para inferencia a niveles muy específicos será muy eficiente. Por otra parte, cuando el nivel de inferencia se hace menos específico de acuerdo con factores y objetivos, el área de inferencia tiende a ser mayor y por lo tanto su variación aumenta, disminuyendo así la precisión en la inferencia de resultados. Bajo estas situaciones de alta variación, los esquemas de analogía y clasificación, así como la experimentación, resultan poco eficientes. Es necesario complementar los procesos de inferencia mediante el uso de modelos y técnicas de experimentación que prueben estos modelos en situaciones similares de clima y suelo.

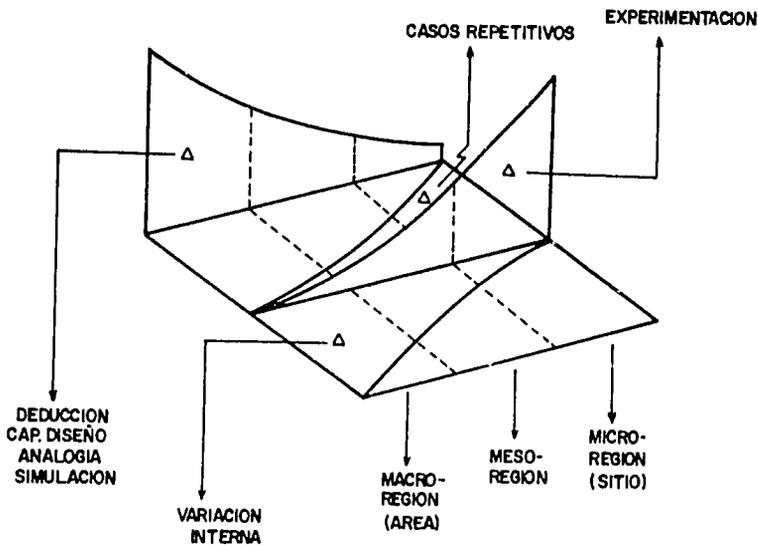


Figura 2. Conceptualización de escala en transferencia de agrotecnología y análisis geográfico.

La estrategia general de metodologías de extrapolación en sistemas de cultivo se ha enfocado hacia el uso de sistemas de clasificación de suelos y clima ya existentes, o hacia el uso de sistemas numéricos de ordenamiento para clasificar áreas de acuerdo con factores que influyen sobre los componentes del sistema. Junto con la estrategia de áreas análogas se ha utilizado el concepto de determinantes ambientales, el cual supone que algunos niveles de algunos factores ambientales determinan la posibilidad de usar un arreglo de cultivos, o sea la distribución espacial y cronológica de uno o más cultivos como se observa en la Figura 3. En esta figura, se puede analizar el patrón de cultivos que predomina en áreas del trópico húmedo del Istmo Centroamericano, donde el patrón de lluvias y características de suelo (como textura y profundidad del suelo) determinan la presencia de cultivos como maíz-yuca, camote, frijol y arroz.

En la Figura 4 se observa cómo el régimen de humedad de suelos en áreas semiáridas del suroriente de Guatemala está condicionando la presencia de algunos sistemas y su manejo; en efecto, suelos de los órdenes Entisoles que permanecen secos durante gran parte del año y suelos del orden Inceptisol con alta saturación de bases, horizonte cámbico y generalmente secos durante períodos de 90 días o más, están destinados a cultivos como maíz, sorgo y frijol y sistemas de cultivo maíz-sorgo

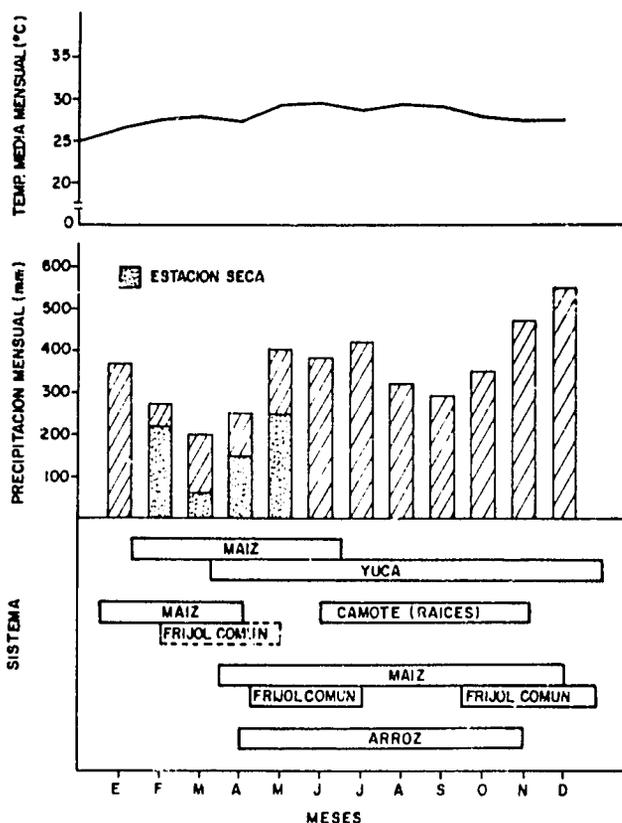


Figura 3. Efecto del factor precipitación y temperatura en la presencia de sistemas de cultivo: trópico húmedo con y sin estación seca.

y maíz-frijol. Por el contrario, es posible observar sistemas de cultivo en suelos más planos y bajos, algunos de ellos susceptibles de inundarse debido a la presencia de capas impermeables o de un horizonte argílico que dificulta tanto su manejo como su movimiento de agua; en estos suelos se observan cambios en el patrón de cultivos y en su manejo, destacándose la presencia de maíz, arroz, hortalizas y en gran proporción el sistema maíz-arroz.

Junto con el concepto de analogía y caracterización de determinantes ambientales se han desarrollado algunos conceptos de diseño y modelación de tecnología para inferir sobre áreas mayores, como se destaca en la Figura 2. Los conceptos de diseño y modelación básicamente ponen énfasis sobre el conocimiento y entendimiento de principios de producción de un

cultivo o sistema de cultivos, su interacción con factores de clima, suelo y factores socioeconómicos. Una dificultad que surge en la definición de modelos, bajo el concepto de capacidad de diseño, es su validación, o sea asegurar que el modelo cumple su propósito, para lo cual se requiere evaluación experimental.

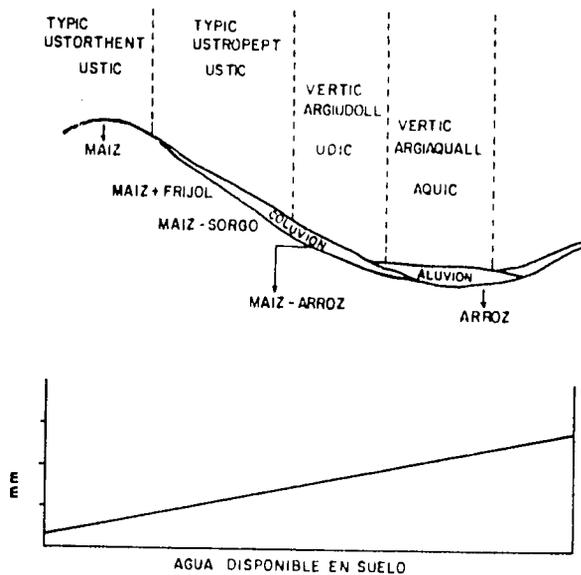


Figura 4. Arreglos de sistemas de cultivos determinados por microgradientes de humedad y fertilidad.

MARCO CONCEPTUAL

Una metodología de extrapolación de resultados experimentales en sistema de cultivos debe estar sustentada por un marco conceptual que permita definir sus elementos y establecer sus objetivos.

Básicamente, un sistema de cultivos se define como el conjunto de interacciones entre dos o más cultivos, con factores ambientales y agentes bióticos que determinan un producto (rendimiento, etc.). Así mismo, las actividades que realiza el hombre o agricultor para modificar estas interacciones, modificando a su vez el producto, se denominan actividades de manejo del sistema.

El sistema de cultivo localizado en una área específica y las actividades de manejo sobre este sistema constituyen un sistema de producción, el cual se considera como el resultante de la interacción entre factores de clima, suelo, agentes bióticos, actividades de manejo y factores socioeconómicos que caracterizan el área, el sistema de cultivo y el tipo de agricultura prevaleciente.

La investigación que se realiza en sistemas de cultivo tiende a generar tecnología para remover limitantes de producción a nivel de área y sistema de cultivo; sus esquemas comprenden desde un enfoque reduccionista de experimentación por componentes (variedad, suelo, etc.) hasta un enfoque integracionista y multidisciplinario de sistema de producción que considera un área, el sistema de cultivo, el agricultor y su finca o predio. En todos estos casos, la tecnología que se genera, producto de la experimentación, es específica del sitio y del tiempo en que fue realizada. La transferencia de resultados a otras áreas requiere definición y entendimiento de conceptos sobre representatividad e inferencia o extrapolación.

El concepto de extrapolación se refiere estrictamente al enfoque metodológico que se sigue para determinar el dominio de recomendación de una tecnología. Este enfoque debe considerarse por lo tanto los siguientes aspectos:

- a) Representatividad de área: para un sistema de cultivos dado, determinar qué áreas ofrecen las mayores ventajas para su crecimiento y producción.
- b) Representatividad del sistema de cultivos: para un área dada, cuáles sistemas de cultivo ofrecen la mayor ventaja desde el punto de vista biológico y socioeconómico.
- c) Representatividad tecnológica: para un área y un sistema de cultivos dado, qué condiciones de manejo se pueden dar para mejorar su productividad.

Los tres conceptos expuestos requieren conocimiento de los factores principales de clima, suelo y manejo que caracterizan al área y al sistema de cultivo, a la vez que relacionan la generación de la tecnología con la habilidad para predecir el comportamiento de esta tecnología en otras áreas y condiciones de tiempo determinadas.

Los conceptos de representatividad permiten definir estrategias de extrapolación, como se puede observar en la Figura 5.

Así, dado un sistema de cultivos, dado su manejo por el agricultor, se define su dominio ambiental en término de los factores de suelo y clima que favorecen el sistema. Se espera evaluar el desempeño de tecnología en el área (experimentación) y a la vez predecir su comportamiento en otra área o en áreas similares, con el mismo manejo o con los cambios en manejo que se propongan.

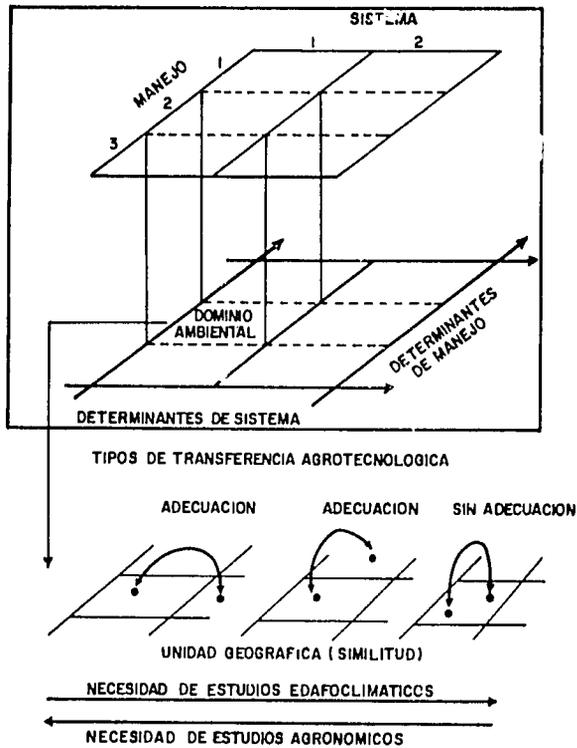


Figura 5. Esquema conceptual para transferencia agrotecnológica.

Básicamente se asume que existen determinantes de la presencia o permanencia de un sistema en una área específica y determinantes de los cambios en el manejo del sistema. Estos determinantes están caracterizados, en gran parte, por los factores de suelo y clima predominantes; así, por ejemplo, la temperatura y precipitación pueden ser determinantes de la presencia del sistema de cultivo maíz+frijol, sembrados en forma intercalada; por otra parte, la fertilidad del suelo, su textura y pendiente pueden determinar el uso de un fertilizante o un método de arado.

Dentro del mismo esquema conceptual se asume que si se ha generado una tecnología, es posible transferir esta tecnología de un área geográfica a otra, o inferir sobre su comportamiento haciendo cambios en sus componentes; por ejemplo, cambiando el sistema de cultivo o modificando el método de manejo. Igualmente, es posible transferir la tecnología sin necesidad de adecuarla como sucede cuando se conocen las características de área

apropiadas para la tecnología a transferir.

En el primer caso, se pone énfasis en los conceptos de representatividad de área, sistema y tecnología, lo cual permite utilizar esquemas metodológicos de analogía y capacidad de diseño. En el segundo caso, el concepto de representatividad de área es más restrictivo y se requeriría dar mayor énfasis a los conceptos de analogía, clasificación u ordenamiento, lo cual, de acuerdo con la Figura 5, haría la tecnología cada vez más específica.

Las dos estrategias metodológicas expuestas requieren que sea posible determinar y medir los diferentes factores, que las relaciones entre áreas y entre componentes de sistemas se conozcan adecuadamente y que, en lo posible, se pueda definir un modelo cuantitativo para cada componente del sistema o para todo el sistema.

METODOLOGIA

La metodología de extrapolación de resultados está enfocada a inferir el comportamiento de un sistema de cultivos o de sus componentes en áreas geográficas o dominios ambientales similares.

El desarrollo de la metodología se concentra básicamente en los conceptos de representatividad de área, sistemas y tecnología o recursos. La representatividad de un área se inicia con la determinación de los límites geográficos; éstos pueden estar definidos en función de características edafoclimáticas relacionadas con un sistema de cultivos dado. Por ejemplo, áreas de alta precipitación para el trópico bajo; la definición de estos límites podrían incluir áreas con promedio de lluvia anual entre 1200 y 2500 mm, de 4 a 9 meses húmedos con suelos de los órdenes Inceptisol, Mollisol, Alfisol y Ultisol. Otros criterios más generales podrían ser: áreas del trópico con una estación seca marcada o áreas del trópico semiárido de Centroamérica.

Caracterización del área

Para determinar su representatividad considera las siguientes estrategias:

- a) Recopilación y evaluación de datos de fuentes secundarias (información procesada), por áreas seleccionadas.
- b) Identificación de sistemas de cultivo prevalecientes.
- c) Aplicación de conceptos de ordenamiento, analogía y perfil de área para determinación de subáreas homogéneas.
- d) Conformación de banco de datos.

Los datos básicos, su proceso o análisis y producto esperado de esta caracterización están resumidos en el Cuadro 1.

Algunos pasos esenciales en la toma de datos y en el proceso y análisis de datos lo constituyen la selección de unidades. La elección de la unidad de estudio depende, en gran parte, de la estrategia y los objetivos del trabajo. Por ejemplo, si se deseara hacer una clasificación taxonómica de suelos, la unidad de estudios la conformaría el perfil de suelo específico. Para los casos de representatividad de áreas, la unidad de estudios puede estar constituida por las fincas o unidades de explotación, por unidades fisiográficas o por divisiones políticas como municipios. Cualquiera que sea la entidad unitaria, siempre estará compuesta por individuos y, por lo tanto, éstos deberían ser la unidad universal. La regla general en la selección de unidades de estudio es que cada una de ellas debe ser internamente lo más homogénea posible.

Caracterización del sistema

Se realiza en las áreas donde prevalece el sistema de cultivo. Para propósitos de representatividad se evalúan los factores edafoclimáticos que determinan tanto la presencia del sistema como los cambios en el manejo de los cultivos.

La información básica sobre los sistemas de cultivo se obtienen de unidades muestrales (fincas), seleccionadas por procesos de muestreo. Los datos sobre clima se obtienen de estaciones meteorológicas que tienen influencia sobre los sitios estudiados; es preferible, para propósitos de modelaje en clima, obtener información diaria o semanal sobre un período de años representativo (20 a 40 años). Los datos sobre suelo se obtienen de observaciones directas en un perfil de suelo descrito en el sitio muestreado. Estos datos se correlacionan con los estudios detallados sobre suelos que se posean para el área de estudio, a nivel clasificatorio de familia o serie.

Los datos mínimos, su proceso y el producto esperado de la caracterización del sistema están resumidos en el Cuadro 2. Para los propósitos de representatividad del sistema se consideran las siguientes estrategias:

Determinación de niveles de variabilidad en factores de clima y suelo. Se considera la descripción de perfil modal y el uso de sistemas de clasificación ecológica y clasificación taxonómica de suelos para determinar factores relacionados con la presencia del sistema o variaciones en la respuesta del sistema.

El uso de factores de clima como precipitación, radiación y temperatura, es importante para la evaluación de períodos y probabilidades de lluvia, determinación de épocas apropiadas de siembra, determinación de períodos de sequía, determinación de períodos apropiados para actividades de manejo (fertilización, aplicación de productos, etc.) y determinación de la duración de la estación de crecimiento y época de cosecha.

Cuadro 1. Tipología de datos, proceso y producto esperado para estudio de relación de áreas y subáreas en estudios de representatividad de área.

Datos	Proceso	Producto
Información secundaria:	Analogía:	Mapas sobre:
Mapas:	Superposición de mapas	Localización de
Clima: Temperatura	Análisis de frecuencia	sistemas de
Lluvia	Tablas de contingencia	cultivo
Humedad relativa	Análisis de agrupamiento	Gradientes
Radiación	Clasificación y ordenación:	ambientales:
Suelo: Fertilidad	Suelos	Lluvia
Uso potencial	Clima	Temperatura
Uso actual	Cultivos	Topografía
Fisiografía	Análisis de factores	Suelos
Clasificación taxonómica de suelos	Información	Tablas de relación:
Clasificación de zonas de vida	Diseño y análisis	Determinantes/cultivo
Distribución de cultivos	Banco de datos	Índices de analogía
Informes descriptivos sobre:		Sistema de información:
Clima		Clima
Suelos		Suelo
Fisiografía		Cultivo
Productividad cultivos		
Informes de censos sobre:		
Extensión de áreas		
Concentración de población		
Infraestructura:		
Irrigación		
Vías		
Conservación de suelos		
Mercadeo		
Cultivos predominantes:		
Área		
producción		

Evaluación de determinantes de clima y suelo que influyen en la presencia del sistema o en los cambios en el manejo de sistemas de cultivos. Existen factores edafoclimáticos que interactúan entre sí y que afectan o favorecen tanto la presencia de un sistema de cultivos como la respuesta de sus componentes. La evaluación de estos factores y de sus interacciones puede efectuarse por medio de técnicas de estadística

Cuadro 2. Tipografía de datos, proceso y producto esperado para estudio de relación de áreas y sistemas en estudios de representatividad de sistema.

Datos	Proceso	Producto
Características de sitio:	Análisis muestral	Perfil ambiental:
Uso previo	Factibilidad biológica	Sistema
Radiación solar	Factibilidad económica	Componentes
Precipitación	Frecuencia de sistemas	Manejo
Temperatura máxima	Evaluación de la relación:	Factores determinantes:
Temperatura mínima	Manejo/sistema	Sistema
Suelos:	Evaluación de determinantes:	Manejo
Capacidad de retención de agua	Manejo/sistema	Modelos de factores:
Textura	Análisis de factores	Clima
Drenaje interno y externo	Análisis de correspondencia	Producto/factor
Fertilidad	Perfil ambiental	Banco de datos
Pendiente y fisiografía	Caracterización sitio/sistema	Sistema
Clasificación taxonómica	Caracterización del clima	
Características de sistema:	Caracterización del suelo	
Manejo:		
Variedad		
Fecha siembra		
Fertilización		
Control de malezas y plagas		
Control de enfermedades		
Cosecha		
Producción de biomasa		
Rendimiento		
Usos		
Postcosecha		
Usos		
Socioeconómicos		
Áreas de cultivos		
Población		
Consumo		
Tenencia de tierra		

descriptiva o análisis multivariado, entre los cuales las técnicas como componentes principales, análisis de correspondencia y análisis de factores han mostrado alguna utilidad. El uso de estas técnicas presenta algunas complicaciones que se relacionan con los supuestos que se deben establecer y con la dificultad para la interpretación de los coeficientes en las ecuaciones. Estas complicaciones surgen cuando se utilizan para propósitos de predicción.

En el Cuadro 3 se presentan resultados de estudios sobre caracterización del sistema maíz-sorgo, sembrando el sorgo dos meses después del maíz. El estudio se realizó en áreas de Centroamérica donde predomina el sistema. Se utilizó el método de componentes principales para determinar los factores causantes de mayor variación en el manejo del sistema. En el Cuadro 3 se observa que aproximadamente el 60 por ciento de la variación entre los sitios que practican el sistema está explicada por la variación climática existente; a su vez, esta variación causa cambios en factores de manejo como la fecha de siembra de maíz y sorgo, la distancia de siembra en sorgo y el uso de variedades de maíz. El componente suelo influye en la variación en el manejo a través de variaciones en la pendiente y en variaciones de factores de suelo relacionados con el uso de agua por la planta.

Determinación del perfil ambiental del sistema. Teniendo en cuenta la evaluación de factores, tanto a nivel de área como de sistema, es posible determinar los rangos de viabilidad del sistema en términos de los recursos físicos (clima y suelo) y biológicos (cultivar, plagas, malezas, etc.)

La determinación de un perfil ambiental del sistema debe complementarse con una descripción del estado socioeconómico del productor, sus hábitos de consumo y la disponibilidad de insumos y mercado.

En la Figura 6 se destacan algunos factores que caracterizan un perfil ambiental para el componente sorgo en el sistema maíz asociado con sorgo, para áreas semiáridas en América Central. El sistema maíz-sorgo predomina en fincas pequeñas situadas hacia la vertiente del Pacífico. Se encuentra entre los 0 a 1500 msnm; sin embargo, predomina entre los 300 a 1000 msnm. El promedio de la precipitación anual oscila entre 1200 a 2000 mm y el período de máxima producción de biomasa por lo regular coincide con épocas de máxima precipitación. Generalmente el sorgo se ve afectado por baja precipitación (canícula) en los períodos de siembra. El cultivo está localizado en suelos de pendientes pronunciadas (10 al 20%), de alta escorrentía, con poca retención de agua y baja fertilidad en términos de contenido de N, P, K. Está concentrado en zonas de alto riesgo por la escasa precipitación, donde la producción de granos básicos es un elemento diario de la dieta alimenticia.

Cuadro 3. Componentes principales asociados con mayor variación en sitios donde predomina el sistema maíz-sorgo.

Componente	Correlación	Comunalidad	
1 (45)*	Fecha de siembra de maíz	0,700	0,787
	Fecha de siembra de sorgo	0,636	0,744
	Distancia de siembra de sorgo	-0,626	0,774
	Variedad de maíz	0,610	0,579
	Temperatura máxima	-0,550	0,600
	Erosión	-0,540	0,808
	Pendiente predominante	0,539	0,705
	Arreglo espacial	0,520	0,611
2 (15)*	Precipitación mensual en agosto	0,805	0,639
	Precipitación mensual en julio	0,699	0,743
	Precipitación mensual en set.	0,730	0,762
	Drenaje interno	-0,727	0,780
	Profundidad del suelo	-0,710	0,685
	Temperatura media mínima	0,656	0,580
3 (6)*	Textura	-0,601	0,560
	Materia orgánica	0,556	0,680
	Fertilidad (ppm)	-0,550	0,708
	Drenaje externo	0,540	0,660

* Porcentaje de variación explicado por cada componente.

La determinación de un perfil ambiental de los componentes de un sistema de cultivos y la caracterización de áreas donde permanece el sistema, permiten establecer un grado de inferencia sobre el comportamiento del sistema. Desde el punto de vista de extrapolación de tecnología la información obtenida permite:

- Describir y definir los límites de los recursos físicos y biológicos para el sistema.
- Determinar la importancia de algunos factores sociales y económicos que interactúan con los cambios en el manejo o en la presencia del sistema.
- Predecir la viabilidad de un componente o del sistema mismo. Por ejemplo, el sistema permanecerá o no de acuerdo con las condiciones físico-biológicas del área de inferencia.
- Identificar la tecnología disponible y predecir la viabilidad económica de esta tecnología dadas las restricciones socioeconómicas existentes.

- Aplicar conceptos de clasificación y taxonomía numérica como un proceso más efectivo de regionalización para recursos de tierra, clima, suelo y cultivo o vegetación. Clasificaciones con propósitos generales y múltiples atributos tienen limitada utilidad para la regionalización; la clasificación más útil es aquella que sea específica para el sistema en estudio.
- Definir estrategias de experimentación a nivel de área para la evaluación de tecnologías.

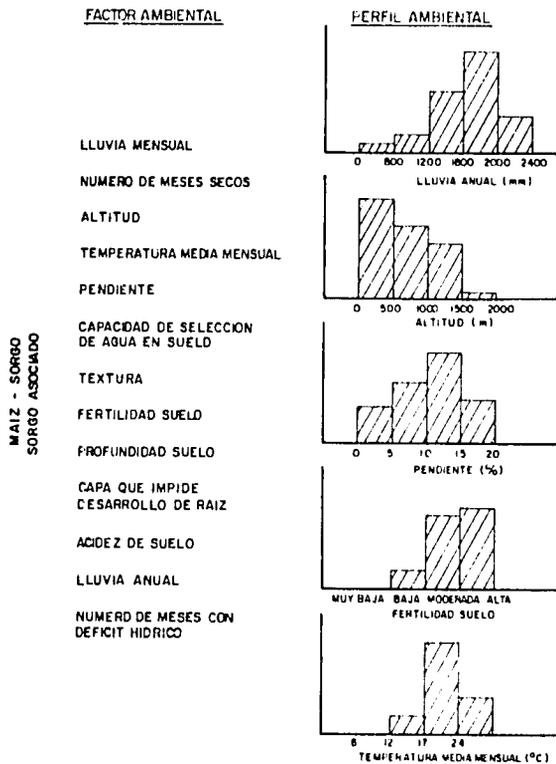


Figura 6. Factor ambiental y perfil asociado con la presencia del sistema maíz-sorgo en áreas de cultivo.

Representatividad tecnológica en un área

La representatividad tecnológica para un sistema de cultivo específico es parte del proceso de extrapolación de resultados que permite determinar la viabilidad o factibilidad de la tecnología en un sitio dado y su posibilidad de transferencia a otras áreas.

En la representatividad tecnológica se asocian los conceptos de capacidad de diseño de tecnología y desarrollo de modelos en sistemas de cultivos o en componentes de sistemas, lo cual conduce a definir los detalles tecnológicos necesarios para evaluar una recomendación e inferir sobre sus resultados. Básicamente, complementa los procesos de representatividad de área y sistema, permitiendo inferir sobre el comportamiento de la tecnología a través de variaciones en espacio y tiempo (concepto de analogía).

El grado de complejidad de los modelos que se diseñan, depende de los objetivos propuestos, de la información disponible y del grado de precisión requerido en la tecnología. No es necesario ni deseable, desarrollar modelos a niveles de detalle mayores que los deseados para una determinada predicción. Por ejemplo: la fecha de siembra, el método de siembra y la época de aplicación de fertilizante en el sistema maíz asociado con sorgo, para áreas semiáridas de la vertiente del Pacífico en Centroamérica, están influidos por factores de clima, temperatura y radiación relacionados con sequías temporales y por factores de suelo asociados con la disponibilidad de agua para períodos críticos de crecimiento de los cultivos; un modelo agronómico para predecir y definir épocas apropiadas de siembra, requerirá el análisis de información sobre la precipitación diaria ocurrida a través de varios años, de información sobre variaciones de temperatura, radiación y sobre las características físicas de los suelos necesarias para determinar su capacidad de retención de agua. El análisis de frecuencia de períodos secos o de poca disponibilidad de agua por la planta en determinados períodos y su relación con períodos de crecimiento de los cultivos, permitirá definir las épocas más apropiadas para siembra y manejo del sistema.

Por otra parte, una tecnología más específica con un mayor número de factores como el uso de una variedad de dosis determinada de fertilizante, incluyendo un método de aplicación (en banda) y el uso de herbicidas con el objetivo de maximizar producción, es una tecnología de mayor detalle que requiere definir con precisión, en términos de un modelo, la respuesta del sistema a la tecnología y a sus interacciones con los factores de suelo y clima de un área específica o definida previamente. La transferencia o inferencia de esta tecnología a otras áreas requiere, a su vez, evaluar los factores más importantes responsables de variaciones y desarrollar la capacidad para inferir sobre su comportamiento o para producir los cambios

necesarios, dependiendo del grado de similaridad o analogía existente.

El desarrollo de modelos para evaluación de tecnología sobre uso de insumos o sobre prácticas de manejo requiere una serie de pasos. Estos pasos necesariamente no implican una secuencia de procedimientos; algunos de ellos se efectúan simultáneamente.

El proceso metodológico para el desarrollo de modelos se describe en la Figura 7. Básicamente, se consideran los siguientes pasos:

- a) Diseño de sistemas o componentes tecnológicos
- b) Experimentación y validación
- c) Desarrollo y conformación de sistemas de información.

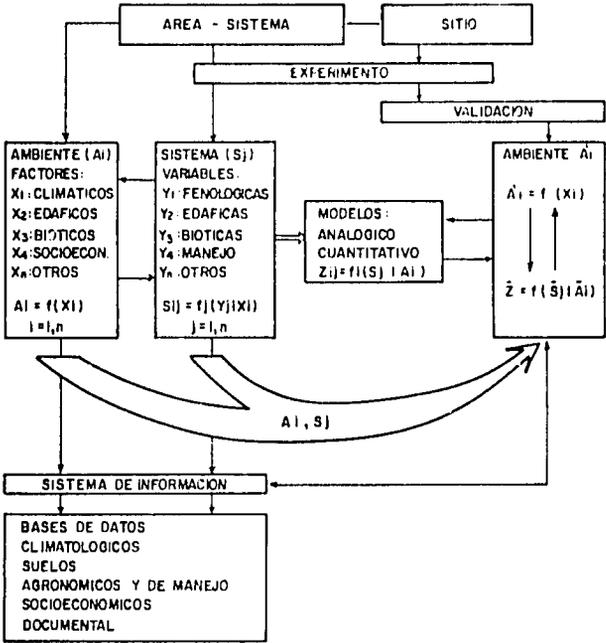


Figura 7. Esquema metodológico para experimentación y validación en transferencia agrotecnológica bajo el concepto de sistema de cultivo.

El desarrollo de estas fases permite determinar áreas o tópicos donde existe aún escaso conocimiento sobre los componentes del sistema y sobre el posible comportamiento de la tecnología. Igualmente, identifica la información existente y verifica su calidad.

Otro aspecto básico consiste en que a través de modelaje es posible establecer relaciones cuantitativas, expresadas por formulaciones matemáticas simples, entre el desarrollo del sistema o de sus componentes y el ambiente.

Es posible construir modelos físicos o modelos abstractos. Dentro del concepto de capacidad de diseño se definen las relaciones entre los componentes y su posible respuesta con las variaciones de la tecnología en tiempo y espacio; estas variaciones pueden expresarse por medio de una expresión matemática (ecuación diferencial). El conjunto de ecuaciones o de relaciones constituye el modelo abstracto.

El modelo abstracto puede a su vez definirse como un modelo dinámico y determinístico o como un modelo empírico y estadístico. En el primer caso se desea entender la respuesta del sistema en término de los mecanismos presentes en los diferentes procesos. Generalmente se establecen supuestos sobre los componentes del sistema; estos supuestos deben jerarquizarse, lo cual da lugar a submodelos. Así, por ejemplo, puede definirse un modelo para todo el sistema formado por submodelos sobre componentes o procesos como crecimiento, producción de biomasa, toma de agua y nutrientes.

Cada modelo o submodelo se representa por una serie de variables; el estado del modelo en un momento determinado está determinado por el valor numérico de estas variables, denominadas variables de estado. La definición final del modelo consiste en el establecimiento de las relaciones entre las variables de estado, el cambio de cada variable en función del tiempo puede depender de una o más variables previamente definidas, así:

$$\frac{\partial X_1}{\partial t} = f_1(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$\frac{\partial X_2}{\partial t} = f_2(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

·
·
·

$$\frac{\partial X_n}{\partial t} = f_n(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

La variable X_1 puede representar la producción de materia seca en un momento determinado. Esta variable podría estar afectada por la cantidad de sustrato ya presente (X_1) y por la variable X_2 que podría representar la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo. Se puede representar un sistema de producción de materia seca, de acuerdo con dos ecuaciones diferenciales de primer orden y transformarse después en una función de segundo orden, para así determinar la producción de biomasa en cierto período:

$$\frac{\partial X_1}{\partial t} = KX_1 - X_2$$

$$\frac{\partial X_2}{\partial t} = -X_1 \quad \frac{\partial^2 X_1}{\partial t^2} = K \left(\frac{\partial X_1}{\partial t} \right) + X_1$$

La utilización de modelos dinámicos para establecer las relaciones del sistema, planta o cultivo, el ambiente y el manejo, tienen las siguientes características:

- a) Los parámetros del modelo son producto de un análisis de las relaciones entre cada uno de sus componentes. Estas relaciones tienen un significado biológico y por lo tanto permitirán un entendimiento de cómo opera el sistema.
- b) Debido al número posible de interrelaciones entre componentes, los modelos podrían requerir más parámetros que los modelos empíricos; por lo tanto será ineficiente su utilización para propósitos de predicción o extrapolación. Generalmente son de gran utilidad para evaluar aspectos de un sistema donde existe un escaso conocimiento o no hay suficiente información.

Al considerar los modelos empíricos y estadísticos se evalúa la respuesta de un sistema o de sus componentes sin necesidad de evaluar cada una de las relaciones de la estructura del sistema o entre componentes del sistema. Básicamente, se define un modelo o función de respuesta que representa datos experimentales o históricos y se verifica el ajuste de los datos. Si existe un buen ajuste, el modelo puede utilizarse para propósitos de predicción y para el estudio de estructuras o de relaciones de componentes.

En modelos empíricos los parámetros que estiman la producción de un cultivo o de un sistema de cultivo se estiman por medio de métodos de regresión múltiple de la forma:

$$Y = \beta_1 m + \alpha_1 \xi + c$$

$\sim \quad \sim \quad \sim \quad \quad \sim \quad \sim$

donde Y es la producción en un sitio influido por factores de clima y suelo, representados por los vectores m y l. Para un sitio dado, el factor suelo l puede considerarse homogéneo, por lo tanto, Y será función del clima m. Cuando se consideran varios sitios será necesario la estimación de P y posiblemente de otros parámetros que representan factores de manejo.

Un modelo empírico de respuesta a través de varios sitios y períodos podrá representarse por un modelo generalizado de la forma:

$$f(Y_i) = a_0 + a_1 Z_{1i} + \dots + a_p Z_{pi} + b_1 X_{1i} + \dots + b_s X_{si} + e_i$$

donde $Z_1 \dots Z_p$, $p \geq 1$ representan variables de clima, manejo y cultivo, medidas experimentalmente junto con las variables dependientes. $X_1 \dots X_s$, $s \geq 0$ representan variables de sitio que pueden permanecer constantes a través de varios períodos, pero que cambian entre diferentes sitios. El valor de e_i , representa un error residual, debido principalmente a la falta de ajuste del modelo. $f(Y_i)$ representa la variable dependiente seleccionada, de acuerdo con el modelo propuesto.

El modelo propuesto es un modelo empírico, por lo que es necesario que incluya un rango suficiente de sitios y años para asegurar su validez.

Las razones para la utilización de este tipo de modelos en estudios de funciones de respuesta, para propósitos de extrapolación, son las siguientes:

- a) El interés es básicamente la respuesta de todo el sistema a factores de ambiente y sitio. No hay mayor interés en establecer las razones por las cuales el sistema o componentes específicos responden en determinada forma.
- b) Un sistema de cultivos incluye una serie de componentes relacionados en forma muy compleja. Por lo tanto, un análisis exacto de las estructuras del sistema basado en un modelo dinámico será muy difícil y ocupará gran cantidad de recursos.
- c) Los modelos empíricos proveen un sistema adecuado para resumir una gran cantidad de datos en términos de muy pocos parámetros. El modelo en cuestión permite evaluar la respuesta del sistema en diferentes condiciones ambientales (extrapolación) y puede utilizarse para propósitos comparativos.

Las ventajas de un enfoque empírico para el desarrollo de un modelo, son su simplicidad y rapidez en la construcción. La principal desventaja radica en que los valores de los parámetros del modelo no tienen un significado biológico definido.

La conceptualización y desarrollo de un modelo, ya sea empírico o dinámico, está limitado por la disponibilidad de

información o de datos experimentales. Generalmente, en gran parte de las experimentaciones se toman sólo datos sobre rendimiento y algunas características de planta; no se hace referencia ni se miden las características del sitio en término de los factores de clima y suelo que modifican la respuesta de la planta.

La conceptualización de un enfoque de extrapolación implica la determinación de una cantidad de información mínima del sistema, cultivo, clima, suelo y manejo que permita cumplir los objetivos del trabajo. El mínimo de información requerida depende del nivel jerárquico establecido para el modelo específico; por ejemplo, si se requiere determinar la productividad de un sistema de cultivos, teniendo en cuenta sus relaciones entre agua, planta y suelo, el tipo de datos, su proceso y producto esperado se podrían determinar de acuerdo con lo especificado en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tipología de datos para estudio de representatividad tecnológica.

Datos	Proceso	Producto
Información de sitio	Muestreo	Modelos de predicción:
Latitud	Experimentación por	Factor = f(variables)
Longitud	Area	
Clima:	Sitio	Rendimiento = f(factores)
Precipitación diaria	Definición de modelos:	Modelos probabilísticos
Temperatura media mensual	Balance hídrico	Rend. = f(tecnología)
Radiación media mensual	Rendimiento	Sistema de información
Evapotranspiración	Respuesta = f(var.estado)	
Suelo	Validación de modelos	
Topografía	Simulación	
Drenaje		
Cap. de retención de agua diaria		
Textura		
Planta:		
Estados fenológicos		
Area foliar		
Biomasa total		
Rendimiento		
Manejo:		
Aplicación: fertilizante (dosis)		
herbicidas (dosis)		
insecticidas (dosis)		
Método de siembra		
Método de cosecha		

De acuerdo con el Cuadro 4, la generación de datos se puede realizar por procesos de muestreo o por experimentación. En cualquiera de los dos procesos, se seleccionan áreas o sitios que incluyan un amplio rango de valores para las características en estudio. En algunos casos, de acuerdo con la información disponible, los sitios deben seleccionarse en forma sistemática para incluir los rangos deseados. La información se debe tomar a nivel de área, sitio y parcela.

Los procesos de muestreo y experimentación permiten la validación de la tecnología propuesta. Específicamente, los experimentos que se diseñen deben incluir como componentes la tecnología recomendada, la tecnología prevaleciente en el sitio y la tecnología promedio utilizada por los usuarios en toda el área. Algunos diseños experimentales tienen gran utilidad para los propósitos anotados anteriormente; así, por ejemplo, el uso de arreglos factoriales con k factores a varios niveles generan un gran número de tratamientos que incluyen los rangos deseados para la tecnología y para las variables de sitio. Estos experimentos se pueden disponer en bloques incompletos (fraccionados), sin necesidad de replicación. Otro diseño de gran utilidad en extrapolación e inferencia de tecnología es el diseño de bloques aumentados (Federer, 1961). Este diseño constituye una extensión de los diseños experimentales estándar, cuando se agregan uno o más tratamientos adicionales en cada bloque o sitio (Cuadro 5). En este Cuadro, la tecnología generada constituye los tratamientos A, B, C y D; los tratamientos adicionales constituyen componentes tecnológicos utilizados en el área.

El comportamiento de la tecnología generada se relaciona directamente con el comportamiento de la tecnología comúnmente practicada en el área. La información de clima (precipitación, temperatura, etc.), suelo (textura, retención de humedad, pendiente, etc.) y manejo se deben tomar directamente en el sitio y en la parcela experimental. Estas variables se deben medir periódicamente con el fin de explicar interacciones entre el comportamiento de la tecnología y los factores componentes del sistema o cultivo.

Debe entenderse, además, que la experimentación en extrapolación es necesaria cuando no existe información básica sobre características de la planta o del sistema como períodos de crecimiento, tiempos de maduración, requerimientos de agua en períodos de crecimiento, influencia de otros factores climáticos como temperaturas máximas y mínimas, interacciones con enfermedades, malezas y plagas, e influencia de factores de suelo relacionados con fertilidad y retención de agua. La información básica obtenida por experimentación, permitirá formular modelos empíricos o dinámicos sobre el comportamiento de tecnología y a su vez permitirá desarrollar conceptos importantes, como capacidad de diseño de tecnología.

Cuadro 5. Esquema de diseño experimental en bloques aumentados para evaluación e inferencia de tecnología.

Ni	Bloque (región/sitio/área experimental)									
	1	2	3	4	5	6	20	
	A	B	A	A	C	C				A
	B	C	C	B	D	B				B
	C	D	B	C	A	A				C
	D	A	D	D	B	D				D
	1	4	5	6	8	9				
	2									
	3			7		10				
Nij	7	5	5	6	5	6				N _{20j}

A, B, C, D: Tecnología a inferir
 1, 2, 3, ...: Tecnología regional/local

El proceso inferencial de extrapolación a través de experimentación y el proceso de diseño tecnológico constituyen, a su vez, el proceso de validación del modelo de extrapolación de tecnología. Generalmente, la validación se realiza en áreas similares de acuerdo con factores principales previamente determinados y responsables de variaciones en la respuesta del sistema o sus componentes.

La validación se realiza evaluando el efecto de cada uno de los componentes del modelo sobre las variables dependientes (rendimiento, biomasa, etc.).

En la evaluación de un modelo biológico se asume básicamente que se pueden obtener valores diferentes:

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_{m-1}, Y_m;$$

donde los valores de Y_i representan la respuesta de la variable dependiente, los cuales pueden estar influidos por parámetros contenidos en el modelo.

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n$$

Se supone que los valores de Y dependen de λ ; algunos de estos valores pueden provenir de teoría básica o de experimentos realizados en el área específica para desarrollar la tecnología. Estos parámetros representan valores de clima, suelo, manejo y cultivo.

Si se evalúa la tecnología en otras áreas supuestas homólogas, es posible obtener una serie de valores de Y como:

$$\underset{\sim}{Y}_1, \underset{\sim}{Y}_2, \dots, \underset{\sim}{Y}_{m-1}, \underset{\sim}{Y}_m;$$

El tamaño de la variación entre el valor $\underset{\sim}{Y}_i$ y el valor $\underset{\sim}{Y}_j$ puede medirse por medio de la relación:

$$R = \sum_{i=1}^m (\underset{\sim}{Y}_i - \underset{\sim}{Y}_j)^2$$

Esta relación está a su vez compuesta por el valor aleatorio denominado error experimental (R_e) y por un valor debido a una incorrecta especificación de un modelo (R_n); el valor de (R_e) puede ser conocido si se hacen repeticiones de la observación o del experimento.

$$R = R_e + R_n$$

El valor residual R puede relacionarse con los parámetros λ para determinar qué factores son los causantes de la mayor desviación; así, R depende de Y el cual a su vez depende de los parámetros λ .

$$R = R(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$$

El mayor ajuste al modelo podrá hacerse ponderando los parámetros de tal manera que la desviación sea mínima (Thornley, 1976), es decir si:

$$\frac{\partial R}{\partial \lambda_i} = 0; \text{ y } \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_i^2} > 0$$

diferenciando la desviación dos veces con respecto a los parámetros λ se tiene la matriz A

$$A = \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_i \partial \lambda_j}; \text{ i, j = 1, n}$$

Si se define un modelo en función de dos parámetros λ_1 y λ_2 la matriz será igual.

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_1^2} & \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_1 \partial \lambda_2} \\ \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_2 \partial \lambda_1} & \frac{\partial^2 R}{\partial \lambda_2^2} \end{vmatrix}$$

La matriz A será una matriz simétrica. Esta matriz, si se invierte dará origen a la matriz de varianza-covarianza de los factores o variables del modelo:

$$B = A^{-1}$$

De esta matriz será posible determinar la varianza y covarianza de los parámetros λ_i y λ_j involucrados en el proceso de generación tecnológica, así:

$$\text{Var} (\lambda_i) = \frac{2R}{v} \text{ Bii}$$

Donde v corresponde al número de Grados de Libertad del residuo en el modelo.

$$\text{Covar} (\lambda_i, \lambda_j) = \frac{2R}{v} \text{ Bij}$$

Un intervalo de confianza para los parámetros estaría dado por la relación: $100(1-\alpha)$; el intervalo de confianza λ_i será igual a:

$$\lambda_i \pm \left[\text{Var} (\lambda_i) \right]^{1/2} t(\alpha, v)$$

t corresponde a un valor de tablas con la probabilidad y grados de libertad r y $100(1-\alpha)$ corresponde a la probabilidad de que el intervalo contenga el verdadero parámetro. Es posible, con base en el mismo razonamiento, definir intervalos de confianza para las predicciones \hat{Y}_i ($i = 1, m$), el cual estaría dado por la relación:

$$\hat{Y}_i \pm \left[\text{Var} (\hat{Y}_i) \right]^{1/2} t (\alpha, v)$$

La varianza de la predicción de la variable rendimiento se obtendría de acuerdo con Draper (1981):

$$\text{Var}(\hat{Y}_i) = \left[X'_0 (X' X)^{-1} X_0 \right] \sigma^2$$

donde X representa la matriz de valores de un área específica, asignados a las variables para obtener los estimadores de parámetro; X_0 representa la matriz de valores de los factores de

area para la cual se desea hacer la predicción y σ^2 representa el error residual, el cual es un componente de los valores de R a desviación del modelo.

La determinación de predicciones y la estimación de parámetros se realiza por procesos experimentales y por procesos de simulación, los cuales dependen básicamente de la calidad de la información necesaria, tomada en el área experimental; de la información básica existente sobre el área y el sistema de cultivos, y de la información periódica existente sobre clima, suelos y factores de manejo.

De acuerdo con Nix (1981), debe existir o generarse el número suficiente de datos para formulación y prueba de modelos y su utilización para: propósitos de predicción de rendimiento,, análisis de series de tiempo, para definición de estrategias de manejo de la nueva tecnología, y análisis de datos sobre producción y área para estimar el posible comportamiento de la tecnología.

El manejo de la información se debe hacer dentro del contexto de sistemas de bases de datos, debido a los diversos datos que se toman, a los múltiples atributos presentes y a las diversas fuentes de información ya mencionadas como mapas, censos, encuestas, muestreo y datos experimentales. Las nuevas tecnologías en desarrollo sobre bases de datos facilitarán grandemente la utilización de información geográfica y de información experimental para los propósitos predictivos en extrapolación.

En la Figura 8 se presentan resultados obtenidos sobre el uso de información histórica y desarrollo de modelos para datos ambientales de lluvia, temperatura y radiación para el área semiárida de Centroamérica (600 a 2000 mm de precipitación anual). Para estas áreas específicas se determinó el posible patrón de lluvias. Igualmente, teniendo en cuenta algunas características físicas de los suelos, se determinó la retención de agua, se determinó además la evapotranspiración potencial y se definió un modelo de balance hídrico o uso de agua por la planta. En la Figura 9, se destaca el balance hídrico para el suelo localizado en el área de Concepción de Nicaragua. El suelo es poco profundo, de textura arcillosa, clasificado dentro del orden Mollisol y familia Udic Pellusterds, fine, Montmorillonitic, isohyperthermic con poco drenaje y con humedad generalmente menor que la capacidad de campo.

De acuerdo con los períodos de siembra de maíz y sorgo, se determinó que una alternativa tecnológica recomendable para esta área debería incluir dentro de sus componentes tecnológicos lo siguiente: períodos de siembra para maíz y sorgo que permitan escapar de los factores de sequía, una variedad de maíz de ciclo corto, un sistema de manejo de suelo que permita la menor pérdida de humedad y una apropiada fertilización al momento de siembra del maíz.

En el Cuadro 5 se puede observar los resultados de experimentos sobre extrapolación de resultados de tecnología generada para áreas semiáridas de Centroamérica.

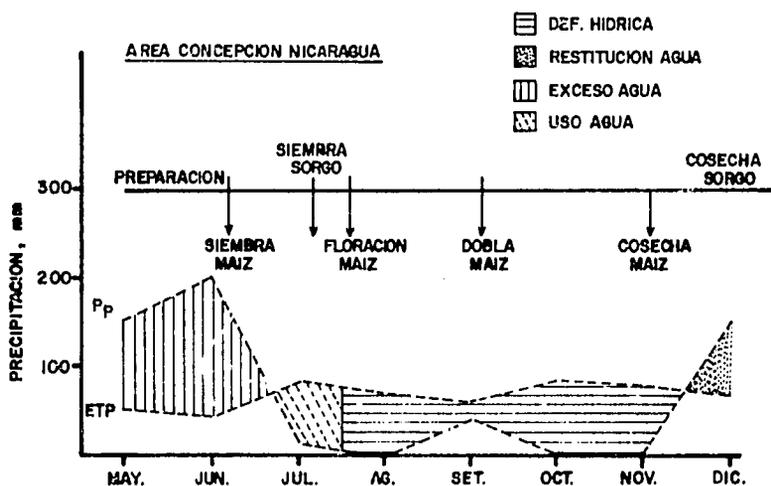
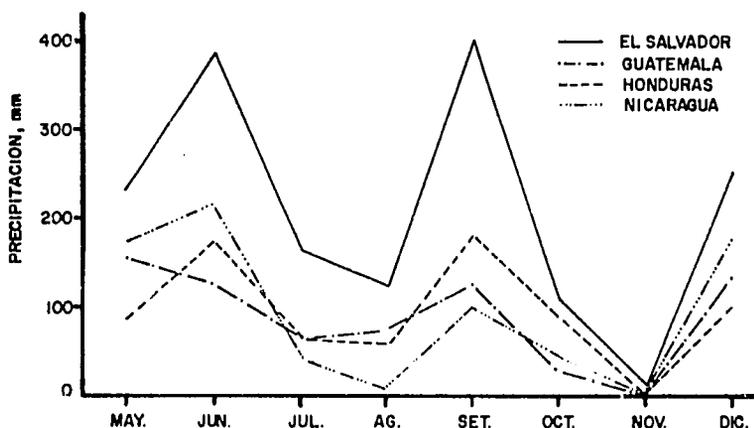


Figura 8. Lluvia promedio mensual para las áreas consideradas en trópico semiárido. Balance hídrico y fenológico del sistema maíz-sorgo en un sitio de Nicaragua.

El objetivo consistió en evaluar la tecnología generada en un área específica de El Salvador, para 4 alternativas de producción de maíz-sorgo y maíz-frijol (*Vigna unguiculata*). Se determinaron áreas donde se cultivan los sistemas (representatividad de sistema) y se definió un modelo empírico para determinar los factores que podrían interactuar con la tecnología, variando así el valor de la variable dependiente. Se definieron sitios experimentales en toda el área de inferencia y se colocaron los tratamientos consistentes en alternativas tecno-

lógicas de producción de maíz-sorgo y maíz-vigna, junto con los tratamientos del agricultor y del área, de acuerdo con un diseño de Bloques al azar aumentados.

Quadro 5. Rendimientos promedio (kg/ha) para maíz en las alternativas tecnológicas recomendadas para áreas del trópico semiárido. Factores causantes de variación.

Alternativa	Áreas			
	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Guatemala
Maíz H9 + sorgo criollo leche	4033	2131	1370	2557
Maíz H9 + Vigna VR 1	3741	2450	2300	2634
Maíz M3 B + Vigna VR 1	3650	1349	1035	2658
Maíz M3 B + Sorgo criollo leche	4045	1600	1350	2750
Maíz agricultor + Sorgo agricultor	2451	1857	561	2308
FACTORES DETERMINANTES				
Variedad	x	x	x	x
Epoca siembra		x	x	x
Canícula sequía Julio-Set.		xx	xx	x
Textura		x	x	x
Pendiente				x
Fertilidad (P ppm)	x	x	x	x
Drenaje interno		x		

Se observó de acuerdo con el modelo propuesto y el análisis realizado, que los factores que tienen mayor influencia para inferir sobre el comportamiento de las tecnologías evaluadas están referidas a características climáticas, especialmente los períodos secos durante fases de desarrollo de cultivos. Otros factores estuvieron relacionados con las características de suelo como la fertilidad, textura y la pendiente. Estos factores tienen gran relación con factores de clima, pues influyen en la capacidad del suelo para retener agua y con factores de manejo condicionados básicamente por el uso de variedades mejoradas y variación en épocas de siembra.

La Figura 8 y el Cuadro 5 permiten apreciar en forma general el uso de conceptos de representatividad de área, sistema y tecnología, para la generación de modelos empíricos que permitan, a su vez, determinar los factores que influyen en la variación de la respuesta a la tecnología generada en un área específica.

LITERATURA CONSULTADA

- BEINROTH, F. H. Soil classification and the transfer of agrotechnology. Proceedings: International Symposium on Research Needs for On-Farm Water Management. USAID, Washington, D. C., USA. S.F.
- DRAPER, N.R. and SMITH, H. Applied regression analysis. 1960. Second Edition. John Wiley and Sons. 695 pp.
- FEDERER, W. T. Augmented designs with one-way elimination of heterogeneity. *Biometrics* 17(3):447-472. 1961.
- GABRIEL, K.R. and NEUMANN, J. A markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 88:90-95. 1962.
- HOLDRIDGE, L. R. The life zone system. *Andansonia* 6(2):199-202. 1966.
- NIX, H. A. Application of remote sensing to agricultural production forecasting. Ispra, Italia, Joint Research Center, 1981.
- THORNLEY, J. H. M. Mathematical models in plant physiology. 1976. Academic Press, London. 317 pp.
- VIRMANI, S. M., SIVAKUMAR, M. V.K. and REDDY, S. J. Climatological features of the SAT in relation to the Farming Systems Research Program. In International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics, Hyderabad, India, 1978. Proceedings. Patancheru, India, ICRISAT, 1980. pp. 5-16.

El análisis de suelos requerido para la taxonomía de suelos

Elemer Bornemisza*

Resumen

El sistema de taxonomía de suelos se basa en datos de laboratorio para clasificar a los suelos; por ello la obtención de información confiable y comparable es esencial para el uso del sistema.

El primer requisito para obtener buenos datos es contar con muestras representativas, manejadas adecuadamente. Para algunos elementos se utiliza una extracción, siguiendo la metodología establecida para la taxonomía, aunque ésta no sea la óptima desde el punto de vista de fertilidad de suelos. Si no se sigue esta norma se pierde la validez de las comparaciones y los datos resultan inútiles para su clasificación.

El mismo principio se aplica para las determinaciones, las cuales deben seguir exactamente los procedimientos recomendados para la taxonomía de suelos, descritos en el manual sobre Investigación de Suelos del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Es esencial que se acompañe a las muestras de campo muestras ya conocidas (patrones) para tener un control del proceso analítico. De esta manera, al clasificarla se puede tener la confianza necesaria en los datos para tomar las decisiones taxonómicas basándose en la información de laboratorio.

El uso de determinaciones por duplicado es muy útil, pues permite estimar la precisión del proceso analítico.

En resumen sólo con base en datos analíticos confiables se puede aprovechar toda la riqueza de clasificación de la taxonomía de suelos; por tal causa el buen trabajo de laboratorio es una parte esencial del sistema.

* Ing. Agrónomo, Ph. D., Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José

Summary

Soil Taxonomy is based on laboratory data for classifying soils; for this reason the obtainment of comparable and reliable information is essential for the use of the system.

The first requirement for obtaining good data is to have representative samples, managed properly.

For some nutrients extraction is used, following the methodology established by Soil Taxonomy, even if this is not best from the soil fertility point of view. If this requirement is not observed, the validity of comparisons is lost and the data is useless for classification of soils.

The same principle is applied for nutrient determinations, which must be performed by following exactly the recommended procedures for Soil Taxonomy described in the manual on Soil Research of the United States of America Soil Conservation Service.

It is essential that field samples be accompanied by known samples in order to check the analytical process. In this way, the samples can be classified with confidence based on soil laboratory information.

The use of duplicate samples is very practical, since it permits us to estimate the precision of the analytical process.

In summary, only reliable analytical data allow us to use all the wealth of Soil Taxonomy; for this reason good laboratory work is an essential part of the classification system.

GENERALIDADES

La taxonomía de suelos es un sistema que para su aplicación adecuada requiere amplia información de laboratorio. Al comenzar la clasificación ya a nivel de órdenes se necesita información sobre los materiales que forman los suelos, especialmente su fracción fina, como por ejemplo los Vertisoles que requieren una mineralogía mecánica y los Oxisoles que dependen de la presencia de los óxidos de hierro y aluminio.

Para que se use información comparable para las decisiones de clasificación es fundamental atenerse en forma estricta a la metodología propuesta para la taxonomía de suelos presentada por la Soil Conservation Science (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA). Este manual (que bajo el título de Investigación de Suelos fue traducido al español y publicado por Editorial Trillas, es la base de los trabajos que se analizarán más adelante (Soil Conservation Service, 1973); estos datos deben ser la base de los trabajos de clasificación, de acuerdo con las normas de la taxonomía de suelos (Soil Service Staff, 1975).

Es muy importante recordar que estos análisis son un servicio esencial para el clasificador, quien dependerá de los datos que le suministren los laboratorios y cuyas decisiones

serán inevitablemente equivocadas si se basan en información incorrecta.

TOMA DE MUESTRAS

Este es el primer paso que se discute brevemente en la sección "Obtención y preparación de muestras" de la obra citada (Soil Conservation Service, 1973). En este punto es importante insistir en la limpieza del equipo con que se toman las muestras (como palos, cuchillos, etc.) y de los recipientes en que se guarden las muestras recién extraídas. En el libro Análisis Químico de Suelos (Saiz del Río y Bornemisza, 1975) se encuentra una breve discusión de este tema. Un estudio más completo del manejo de las muestras se encuentra en el tratado de Black (1965).

MANEJO DE LAS MUESTRAS

Las muestras recibidas en el laboratorio deben ser cuidadosamente identificadas y anotadas en un libro de registro de muestras que permite su identificación. La primera decisión es si se trabajará con muestras secas o húmedas. En esto es importante seguir las recomendaciones del volumen "Investigación de Suelos" (Soil Conservation Service, 1973), ya que un cambio en el estado de humedad de muchos suelos altera fuertemente los resultados en varias de sus propiedades. En el secado de las muestras es importante que las temperaturas no sean altas y que exista una buena ventilación para asegurar un secado lo más rápido posible. Para esto se requiere bastante espacio, ya que muestras extendidas en capas delgadas se secan rápidamente mientras que capas gruesas retardan mucho el proceso.

El proceso de manejo de muestras incluye su desmenuzación hasta el tamaño requerido para las diferentes determinaciones. En general cuanto menor sea la muestra para una determinación, más finamente debe ser molida y más cuidadosamente extraída para que represente la totalidad del suelo.

DETERMINACIONES DE PROPIEDADES FISICAS

Análisis de tamaño de partículas

Esta determinación rutinaria involucra mucho más problemas de lo que supone la mayoría de los analistas, sobre todo si la fracción fina incluye material amorfo que dificulta apreciablemente la dispersión de las muestras. La eliminación de la materia orgánica es un paso difícil y para suelos ácidos puede requerir un período prolongado y mucho reactivo.

En el libro de Forsythe (1975) se analiza una serie de dificultades como las señaladas.

La densidad aparente o densidad en masa es una propiedad importante; los métodos a seguir se indican en el capítulo titulado "Análisis relativo a los materiales" del libro del Soil Conservation Service (1973). El volumen de Forsythe (1975) también contiene información útil sobre la determinación de esta propiedad importante en clasificación de suelos.

Retención de agua

Estas determinaciones, que caracterizan una propiedad importantísima del suelo, se analizan en la sección que se acaba de citar; también existe información al respecto en el volumen de Forsythe (1975).

La micromorfología

Esta parte del análisis involucra técnicas muy específicas y normalmente el tratamiento de los datos requieren experiencia y un entrenamiento especial. A la luz de la experiencia se sugiere que cuando se inician trabajos en este campo, un colaborador visite un laboratorio con experiencia en estas técnicas.

DETERMINACIONES QUIMICAS DIRECTAS EN LAS MUESTRAS

Carbono orgánico o materia orgánica

Estas determinaciones se discuten en la sección sobre "Análisis químico" del manual del Soil Conservation Service (1973). El método más usado es la digestión con dicromatoácido, un método sencillo que con frecuencia rinde rápidamente datos útiles. Por desgracia, para ciertos suelos, como los Andosoles, el factor de recuperación no es de 0,77 como lo propuso Walkley (1935), aunque para muchos suelos superficiales el valor es correcto (Bornemisza *et al.*, 1979). La importancia de seguir precisamente las instrucciones para esta determinación queda muy bien ilustrada en el trabajo de Salazar *et al.* (1975), quienes al comparar cinco métodos usados encontraron diferencias mayores del 20 por ciento para algunas muestras, aun en el caso de un solo analista con amplia experiencia (*Op. cit.*). Las diferencias pueden ser mucho mayores cuando varios laboratorios analizan las mismas muestras. Para obtener datos en este campo basándose en la recomendación del Segundo Taller Internacional para Clasificación de Suelos, realizados en Malasia y Thailandia en 1978, el Museo Internacional de Suelos de Wageningen inició un programa de control de muestras de suelos presentado en un informe por Van Recuwijk (1982). Este informe demuestra la necesidad de una calibración cuidadosa de los métodos para obtener resultados comparables, que permitan correlacionar la información sobre perfiles y brinden el carácter general requerido para la taxonomía.

La determinación de nitrógeno total en suelos por medio del método de Kjeldahl es otro de los análisis comunes. Un punto de esta determinación, que conduce a valores equivocados de las reacciones C/N, consiste en incluir en el N total también el NH_4 fijado que en subsuelos arcillosos puede alcanzar valores de más de 100 ppm; por las bajas concentraciones de C orgánico en estas muestras surgen datos equivocados. En algunos casos este N fijado puede ser el 50 por ciento o más del N total, según lo indican Young y Aldag (1982).

Hierro "libre"

Se extrae con diferentes extractores y modernamente se determina por absorción atómica de los mismos extractos. Si se recurre a este procedimiento, que representa un gran ahorro de trabajo, es importante confrontar los dos métodos de determinación, aunque el manual del Soil Conservation Service (1973) ya prevé este método para diferentes extractos.

Manganeso soluble en ditionito

En este caso, como sucede para el hierro, se puede hacer la determinación con absorción atómica sin ningún problema y con apreciable ahorro de tiempo.

Carbonato de calcio

Esta determinación es necesaria para los suelos que la contienen; hay incluso suelos ligeramente ácidos que contienen este compuesto.

Yeso

En suelos de regiones áridas y semiáridas pueden existir acumulaciones de yeso cuya determinación precisa es fundamental para identificar los horizontes gípsicos.

Aluminio

La determinación de este elemento en sus diferentes formas dependerá de los extractores. En adición al proceso colorimétrico indicado en el manual ya citado, se puede determinar Al también por absorción atómica siempre que se disponga de un mechero para N_2O en el equipo de absorción atómica. Este procedimiento no solamente requiere un mechero especial sino también mucho cuidado en su uso.

Acidez extraíble

Se puede extraer de diferentes formas y se determina volumétricamente.

Carbonatos, bicarbonatos y cloruros

Se les determina en el extracto de saturación por medio de volumetría, los dos primeros, y con una volumetría de precipitación el último. Para éste se puede usar un electrodo específico o una titulación potenciométrica.

Sulfato y nitrato

Ambos se analizan en el extracto de saturación, determinando el primero por gravimetría o volumetría y el segundo por colorimetría.

Calcio y magnesio

Ambos se extraen con un extracto de saturación, se les determina por absorción atómica o con versenato, usando diferentes indicadores.

El Ca se puede determinar como oxalato de Ca por titulación con permanganato potásico y el Mg por gravimetría como pirofosfato de magnesio.

La extracción de Ca y de Mg de suelos calcáreos requiere un extracto especial. Pueden ser extraídos por medio de un extracto de saturación o con NH_4AcO y determinados por medio de fotometría de llama o absorción atómica.

Es importante recordar que cuando hay una alta concentración de silicatos u otras sales, que podrían atascar el quemador, hay que introducir un paso adicional, descrito en el manual del Soil Conservation Service (1973) para eliminar estas sales.

Azufre

Se propone una extracción con bicarbonato y una determinación colorimétrica u oxidimetría de S extraído de los componentes totales.

Fósforo total, extraíble con ácido acético o adsorbido

Se recomienda la extracción perclórica, precedida por una digestión nítrica-clorhídrica si hay bastante materia orgánica. ¡Cuidado con el HClO_4 que es un explosivo! Se determina el P colorimétricamente. Los requisitos de pureza para P son muy rígidos.

Una determinación importante para diferenciar los epipedones mólicos de los antrópicos es la del contenido de fósforo soluble en ácido cítrico al uno por ciento.

Para identificar los Andosoles se recomienda determinar su retención de fosfato. Para esto se pesan 5 g de suelo al aire (menor de 2 mm) y se introduce en un tubo de centrifuga plástico con 25 ml de solución saturadora. Esta solución se prepara pesando 8,80 g de KH_2PO_4 y 32,8 g de acetato de Na anhidro, agregándole 23 ml de ácido acético glacial y diluyendo todo a 2/1.

El suelo y la solución se agitan por 24 horas a una temperatura de aproximadamente 20°C ; se centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos y se determina el P en la solución supernatante.

Capacidad de intercambio y iones cambiables

El sexto capítulo de la obra citada "Investigación de suelos" se refiere a estas determinaciones, muy usadas por la taxonomía.

La determinación patrón de CIC para la Taxonomía es el método de acetato de amonio a pH 7. Aunque este procedimiento no es lo más adecuado para algunos suelos, por ejemplo los de carga variable, es importante seguirlo; de lo contrario no serán comparables los datos existentes.

Se usa también la determinación con acetato de sodio pH 8,2 y el procedimiento para determinar la capacidad máxima de retención a pH 8,2 con BaCl_2 usando triconolamina para fijar el pH, Ca, Mg, K y Na totales.

Estas determinaciones, aunque a veces necesarias, no son indicadas en detalle en el manual indicado de USDA (1973). Se recomienda utilizar los métodos de Lim y Jackson (1982). Modernamente se ha usado mucho la Espectrografía de Emisión de Rayos X para analizar totales, un método muy rápido y sencillo pero que requiere un equipo sumamente caro y manejo cuidadoso.

Determinación de pH

Estos procedimientos no están indicados en el manual de USDA (1973) pero son esenciales, como lo indica la taxonomía de suelos en el resumen de los métodos necesarios (comienzo del Apéndice IV). Así, se recomienda tener datos de pH en suspensiones acuosas, en KCl , NaF y CaCl_2 . El cambio de pH en NaF es un criterio para estimar el contenido de componentes amorfos presentes y es de particular importancia para Andosoles.

MINERALOGIA

En el último capítulo del manual que se ha venido citando, se dan los procedimientos para la preparación de las muestras a utilizar en los análisis instrumentales por medio de difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y análisis óptico de la fracción más gruesa de los suelos.

Estas determinaciones, muy importantes, requieren un laboratorio con equipo caro y personal altamente especializado para un manejo adecuado.

CONDICIONES DE LABORATORIO

Para mantener un alto nivel permanente en los trabajos de laboratorio es necesario establecer algunas medidas.

El factor más sencillo de estimar es la precisión de las determinaciones; para esto se acostumbra usar muestras duplicadas. Si las determinaciones por duplicado resultan en datos bien similares se estima que se trabaja con precisión, aunque todavía no se puede excluir la existencia de errores sistemáticos, los cuales producen datos precisos pero alejados de los verdaderos. Un error de este tipo podrá ser un reactivo mal preparado que dará sistemáticamente datos demasiado bajos, por ejemplo en la determinación de la materia orgánica por el método de combustión húmeda, si la solución de dicromato está mal preparada.

Las muestras patrones representan el control más conveniente. Estas muestras se pueden obtener de instituciones especializadas en su preparación o las puede preparar uno mismo. Es esencial que sus propiedades sean conocidas y que los datos sean confiables. Se recomienda, si se dispone de patrones, introducirlos entre las muestras por lo menos cada dos semanas y preferiblemente cada semana. Es recomendable también que las muestras por duplicado no sean analizadas una seguida de la otra, para que los resultados de una no influyan sobre la otra.

Se pueden usar también patrones internos, donde se introduce una cantidad conocida de un elemento en una muestra y se espera que ésta sea recuperada a la par de la cantidad existente originalmente en el suelo. En estos casos es muy importante estar seguro de que no ocurra una interacción entre el suelo y la sustancia añadida, por ejemplo una fijación de fósforo, ya que esto invalidaría los resultados.

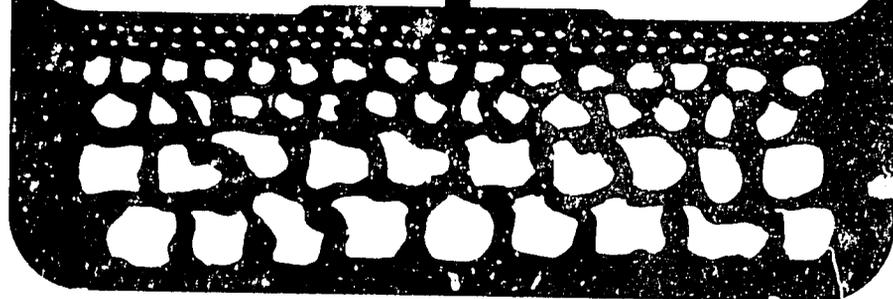
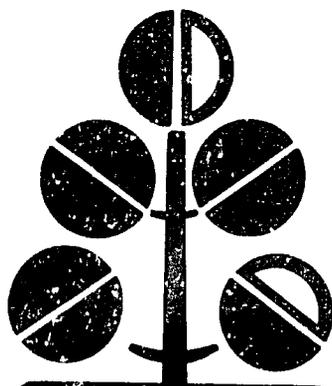
INTERPRETACION

Hasta aquí se ha tratado de exponer y discutir la metodología de laboratorio químico para la taxonomía de suelos. Estos procedimientos son los que deberán ser empleados cuando los datos deben ser aprovechados específicamente para clasificar suelos. Esto evidentemente no indica que para otros fines, como por ejemplo para recomendaciones de abonamiento, no se puedan emplear otras técnicas, las cuales a veces se adaptan mejor a condiciones locales de suelos y plantas. Sin embargo, para salvaguardar la comparabilidad de los datos, es esencial que los métodos definidos sean los utilizados para el mapeo por medio de la taxonomía de suelos.

LITERATURA CONSULTADA

- BLACK, C. A. ed. Methods of soil analysis. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 790 p.
- BORNEMISZA, E., CONSTELA, M., ALVARADO, A., ORTEGA, E.J. and VASQUEZ, A. J. Organic determination by the walkley-black and dry combustion methods in surface soils and andept profiles from Costa Rica. Soil Science Society of America Journal 43(1):78-83. 1979.
- FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. San José, Costa Rica. IICA, 1975. 212 p.
- LIM, C.H. and JACKSON, M. L. Dissolution for total elemental. In PAGE, A. L., MILLER, R.H. and KEENEY, D. R. eds. Methods of soil analysis. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. pp. 1-12.
- REEUWIJK, L. P. VAN. Laboratory methods and data exchange program for soil characterization; a report on the pilot round. s.n.t. 57 p. Document presented in: 5th International Workshop on Soil classification, Khartoum, Sudan, 1982.
- SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA.
- SALAZAR, H., ALVARADO, A. y BORNEMISZA, E. Estudio de la determinación de materia orgánica en seis suelos de Costa Rica. Turrialba 25(2):174-176. 1975.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Investigación de suelos. Traducido al español por A. Cartín. México, Trillas, 1973. 90 p.
- _____. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D. C., 1975. 754 p. (Agricultural Handbook no. 436).
- WALKLEY, A. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. Journal of Agricultural Science 25:598-609. 1935.
- YOUNG, J.L. and ALDAG, R. W. Inorganic forms of nitrogen in soils. In Stervenson, F. J. ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1982. pp. 43-66.

Parte II
CLASIFICACION DE SUELOS
POR TIPO DE CULTIVO



Clasificación de los suelos arroceros en Costa Rica y en el resto del mundo, según la taxonomía de suelos

Alvaro Cordero V.*

Resumen

En la primera parte de este trabajo se presentan datos sobre la distribución de las áreas arroceras del mundo y localmente para Costa Rica. Se presenta luego un resumen introductorio de la taxonomía de suelos, para describir con base en ella la clasificación de los suelos arroceros.

En forma global el arroz se presenta en prácticamente todos los órdenes de suelos y los más importantes subórdenes son: Aquents, Aquepts, Ochrepts, Tropepts, Aqualfs y Aquults. Para cada uno de estos subórdenes se da información valiosa. En Costa Rica, los suelos arroceros se encuentran ubicados principalmente en tres órdenes: a) Inceptisoles, b) Mollisoles y c) Vertisoles, y de estos tres órdenes, los subórdenes más sobresalientes para cada uno son: Tropepts, Ustolls y Usters. Los grandes grupos que más se destacan son los Eutropepts, Haplustolls y Pellusters. Según el mapa generalizado de suelos de Costa Rica, tanto para los órdenes como para los subórdenes se aportan las características más importantes. De acuerdo con esa clasificación, se indica que el cultivo del arroz está ubicado en 14 asociaciones de suelos, seis de Inceptisoles, dos de Vertisoles y tres de Mollisoles. En la parte final del trabajo se presenta información sobre la evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros de Costa Rica en los últimos 25 años, así como recopilación de los avances en la investigación sobre fertilización del cultivo del arroz de secano en este país.

* Inq. Agrónomo, Ph. D., Director del Programa de Estudios de Posgrado UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Summary

In the first part of this paper, data on the distribution of rice-growing areas in the world and in Costa Rica are presented. An introductory summary on Soil Taxonomy is presented next for describing the system used to classify rice-growing soils.

In general, rice is grown in practically every soil order. The most important suborders are: Aquepts, Aquepts, Ochsepts, Tropets, Aqualfs and Aquults. For each of these suborders valuable information is given in this paper. In Costa Rica, rice-growing soils fall in three main orders: a) Inceptisols, b) Mollisols, and c) Vertisols, and of these orders the most important suborders are Tropets, Ustolls and Usters, respectively.

The predominant great groups are the Eutropets, Haplustolls and Pellusters. The author provides important characteristics for soil orders as well as for suborders indicated in the generalized soils map of Costa Rica.

According to this classification, it is indicated that rice growing is localized on fourteen soil associations, six of Inceptisols, two of Vertisols and three of Mollisols. In the last part of the paper, the writer presents information on soil fertility evaluation of rice-growing soils in Costa Rica during the last 25 years, and also a collection of advances in fertilization research of upland rice in Costa Rica.

INTRODUCCION

Según Brady Director General del Instituto Interamericano de Investigaciones del Arroz (IRRI), "el arroz es vital para más de la mitad de la población del mundo. Es el grano más importante en la dieta de cientos de millones de asiáticos, africanos y latinoamericanos que viven en el trópico y en el subtrópico, donde la población se incrementa aceleradamente con tasas altas y se mantendrá en esta misma proporción en la década de los ochenta, y donde el arroz continuará siendo la primera fuente de alimentos" (En Yoshida, 1981). Así mismo, el arroz es uno de los principales alimentos en la dieta de los costarricenses, que consumen anualmente un equivalente a 50 kg *per capita*.

Dada la importancia del arroz en el trópico y el subtrópico, es necesario mantener altos rendimientos, con el menor costo posible, para alimentar a cientos de millones de personas. Para mantener esos rendimientos es necesario el empleo de tecnologías eficientes y acordes con las situaciones reales presentes. Esta tecnología es producida constantemente en la mayoría de los países productores de arroz en el mundo, y en centros internacionales como el IRRI en Filipinas, y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia y el Instituto Internacio-

nal de Agricultura Trópical, (IITA) en Nigeria*, entre otros. A pesar de esa red de centros de investigación sobre el cultivo del arroz anegado o de secano, es necesario que se produzca una eficiente transferencia de tecnología con base en analogías climáticas y edáficas; en ese marco, la clasificación de los suelos dedicados al cultivo de arroz, mediante la correspondiente taxonomía, brinda un excelente medio de información que puede ser utilizado para transferir tecnología entre zonas análogas.

El presente Documento pretende dar un resumen de la taxonomía de suelos y de los suelos dedicados al cultivo de arroz en el mundo, basándose primordialmente en los trabajos de Moorman (1978) y Moorman y Breemen (1978). Como contribución adicional se da un ejemplo de la taxonomía aplicada a la clasificación de los suelos dedicados al cultivo de arroz en Costa Rica, según Vásquez (1979). Se presentan además algunas prácticas de manejo, principalmente en el mejoramiento de la fertilidad de esos suelos y en la fertilización del cultivo de arroz en Costa Rica.

DISTRIBUCION DE LAS AREAS ARROCERAS

En el Mundo

Un mapa simplificado del mundo (Figura 1), según Moorman y Breemen (1978), muestra que el arroz se localiza principalmente en la zona tropical; geográficamente se define el trópico como una región comprendida entre el trópico de Cáncer (23,5° de latitud norte) y el trópico de Capricornio (23,5° de latitud sur), aunque también se siembra el cultivo del arroz en la región subtropical. Según Yoshida (1981), el arroz se cultiva al nordeste de China, hasta una latitud de 53°norte; en Sumatra Central en la línea ecuatorial, y en Australia (en New South Gales) a 35° de latitud sur. Se ha podido observar que el arroz crece bajo el nivel del mar en Kerala, India; hasta 2000 m sobre el nivel del mar en Kasimhir, India y en Nepal, puede crecer bajo condiciones de secano, bajo condiciones moderadas de inundación y hasta cubierto por 1,5 hasta 5 metros de agua.

La principal especie de arroz cultivada en Asia, Africa, Europa, América Central, América del Sur y Oceanía es la *Oryza sativa*.

Asia representa la principal zona arroceras del mundo; allí se siembra el 91 por ciento del total en el mundo. Africa siembra el 2,2 por ciento; Europa el 1,1; América Latina el 3,9; Estados Unidos 1,5 y Oceanía el 0,1 por ciento. En el Cuadro 1 se presenta la distribución de las áreas arroceras del mundo,

* IRRI e IITA son las siglas del nombre en inglés (nota del editor).

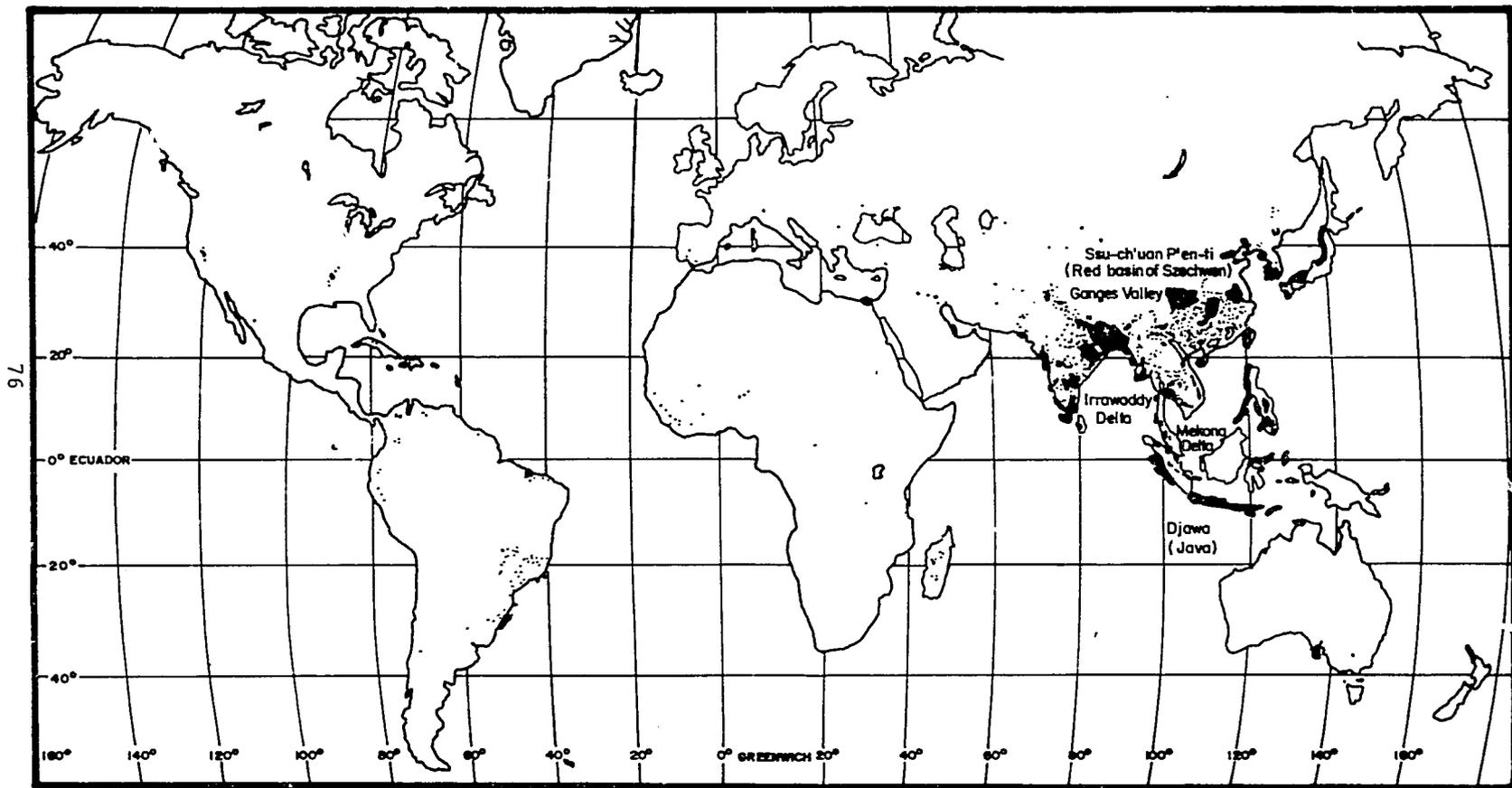


Figura 1. Distribución de las áreas arroceras del mundo.

Fuente: Moorman y Breemen (1978)..

con su correspondiente rendimiento y producción, según Yoshida (1981).

La mayoría de los suelos arroceros del mundo se siembran por el sistema anegado, pero el 75 por ciento de las siembras de ese grano en Latinoamérica y África se realiza bajo condiciones de secano; en Centroamérica ese índice alcanza al 90 por ciento, según el IRRI (1975). En Costa Rica predomina el sistema de arroz de secano casi en forma absoluta, con más del 95 por ciento del área cultivada.

El cultivo del arroz se encuentra en una gran diversidad de patrones geomorfológicos. Los principales son: a) valles intermontanos; b) abanicos aluviales y planicies de piedemonte; c) planicies de meandros de ríos; d) planicies fluvio-lacustres; e) planicies fluviales-marinas, y f) terrazas aluviales. En la Figura 2 se presenta un esquema en el que se representa la mayoría de dichas geoformas.

En Costa Rica

Según Murillo y González (1982), el arroz de secano en Costa Rica se encuentra ubicado principalmente en las tierras planas del litoral pacífico. La mayor concentración y las tierras de mayor producción se encuentran en los valles de Tempisque, Parrita, Diquis y Coto.

De acuerdo con el régimen pluviométrico las zonas arroceras se pueden dividir en tres grupos: Pacífico Norte, Pacífico Medio y Pacífico Sur.

Pacífico Norte. Comprende las tierras bajas y planas de los cantones de Esparza, Puntarenas (Centro), Orotina, Abangares, Cañas, Bagaces, Liberia, Carrillo, Santa Cruz, Nicoya, Nandayure y Jicaral.

La superficie sembrada y producción para esta zona arrocera se presenta en la parte A del Cuadro 2; de esos datos se desprende que el rendimiento promedio para esta área es de 3,05 toneladas por hectárea; la zona de Santa Cruz es la que tiene los rendimientos más altos y la de Orotina los menores.

De acuerdo con Holdridge (1978), la región se clasifica como bosque seco tropical y presenta dos estaciones climáticas bien definidas: una seca, que corresponde a la época de verano, que se inicia a partir del 15 de noviembre y finaliza el 15 de mayo. La temporada lluviosa o época de invierno se inicia el 15 de mayo y finaliza el 15 de noviembre. A mitad de período (15 de junio a 15 de agosto) se presenta una disminución de las lluvias; por tal causa ese período se denomina Veranillo de San Juan y canícula. En esta temporada se efectúa la mayor parte de la preparación de suelos y es la época de siembra de esta gran región, donde se siembran 41 126 hectáreas.

Cuadro 1. Areas arroceras del mundo. Rendimiento y producción, 1974-1976.

Región/país	Producción		Area		Rendimiento	
	miles de toneladas	% del total mundial	miles de hectáreas	% del total mundial	(t/ha)	% del total mundial
Asia de este	150 701	43,8	40 047	28,5	3,8	152
China	121 500	35,3	34 567	24,6	3,5	140
Taiwan	3 422	1,0	785	0,5	4,4	176
Japón	15 512	4,5	2 756	2,0	5,6	224
Corea del Norte	3 633	1,1	727	0,5	5,0	200
República de Corea	6 634	1,9	1 212	0,9	5,5	220
Asia del sur este	68 843	20,0	32 328	23,0	2,1	84
Burma	9 038	2,6	5 016	3,6	1,8	72
Indonesia	22 862	6,6	8 557	6,1	2,7	108
Cambodia	1 367	0,4	1 050	0,7	1,3	52
Laos	919	0,3	682	0,5	1,3	52
Malasia	1 982	0,6	777	0,6	2,6	104
Filipinas	6 092	1,8	3 555	2,5	1,7	68
Tailandia	15 153	4,4	8 401	6,0	1,8	72
Rep. Soc. de Vietnam	11 430	3,3	4 290	3,0	2,7	108
Asia del sur	91 764	26,7	52 266	37,3	1,8	72
Bangladesh	17 859	5,2	10 040	7,2	1,8	72
India	66 314	19,3	38 739	27,6	1,7	68
Nepal	2 481	0,7	1 247	0,9	2,0	80
Pakistan	3 782	1,1	1 671	1,2	2,3	92

Continúa

Continuación Cuadro 1. Areas arroceras del mundo.

Región/país	Producción		Area		Rendimiento	
	miles de toneladas	% del total mundial	miles de hectáreas	% del total mundial	(t/ha)	% del total mundial
Sri Lanka	1 328	0,4	569	0,4	2,3	92
Asia del oeste y Africa del norte	4 282	1,2	1 098	0,8	3,9	156
Africa del norte	2 349	0,7	466	0,3	5,0	200
Asia del oeste	1 933	0,5	632	0,5	3,1	124
SubSahara Africano	5 313	1,5	4 055	2,9	1,3	52
Africa del oeste	2 697	0,8	2 346	1,7	1,1	44
Africa del este y central	2 616	0,9	1 709	1,2	1,5	60
Europa	3 790	1,1	881	0,6	4,3	172
América Latina	13 316	3,9	7 199	5,1	1,8	72
Brasil	7 640	2,2	5 288	3,7	1,4	56
Otros	5 676	1,7	1 911	1,4	3,0	120
USA y Oceanía	5 563	1,6	1 135	0,8	4,9	196
USA	5 111	1,5	1 057	0,7	4,8	192
Oceanía	452	0,1	78	0,1	5,8	232
Mundo	343 834	100,0	140 280	100,0	2,5	100

Fuente: Yoshida (1981).

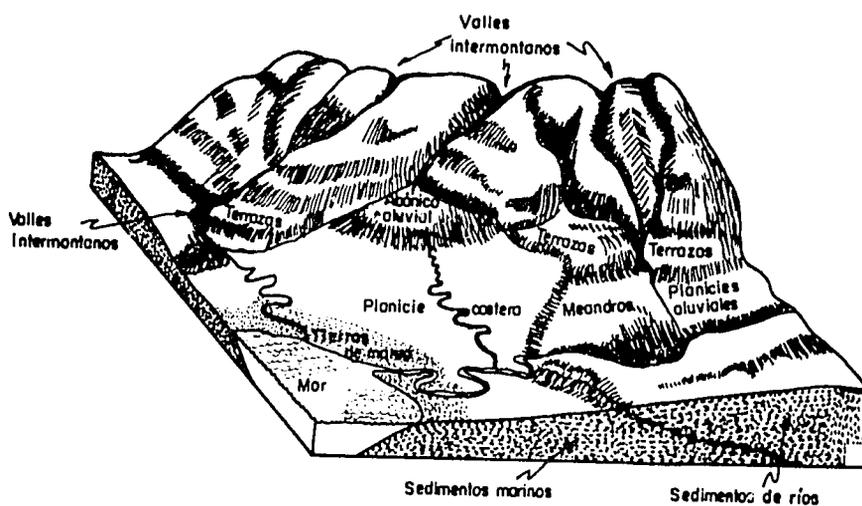


Figura 2. Representación esquemática de principales geformas donde se siembra el arroz.

Fuente: Moorman y Breemen (1978).

Pacífico Medio. Comprende los cantones de Aquirre, Parrita, Jacó y Tárcoles. La superficie sembrada y producción para esta zona arrocerá se presenta en la parte B del Cuadro 2; en esta área se pueden obtener dos cosechas por año, aunque la segunda es inferior, en cuanto a área y rendimiento. Para la primera, el área sembrada es de 10 889 hectáreas y para la segunda de 2840 hectáreas, con rendimientos de 2,99 toneladas por hectárea y 2,35 toneladas por hectárea, respectivamente.

Esta región tiene clima lluvioso con influencia monzónica, se clasifica, según Holdridge (1978) como bosque húmedo tropical; las lluvias se inician en el mes de abril y se intensifican en los meses de mayo, junio, agosto y octubre. Se observa una reducción en la precipitación durante julio, setiembre y noviembre. La época seca se inicia en diciembre y se prolonga en enero, febrero y marzo. Las lluvias tienen valores promedio de 3500 mm de precipitación al año.

Zona Pacífico Sur. Comprende los cantones de Osa, Golfito y Corredores. La superficie sembrada y producción para esta zona arrocerá se presenta en la parte C del Cuadro 2; también en esta zona se obtienen dos cosechas y la segunda siembra es importante, ya que representa más de la mitad del área sembrada con respecto a la primera. El área sembrada para la primera siembra es de 17 333 hectáreas y para la segunda de 8780 hectáreas. Sin embargo, los rendimientos son los más bajos, con respecto a las otras dos zonas arroceras: 2,50 y 2,00 toneladas por hectárea para la primera y segunda siembra respectivamente.

Esta región presenta un clima de tipo lluvioso, con influencia monzónica. De acuerdo con Holdridge (1978), se clasifica como bosque húmedo tropical. Se caracteriza por una alta precipitación y una distribución más homogénea durante el año; el promedio de la precipitación es de 3500 mm anuales.

Otras zonas productoras de arroz. Aparte de las zonas mencionadas, existen otras regiones del país en las que se siembra arroz bajo el sistema de secano. Ellas son: Upala, Matina y San Carlos. La región de Upala es la más importante en lo que a superficie sembrada se refiere; así, durante 1980 se sembraron 2790 hectáreas con un promedio de producción de 3,22 toneladas por hectárea.

Se caracteriza por tener un clima lluvioso con influencia monzónica. Se clasifica, según Holdridge (*Ibidem*), como zona de bosque húmedo tropical; el promedio de la precipitación anual oscila entre 2500 y 3000 mm.

LA TAXONOMIA DE SUELOS

La Taxonomía de Suelos (USDA, 1975), es un sistema multica-
tegórico de clasificación de suelos basado en los conceptos de

Cuadro 2. Zonas arroceras de Costa Rica. Superficie sembrada y producción.

A. Pacífico Norte

Cantón	Superficie (ha)		Miles de t/ha	
	1ª siembra	2ª siembra	1ª siembra	2ª siembra
Orotina	3 500		2,99	
Cañas	4 890		2,30	
Liberia	12 941		3,27	
Carrillo	4 200		2,93	
Santa Cruz	7 900		3,57	
Nicoya	7 695		3,22	
Total y promedio	41 126		3,05	

B. Pacífico Medio

Cantón	Superficie (ha)		miles de t/ha	
	1ª siembra	2ª siembra	1ª siembra	2ª siembra
Aguirre	4 965	1 251	2,99	2,53
Parrita	5 324	1 425	2,99	2,53
Jacó y Tárcoles (estimada)	600	200	3,00	2,53
Total y promedio	10 889	2 840	2,99	2,53

C. Zona Pacífico Sur

Cantón	Superficie (ha)		miles de t/ha	
	1ª siembra	2ª siembra	1ª siembra	2ª siembra
Osa	10 544	3 115	2,67	2,25
Golfito	789	1 665	2,30	1,84
Corredores	6 000	4 000	2,53	1,93
Total y promedio	17 333	8 780	2,50	2,00

Fuente: Murillo y González (1982).

los cuerpos del suelo nero influido por las teorías modernas de génesis.

Estructura del sistema

El sistema consta de seis categorías, del más alto al más bajo nivel de generalización. Esas categorías son: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie (Figura 3).

La naturaleza de las características diferenciadoras empleadas en las categorías del sistema se presentan en el Cuadro 1A, en el Apéndice.

Nomenclatura

Orden. Los nombres de órdenes pueden ser reconocidos por finalizar con la partícula sol (del Latín *solum*, suelo), con la conexión de un vocablo o raíz griega. Se reconocen 10 órdenes dentro del sistema. Sus nombres, con el elemento formativo y significado, se presentan en el Cuadro 2A del Apéndice.

Cuando se nombra un orden el elemento formativo aparece al final de los subsiguientes órdenes, grandes grupos y subgrupos nombrados.

Suborden. Los nombres del suborden tienen exactamente dos sílabas. La primera sílaba denota alguna propiedad diagnóstica del suelo y la segunda sílaba es el elemento formativo del orden. En este nivel se reconocen 25 elementos formativos, que se presentan en el Cuadro 3A del Apéndice con un significado aproximado.

Gran Grupo. El nombre de un gran grupo consiste en el nombre del suborden y un prefijo que consta de uno de dos elementos formativos, sugiriendo algunas propiedades del diagnóstico. En este nivel se usan cuarenta y un elementos formativos. En el Cuadro 4A del Apéndice se detallan y se da su significado.

Subgrupo. El nombre del subgrupo consiste en el nombre del gran grupo clasificado por uno o más adjetivos. Existen varias alternativas: a) concepto central del subgrupo; si el suelo es típico del gran grupo, suborden y orden, se utiliza el adjetivo "Typic" para denotar el concepto del grupo; b) integración hacia otro gran grupo en el mismo orden pero en diferentes subórdenes y hacia otro gran grupo en otro suborden. En estos casos se pone la palabra nemotécnica como adjetivo, adicionándole la terminación "ic" que es significativa del subgrupo; c) suelo integrado con un tipo de suelos no conocido; esta práctica es conocida como estragradación e indica identificación de un subgrupo usando un criterio no reconocido en la clasificación en los niveles superiores. Se reconocen 17 términos usados de esta manera (ver Cuadro 6A del Apéndice).

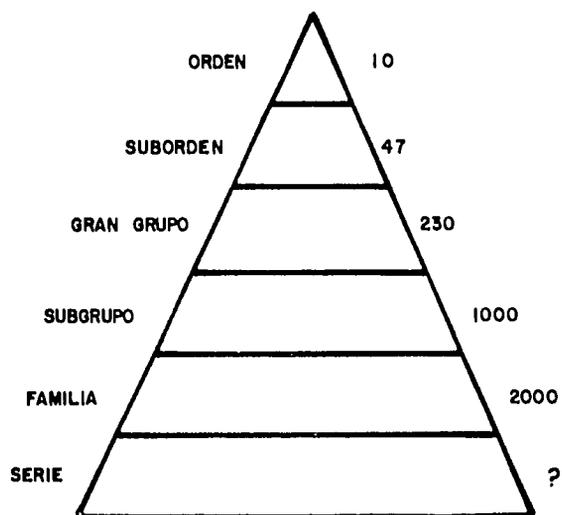


Figura 3. Las categorías de la taxonomía de suelos y un número aproximado de unidades en cada categoría.

Familia. El nombre de la familia consiste en el nombre del subgrupo y adjetivos, generalmente tres o más que indican la clase de tamaño de partículas (II clases), la mineralogía (20 clases) y régimen de temperatura (8 clases); se pueden anotar otras características, tales como profundidad del suelo (3 clases), consistencia (2 clases), humedad equivalente (2 clases) y otras propiedades.

Serie. Las series reciben nombre de lugares cercanos o donde se encuentra el suelo. La serie es parte del sistema de clasificación y como tal es una unidad taxonómica.

LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN LA TAXONOMIA DE SUELOS

En el mundo

En la Figura 4 se presenta el mapa de suelos del mundo clasificados según la taxonomía de suelos (USDA, 1975) y recopilados por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, reproducido en Buol *et al* (1980)

Clasificación de los suelos arroceros

Según Moorman (1978), el arroz crece en un amplio rango de suelos, bajo muchas condiciones climáticas e hidrológicas. En consecuencia, las características morfológicas y pedogenéticas en los suelos donde el arroz crece varían considerablemente.

Si se lograra superponer los dos mapas presentados con anterioridad, el de las áreas arroceras del mundo y el de suelos (Figuras 1 y 4), se podría notar que el arroz crece en todos los órdenes de suelos, como dicen Moorman (*op cit.*) y Moorman y Breeman (1978), esos autores establecen, que además según la taxonomía de suelos, el arroz crece en suelos que pertenecen a muchas clases o diferentes niveles de generalización.

Globalmente los más importantes subórdenes para los suelos sembrados de arroz son: Aquepts, Aquepts, Ochrepts, Tropepts, Aqualfs y Aquults. Localmente, otros subórdenes tales como Uderts son importantes. En el Cuadro 3 se incluye el listado de esos subórdenes, divididos por Moorman (1978) según su importancia de mayor a menor y su importancia local. A continuación se caracterizan los subórdenes más importantes.

Aquepts. Entisoles con un régimen de humedad ácuico; por ejemplo, los suelos están saturados de agua sobre la superficie o debajo, por lo menos gran parte del año y principalmente en el período en que el arroz está creciendo. Los suelos son en general de colores grisáceos o azulados y moteados.

La mayoría de los Aquepts cultivados con arroz provienen de sedimentos recientes, de áreas influidas por mares

SUELOS EN EL MUNDO

 ALFISOLES	 OXISOLES
A1-Borales	O1-Orthox
A2-Udales	O2-Ustox
A3-Ustales	 SPODOSOLS
A4-Xerales	S1-Undiffer- Entiated
 ARDISOLS	S2-Aquods
D1-Undiffer- Entiated	S3-Humods
D2-Argids	S4-Orthods
 ENTISOLES	 ULTISOLES
E1-Aquents	U1-Aquults
E2-Orthens	U2-Humults
E3-Psamments	U3-Udults
 HISTOSOLS	U4-Ustults
H1-Undiffer- Entiated	 VERTISOLES
 INCEPTISOLES	V1-Uderts
I1-Andepts	V2-Usterts
I2-Aquepts	 SUELOS EN AREAS MONTAÑOSAS
I3-Ochrepts	X1-Cryic (incl.Spodosols)
I4-Tropepts	X2-Cryic (incl.Alfisols)
I5-Umbrepts	X3-Udic
 MOLLISOLES	X4-Ustic
M1-Albolls	X5-Xeric
M2-Borolls	X6-Aridic
M3-Rendolls	X7-Ustic and Cryic
M4-Udolls	X8-Aridic and Cryic
M5-Ustolls	MICELLANEOUS
M6-Xerolls	 Z1-Icefields
	 Z2-Rugged Mountains

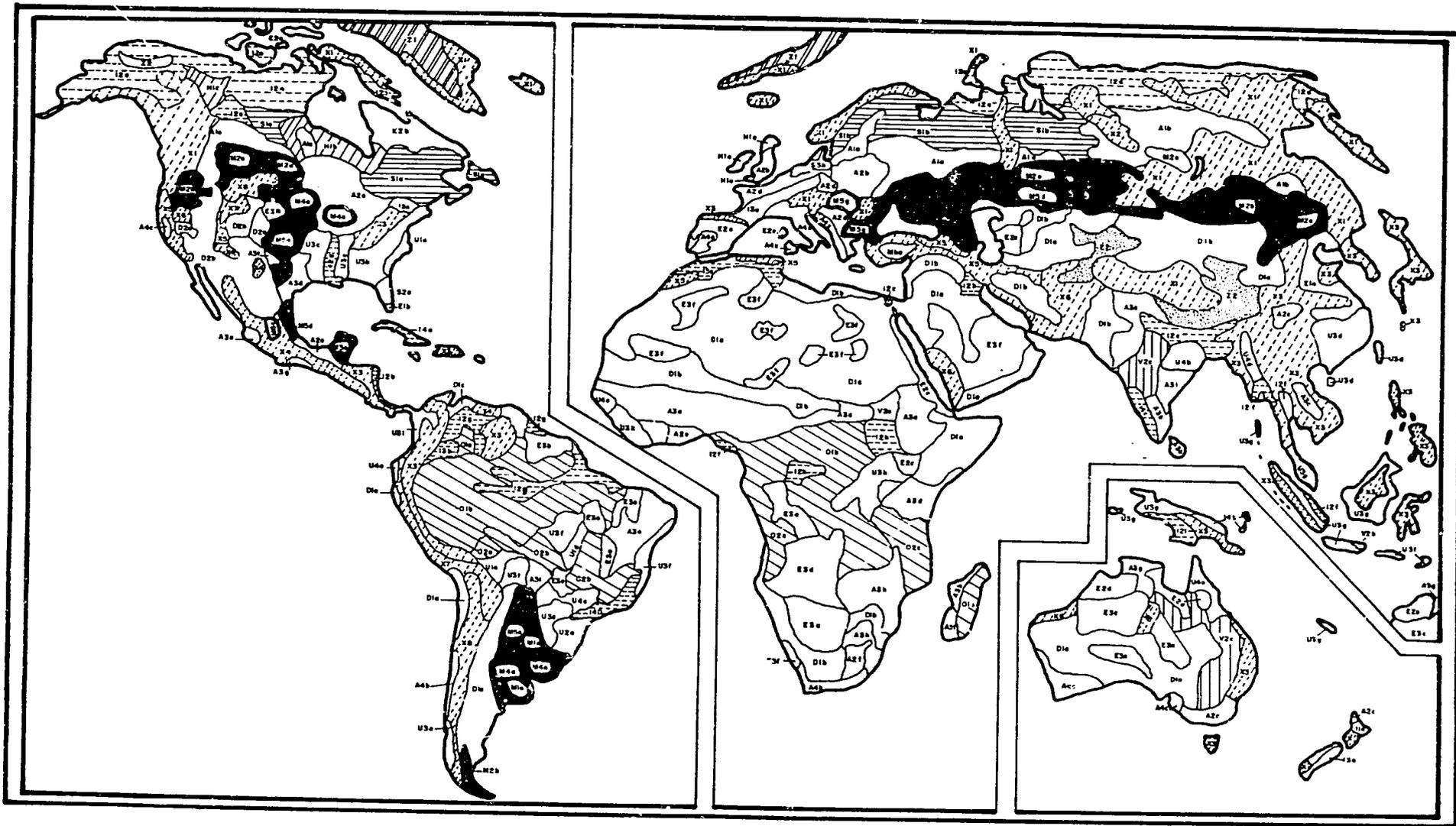


Figura 4. Mapa de suelos del mundo. Probable ocurrencia de órdenes y subórdenes
 Fuente: Buol *et al*, 1980.

y deltas de ríos. La mayoría de estos Aquepts son de planicie fluvial donde predomina el mal drenaje. Dentro de este suborden de suelos el arroz se encuentra cultivado en los: a) Sulfaquepts; b) Fluvaquepts; c) Pasammaquepts, y d) Tropaquepts.

Aquepts. Son Inceptisoles con un régimen de humedad ácuico. En muchos de estos suelos dedicados a la siembra de arroz, el agua de inundación o lluvia es retenida por medios artificiales. Generalmente tienen un horizonte superficial de colores grisáceos bien desarrollado, que puede ser Hístico o por la presencia de horizontes sulfúricos, o ambos, o por la presencia de moteados, al menos en los 50 cm de la superficie del suelo.

Cuadro 3. Suelos arroceros clasificados de acuerdo con la taxonomía de suelos.

Orden	Subórdenes cultivados de arroz		
	Importancia mayor	Importancia local	Importancia menor
Alfisol	Aqualfs, Ustalfs ^a	Udalfs ^a	Xeralfs ^b
Aridisol	---	---	Orthids ^b , Argids ^b
Entisol	Aquepts	Fluvents ^a	Orthents, Psammentis
Histosol	---	---	Hemists, Sapristis
Inceptisol	Aquepts, Ochrepts ^a Tropepts ^a	---	Andeps
Mollisol	---	Aquolls	Udolls
Oxisol	---	---	Orthox, Ustox
Spodosol	---	---	Aquods
Ultisol	Aquult, Udults	Humults	Ustults ^a
Vertisol	---	Uderts	Torrerts ^b , Xererts ^b
----	---	Usterts	---

a) Principalmente subgrupos ácuicos; b) Exclusivamente bajo irrigación.

Fuente: Moorman (1978).

Como no presenta características naturales exclusivas de diagnóstico, el suborden de los Aquepts tiene un rango morfológico considerable.

Los Aquepts constituyen el suborden más importante en que se cultiva arroz. Dentro de estos suelos se encuentran las áreas recientes o semirecipientes, planicies de los ríos, deltas y planicies costeras. La mayoría de estas áreas arroceras son Aquepts. Dentro de este suborden los grandes grupos de suelos más importantes son: a) Sulfaquepts, b) Tropaquepts, c) Haplaquepts.

Ocrepts. Son Inceptisoles que se presentan fuera de las áreas cálidas intertropicales y muestran una marcada diferencia en la temperatura del suelo (más de 5°C a 50 cm de profundidad, entre el mes más caluroso y el mes más frío). Es común encontrar creciendo el arroz en Inceptisoles que tienen un epipedón ócrico y un horizonte cámbico, o al menos frecuentemente un horizonte cálcico o ambos.

Dentro de este suborden los más importantes grandes grupos de suelos son: a) Ustocrepts, b) Eutrocrepts, c) Dystrocrepts.

Tropepts. Son Inceptisoles mejor drenados, localizados en las zonas intertropicales, donde la variación de la temperatura del suelo es menor de 5°C, entre el mes más caluroso y el mes más frío. La mayoría de los cultivos de arroz que crecen en los Tropepts están localizados en las tierras bajas; si muestran algún signo de pérdida de agua, son los subgrupos Aquic. Los grandes grupos de suelos que se encuentran en el suborden de los Tropepts son: a) Ustropepts y b) Dystropepts.

Aqualfs. Son Alfisoles que están saturados de agua durante la mayor parte del año y tienen un régimen de humedad ácuico. Son suelos que tienen un horizonte argílico. Una saturación de bases alta (más de 50% de C.I.C. por NH_4OAc)*. Se encuentran dentro del paisaje, en las formaciones aluviales viejas. Generalmente los Aqualfs están asociados con otros Alfisoles mejor drenados que se ubican en las partes más secas del paisaje y en algunas oportunidades con Ultisoles, particularmente en las áreas con pronunciadas épocas secas. Los Aquelfs que se siembran con arroz ocupan áreas de terrazas semirecipientes a lo largo de los ríos más importantes. En este suborden los dos grandes grupos más importantes son: a) Ochraqualfs y b) Trophaqualfs.

Aquults. Ultisoles bajo un régimen de humedad ácuico, que permanecen saturados durante la mayor parte del año. El horizonte argílico de los Aquults tiene una muy baja saturación de bases. Los Aquults se presentan principalmente en la parte

* C.I.C. = Capacidad de Intercambio Catiónico.

más baja del paisaje y el arroz se encuentra cultivado en las terrazas con formaciones del Pleistoceno, a lo largo de los ríos principales. Los Aquults más frecuentemente se presentan en las partes de las tierras bajas y están asociados con características de suelos muy lixiviados. Los dos principales grandes grupos de suelos que pertenecen a este subórden de los Aquults son: a) Ochraqults y b) Tropaquults.

Ustalfs. Alfisoles con un régimen de humedad ústico, donde existe suficiente humedad del suelo para el crecimiento de plantas, al menos durante seis meses al año. Los Ustalfs están distribuidos en las zonas tropical y subtropical con una pronunciada época lluviosa. El cultivo de arroz en su modalidad de secano se encuentra en la mayoría de estos suelos bajo el sistema de tala y roza. Dentro de este subórden, los principales grandes grupos de suelos son: a) Paleustalfs, b) Haplustalfs, c) Rhodustalfs, y d) Natrustalfs.

Udults. Ultisoles más o menos libremente drenados, tienen un horizonte argílico y una muy baja saturación de bases en la mayor parte del perfil. En las áreas intertropicales la mayoría de los Udults tienen una mineralogía caolinítica y sesquioxídica. Con valores muy bajos de C.I.C. en la fracción de arcilla, se presentan en áreas con una buena distribución de lluvias y períodos de sequía muy cortos. Los Udults son áreas de arroz de secano muy importantes. Los grandes grupos principales de este subórden de los Udults son: a) Paleudults, b) Rhodudults, c) Hapludults y d) Tropodults.

Subórdenes de importancia local sembrados con arroz. Dentro de los subórdenes que tienen importancia local y están sembrados con arroz en Costa Rica se tienen los Usters, los Uders, Aquolls; la mayoría de las veces están asociados con los Aquepts, en las planicies aluviales, donde se ha desarrollado un epipedón mólico. Los materiales parentales en estos suelos son de origen sedimentario y básico; por ejemplo, calizas o rocas cristalinas básicas. El cultivo del arroz también se encuentra en el subórden de los Humults, que tienen un contenido alto de materia orgánica.

Clasificación de los suelos arroceros de Costa Rica por la taxonomía de suelos.

De acuerdo con el mapa de suelos de Costa Rica recopilado por Vásquez (1979) (Figura 5), las áreas arroceras de Costa Rica ocupan tres órdenes principales de suelos: Inceptisoles, Mollisoles y Vertisoles.

Inceptisoles. Los Inceptisoles son, según Moorman y Breemen (1978), suelos inmaduros, con un leve desarrollo de las

características del perfil. Hay diversas razones para que los Inceptisoles tenga muy poco desarrollo del perfil y, debido a la falta de horizontes genéticos y características de diagnóstico, son determinantes para órdenes de suelos más desarrollados. Los Inceptisoles se encuentran en un amplio rango de ambientes, excluyendo solamente los regímenes de humedad arídicos del desierto. Se encuentran sobre diversos materiales parentales y virtualmente pueden ocupar cualquier posición en el paisaje.

Según Moorman y Breemen (*Op. cit.*), los Inceptisoles forman el orden más importante de suelos en los lugares donde se cultivaba la mayoría de los suelos considerados como aluviales en otras clasificaciones. En su mayoría se trata de Inceptisoles; aunque estos son formados en depósitos aluviales relativamente recientes, tienen que experimentar, aunque restringido, un desarrollo genético del perfil. Los Inceptisoles de las áreas planas son los más frecuentemente escogidos para la siembra del arroz, ya que en su mayoría son suelos aluviales de ríos o de deltas. Fuera de esas áreas los Inceptisoles pueden tener sólo importancia local; en estos casos se encuentran ubicados en terrazas jóvenes y de influencia marina. También se pueden encontrar en tierras altas y onduladas y de rodamiento, donde el suelo es rejuvenecido debido a erosión o deposición; por ejemplo, en las áreas de influencia volcánica donde puede haber depósitos de cenizas volcánicas.

En la Figura 6 se da una representación triangular de la clasificación de los Inceptisoles en subórdenes y grandes grupos (Buol *et al.*, 1980).

En Costa Rica, de acuerdo con Vásquez (1979), los Inceptisoles se localizan en los suelos aluviales de ríos bien drenados o moderadamente drenados, y en menor proporción en los más drenados se encuentran primordialmente en los valles de los ríos Tempisque, Grande de Térraba, Coto, Parrita; Savegre y Matina, en el Atlántico, y también en la zona norte de Upala. Se encuentran distribuidos prácticamente en todas las áreas arroceras de Costa Rica. El principal suborden que se encuentra sembrado de arroz en Costa Rica es el de los Tropepts y, dentro de estos, el principal gran grupo es el de los Eutropepts.

Eutropepts. Según el mapa generalizado de suelos de Costa Rica compilado por Vásquez (*Op. cit.*) (Figura 5), los Eutropepts se encuentran principalmente en la zona del Pacífico Sur, en Matina (en la zona Atlántica) y Upala (en la zona norte), asociados con Tropaquepts. En la zona del Pacífico Norte y Pacífico Medio los Tropepts-principalmente los Eutropepts- pueden estar asociados con Haplustolls.

Los Eutropepts, según Vásquez, citado por Murillo y González (1982), son básicamente de origen aluvial, planos, profundos, oscuros o de color pardusco, de texturas medias a mode-

SIMBOLOGIA Y LEYENDA

RELIEVE PLANO	A-1	Suelos aluviales, bien drenados (Udolis, Ustolis, Tropepts)
	A-2	Suelos aluviales moderadamente drenados (Tropepts, Aquepts)
	A-3	Suelos aluviales, mal drenados (Aquepts)
	A-4	Suelos aluviales muy mal drenados (Aquents)
	A-5	Suelos pantanosos (Aquents)
	A-6	Suelos aluviales, excesivamente drenados (Psamments)
	A-7	Suelos de origen fluviolacustre, de texturas pesadas (Usterts-Udepts)
	A-8	Suelos orgánicos, mal drenados (Saprist-Hemist)
B-1	Suelos coluvio-aluviales, ligeramente ondulados (Tropepts)	

RELIEVE ONDULADO	B-2	Suelos volcánicos de relieve suavemente ondulado (Andepts)
	B-3	Suelos formados a partir de tobas volcánicas suavemente ondulados a planos (Tropepts)
	B-4	Suelos coluvio-aluviales, muy meteorizados suavemente ondulados (Ustults, Tropepts)
	B-5	Suelos desarrollados sobre terrazas antiguas, disectadas, de relieve suavemente colinado (Humults, Udupts)
	RELIEVE MUY ONDULADO A ONCULADO	C-1
C-2		Suelos residuales, de relieve colinado (Tropepts-Humults)
RELIEVE COLINADO O MONTAÑOSO	D-1	Suelos volcánicos, en relieve montañoso (Andepts, Humods)
	D-2	Suelos residuales, de relieve muy escarpado (Humults, Ustults, Tropepts)
	D-3	Suelos muy erodados y/o poco profundos, en relieve montañoso (Orthents)

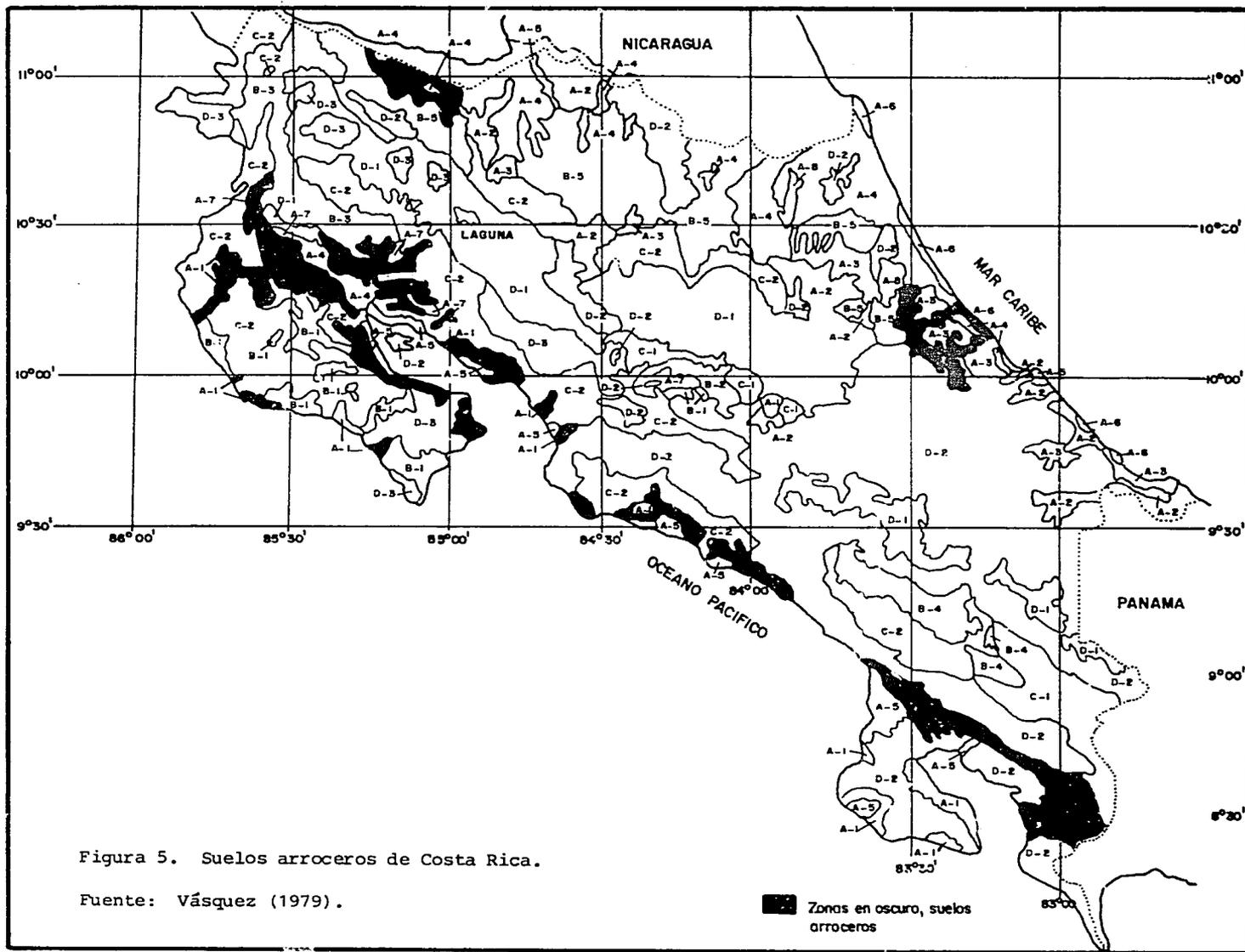
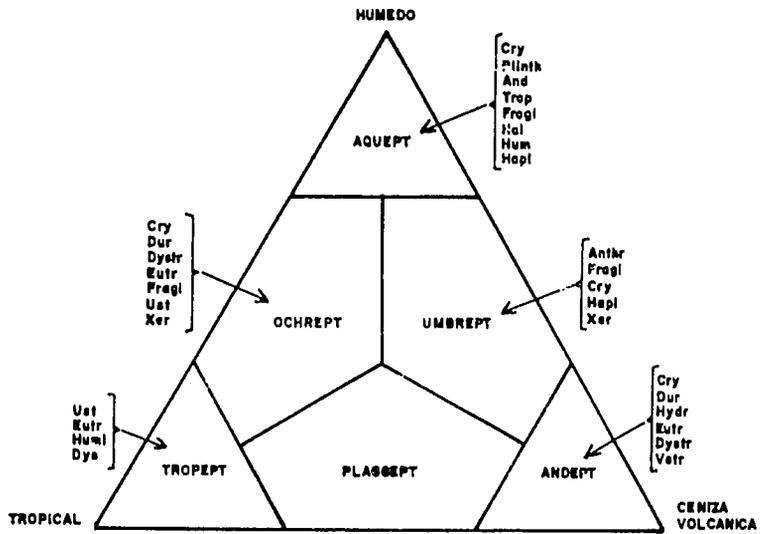
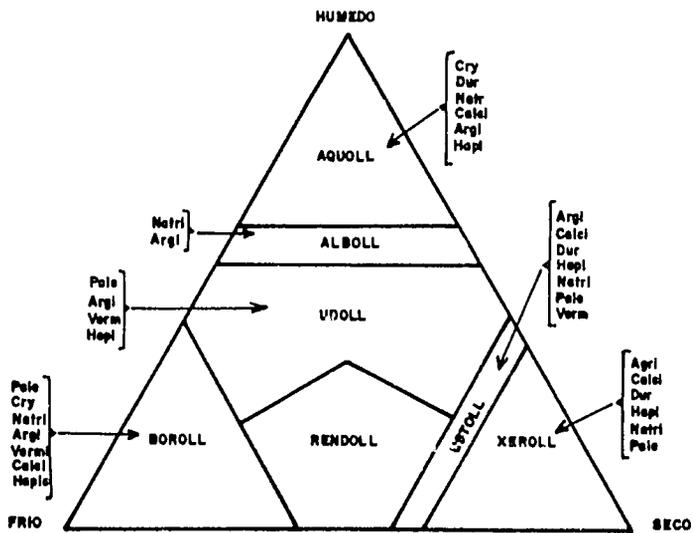


Figura 5. Suelos arroceros de Costa Rica.

Fuente: Vásquez (1979).



INCEPTISOLES



MOLLISOLES

Figura 6. Clasificación triangular de los Inceptisoles y Mollisoles.

Fuente: Buol et al. (1980).

radamente pesados. Bien o moderadamente drenados, poco friables. Muy fértiles, aunque en Costa Rica, debido al mal uso de un agroquímico (Caldo Bordelés) durante los años de 1930 a 1950, en el Pacífico Sur se pueden encontrar altas concentraciones de cobre (Cordero y Ramírez 1979). Estos suelos tienen muy alta capacidad de intercambio catiónico y elevada saturación de bases. En algunos Eutropepts (por ejemplo los de las zonas del valle de Matina, Upala, valle del Tempisque y del Pacífico Medio) las disponibilidades de fósforo son bajas, aunque la respuesta por el arroz no es tan espectacular, lo cual disminuye día a día con el uso continuado de abonamiento fosforado para el cultivo; con esta práctica se ha influido en el aumento del nivel de disponibilidad de fósforo. Se cuenta con evidencias de que en zonas como el Pacífico Norte, donde el cultivo del arroz en estos suelos se ha realizado por más de 30 años con abonamientos fosforados, es difícil encontrar experimentalmente respuesta del arroz a las aplicaciones de fósforo.

Mollisoles. Los Mollisoles son, según Moorman y Breemen (1978), suelos que, de acuerdo con su concepto central, son desarrollados en las zonas templadas, con climas subhúmedos o semiáridos, a latitudes medias y baja vegetación de pastos. De acuerdo con la distribución mundial del cultivo del arroz, pocas áreas se ubican sobre Mollisoles.

Desde el punto de vista de la génesis de los suelos, los Mollisoles deben estar desarrollados bajo vegetación de pastos, pero algunos son formados bajo bosques, influidos por materiales básicos, principalmente calizas y mármol, aunque recientemente fue descubierto que también pueden ocurrir en sedimentos piroplásticos básicos. Ultimamente, estudios de suelos de las regiones climáticas cálidas indican que los Mollisoles son mucho más comunes en las zonas tropicales de lo que se creía con anterioridad.

Las principales características de los Mollisoles son un horizonte superficial grueso de color oscuro y bien estructurado, altos contenidos de humus (epipedón mólico) y alta saturación de bases a través del perfil. La mayoría de las áreas arroceras sobre Mollisoles se localizan en planicies y valles aluviales, usualmente recientes o semirecientes y con un material parental dominante rico en bases. Esta situación se presenta en Costa Rica en algunas áreas del valle del Tempisque, como se puede observar en el mapa compilado por Vásquez (1979) (Figura 5).

En algunas de estas áreas de Mollisoles bien drenados, el arroz de secano crece favorablemente y es el principal cultivo, sembrado durante años con altos tendimientos y buena calidad.

En la Figura 6 los Mollisoles están subdivididos en siete subórdenes: Allbolls, Aquills, Borolls, Rendolls, Usolls, Ustolls y Xerolls.

Dentro de estos subórdenes, en Costa Rica se encuentran los Ustolls, principalmente, y los Udolls, como señala Vásquez (1979) (Figura 5). Según el mismo autor, pero citado por Murillo y González (1982), el gran grupo más corriente es el Haplustolls.

Haplustolls. Son suelos aluviales del valle del Tempisque y tributarios. Suelos planos, profundos, bien drenados, oscuros, ricos en materia orgánica, porosos y friables. Estos suelos presentan alta capacidad de intercambio catiónico y alta saturación de bases; su fertilidad natural es alta, aunque pueden presentar deficiencias de fósforo y azufre más corrientemente, y de dos elementos menores (zinc y manganeso) como lo encontraron Cordero *et al* (1980) mediante una prueba biológica; trabajando con un Typic Haplustolls, esos autores encontraron fuerte deficiencia de azufre y en menos grado de zinc y manganeso. El grado de respuesta de las aplicaciones de S, Zn y Mn fue de 47, 17, y 15 por ciento, respectivamente.

Vertisoles. Según Moorman y Breemen (1978), el orden de los Vertisoles es muy bien reconocido y morfológicamente está constituido por unidades homogéneas. En Costa Rica se le conoce vulgarmente a estos suelos con el nombre de "sonsocuitles".

Los Vertisoles se caracterizan por ser suelos arcillosos en todo el perfil. Esas partículas de arcilla son finas a muy finas. Cuando no se les da irrigación en la estación seca presentan grietas profundas.

Además los cambios de hinchamiento y encogimiento causan movimientos del material del suelo, de la superficie al inferior del perfil del suelo, trayendo consigo características muy particulares y microrelieve (Gilga) irregular, y la presencia en el perfil de superficies de deslizamiento. El agrietamiento implica que debe existir un mojado con estación seca bien definida.

Las zonas arroceras en los Vertisoles se presentan en los climas ústicos, donde el perfil del suelo se seca por más de 90 días consecutivos aunque debe haber un marcado excedente de agua, por lo menos durante 60 días.

Las áreas arroceras más importantes sobre los Vertisoles se presentan, según Vásquez (1979) (Figura 5), en la zona del Pacífico Norte de Costa Rica, en suelos de origen fluvio-lacustre y de texturas muy pesadas y bajo relieve plano; tienen la simbología A7 en el mapa de suelos de Costa Rica del autor antes citado.

La mayoría del arroz que se cultiva en los Vertisoles es de topografía plana, con una pendiente natural que no excede el uno por ciento. En esta posición muchos Vertisoles se han formado por transporte de materias sedimentarias (aluvial o coaluvial) principalmente rocas básicas, rocas sedimentarias

calcáreas, rocas ígneas, basaltos y cenizas volcánicas. Naturalmente, la fertilidad de los Vertisoles es muy alta, aunque su condición física es muy desfavorable; la labranza de estos suelos resulta una operación muy difícil.

Se reconocen cuatro subórdenes en el orden, y ellos están determinados principalmente por el período que las grietas permanecen abiertas (Cuadro 4).

De esos cuatro subórdenes, el principal sembrado con arroz en Costa Rica es el Usters; dentro de éste suborden se encuentran los Pellusters como gran grupo (Vásquez, citado por Murillo y González 1982).

Pellusters. Son suelos de origen fluvio-lacustre, conocidos localmente en la provincia de Guanacaste como "sonsocuitles". Son profundos, planos, de textura muy pesada y de colores oscuros, moderadamente drenados, lentamente permeables, se agrietan en seco, muy pegajosos en mojado. Aunque fértiles, son deficientes en fósforo. La materia orgánica por lo general es también muy baja. Son difíciles de laborar, aunque muy productivos.

Presentan alta capacidad de intercambio catiónico y elevada saturación de bases, y su capacidad de retención de humedad es muy elevada.

Sancho *et al.*, (1980) en un estudio sobre la fertilidad de un Typic Pelluster de la zona arrocería de Guanacaste, Costa Rica, comparando un tratamiento óptimo que tenía todos los elementos necesarios en dosis adecuadas, con tratamiento y ausencia de N y P, comprobaron que estos suelos tenían una pérdida de 80 por ciento; de un 40 por ciento en ausencias de K, S, B o Mn, y de 30 y 20 por ciento para Zn y Fe, respectivamente.

Según el mapa de tipos de suelos en Costa Rica (CATIE, 1983), (Figura 7), producido por computador en el Centro de Cómputo del CATIE, utilizando el Sistema Comprensivo para el Inventario y Evaluación de Recursos (CRIES)*, interpretado de acuerdo con el mapa de asociaciones de suelos de Costa Rica de Pérez, Alvarado y Ramírez (1978) y su manual descriptivo, se comprueba que el arroz se encuentra principalmente en tres órdenes (Inceptisoles, Mollisoles y Vertisoles), similares a los tres órdenes encontrados cuando se utilizó el Mapa de Vásquez (1979).

En el Cuadro A6 del apéndice se incluye un resumen de las características más sobresalientes de las principales asociaciones dedicadas al cultivo del arroz en Costa Rica. En dicho cuadro se cuentan 13 asociaciones cultivadas con arroz, del total de las 55 encontradas en el país por Pérez, Alvarado y Ramírez * (1978).

* Por su nombre en inglés: Comprehensive Resources Inventory and Evaluation System (nota del editor).

De las 13 asociaciones, ocho pertenecen al orden de los Inceptisoles, dos a los Vertisoles y tres a los Mollisoles.

Cuadro 4. Vertisoles, clasificación de subórdenes y grandes grupos.

Número de días/año que las grietas permanecen abiertas						
< 90 acumulativos < 60 consecutivos		> 90 acumulativos		> 60 consecutivos		Todo el año
UDERT		USTERT		XERERT		TORRERT
Croma < 15 PELL	Croma > 15 CHROM	Croma < 15 PELL	Croma > 15 CHROM	Croma < 15 PELL	Croma > 15 CHROM	
Typic Entic	Typic Aquentic Aquic Entic	Typic Entic Udic Udor- thentic	Typic Entic Paleusto- llic Udic	Typic Chromic Entic	Typic Aquic Entic Palexe- rollic	Typic Mollic Paleus- tollic

EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS ARROCEROS DE COSTA RICA

En Costa Rica la evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros y la fertilización del cultivo del arroz de secano se han venido efectuando desde hace más de 30 años, junto con el resto de las investigaciones en otras disciplinas referidas a este cultivo.

En 1961, la Asamblea Legislativa de Costa Rica aprobó un presupuesto extraordinario para fortalecer a nivel nacional el Programa de Arroz del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). En ese mismo año se realizó una exhaustiva evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros mediante análisis químico. Ese estudio fue realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en colaboración con el Laboratorio de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

En aquella oportunidad se diagnosticó que los suelos arroceros en la zona del Pacífico Norte eran suelos con pH entre 6,0 a 6,5 y sin problemas de acidez, con altos contenidos de calcio, magnesio y potasio, pero la materia orgánica en un rango de 3,5 a 4,5 por ciento, y bajos en fósforo disponible.

La evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros, mediante análisis químico se extendió a las nuevas áreas, la evaluación no sólo tenía como objetivo diagnosticar posibles

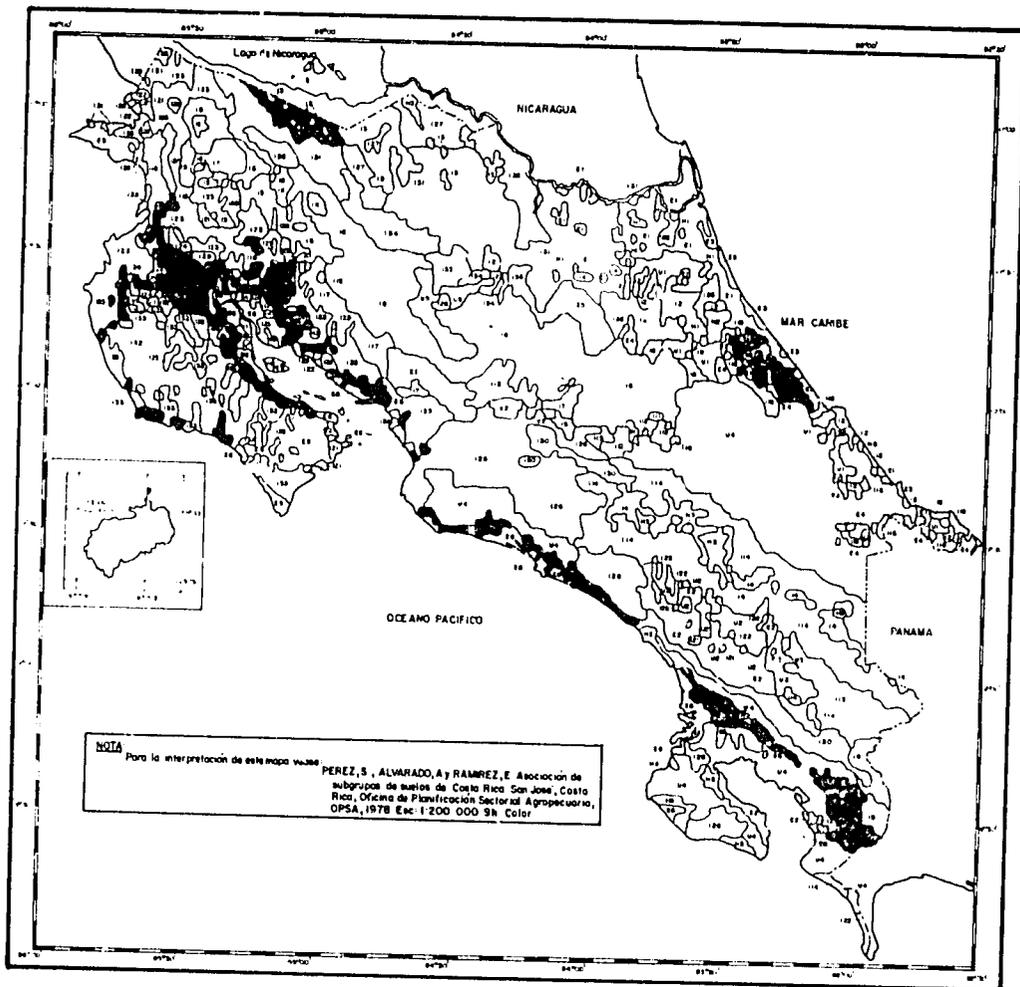


Figura 7. Suelos arroceros de Costa Rica, según Mapa de Tipos de Suelos (interpretados de acuerdo al Mapa de Asociaciones de Suelos de Costa Rica).

Fuente: CATIE, 1983

deficiencias de nutrimentos, sino también diagnosticar los elementos tóxicos en los suelos. Así, en 1974 se logró determinar que los altos contenidos de cobre acumulados en los suelos por largos años en el Pacífico Sur de Costa Rica (debido a las aplicaciones excesivas del fungicida caldo bordelés, para controlar enfermedades fungosas en el cultivo del banano, aplicando aproximadamente 100 kg de cobre por año durante 20 años) eran la principal causa de la clorosis blanquecina del cultivo del arroz en Costa Rica, que afecta primeramente el sistema radicular de las plántulas de arroz afectando su crecimiento, produciendo la muerte de plantas y, en última instancia, disminución muy considerable en el rendimiento (Cordero y Ramírez, 1979).

Pero este problema causado por las transnacionales dedicadas a la explotación del cultivo de banano en Costa Rica, ha servido como alerta a los costarricenses para tratar de observar las recomendaciones de fertilización y el uso de agroquímicos en el arroz, con una base científica y pensando en producir el mínimo deterioro posible al suelo y al ecosistema en general (Op. cit.).

Con base en la evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros en la década de los sesenta, continuaron colateralmente las investigaciones de campo para evaluar la respuesta del arroz (con las variedades usadas en ese tiempo) principalmente a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, que más adelante se explicarán con más detalle.

A fines de los años sesenta y principios de los setenta, Cordero y Salas (1971) utilizaron con gran éxito el método biológico de microparcelas de maíz para evaluar la fertilidad de los suelos arroceros. Así, pudieron comprobar biológicamente las deficiencias de azufre, fósforo y elementos menores en algunos de los suelos arroceros del Pacífico Sur.

En el primer quinquenio de los años setenta, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en colaboración con la Universidad Estatal de Carolina del Norte, intensificó las investigaciones para calibrar los análisis de suelos mediante estudios en invernadero y en el propio campo con el cultivo del arroz (Cordero y Miner, 1975).

Estos investigadores establecieron los niveles críticos en suelos arroceros para los nutrimentos fósforo y potasio extraídos con solución de Olsen modificado. Los niveles establecidos y que aún están en uso son: 4 mg de p/ml y 0,15 meq de K/100 ml de suelo.

A fines de los setenta y principios de la década de los ochenta, la evaluación de la fertilidad de los suelos arroceros mediante análisis de suelos se complementó con estudios de sorción y el uso del método biológico, utilizando la técnica del elemento faltante y aditivo; de ese modo, Cordero et al. (1980) evaluaron un Mollisol del Pacífico Norte y encontraron que era muy deficiente en azufre y en menor grado en zinc y manganeso.

Otro excelente ejemplo de este tipo de estudios fue realizado por Sancho *et al.* (1980), quienes estudiaron la fertilidad de tres toposecuencias ubicadas en el Pacífico Norte y sur de las principales toposecuencias (clasificadas como Fluventic Ustropept, Entic Cromoustert y Typic Pellustert) encontraron que el suelo Fluventic Ustropept, situado en la margen del río Tempisque, presentó menor respuesta a las aplicaciones de N, S, Mn y Zn. El suelo Entic Chromoustert respondió a las aplicaciones de N, P, Mn, S y Zn y el Typic Pellustert respondió a las aplicaciones de N, P, K, S, B, Fe, Mn y Zn.

Esta últimas investigaciones han servido como base para que el programa de arroz del MAG experimente con las nuevas variedades, y a nivel de campo, aplicaciones de elementos menores como zinc y manganeso (Murillo y González, 1982).

Recientemente Bertch* ha efectuado una recopilación con el resultado de miles de análisis químicos de suelos realizados por el Laboratorio de Suelos del MAG, y ha encontrado y reafirmado situaciones muy interesantes, por ejemplo; que el fósforo se encuentra en cantidades extraíbles muy bajas en los suelos dedicados al cultivo del arroz y en general en los suelos de Costa Rica; que en las zonas de Guanacaste del Pacífico Norte es probable encontrar deficiencias de hierro, zinc y manganeso.

Aunque esta información no está relacionada con ninguna clasificación de suelos, su importancia a nivel local es de gran utilidad, ya que se pueden superponer mapas de áreas de siembra de cualquier cultivo, sobre los mapas elaborados por Bertsch, referidos a distribución de deficiencias de nutrimentos de suelos de Costa Rica.

LA FERTILIZACION DEL ARROZ DE SECANO EN COSTA RICA

Fertilización nitrogenada

Entre los principales elementos nutritivos del arroz en Costa Rica, el nitrógeno ocupa el primer lugar. Aproximadamente 75 por ciento de los ensayos de N en arroz realizados por el MAG durante los años 1961 a 1974, tienen respuesta positiva; además muestran que esta respuesta está dada primordialmente por el tipo de planta.

Durante la primera parte de la década de los sesenta, cuando se usaron variedades americanas como el Bluebonnet-50, se encontró respuesta a la aplicación de 30 kg de N/ha, debido a que estas variedades son muy susceptibles al volcamiento y a la *Pyricularia oryzae*, problemas relacionados con la nutrición ni-

* Bertsch, Flora. Comunicación personal de datos inéditos basados en resúmenes de análisis de suelos del MAG.

trogenada.

Durante gran parte de la década de los sesenta se intensificaron las siembras de las variedades de Surinam, como Dima, Tapuripa (SML 140-5), Apura (SML 467), y Alupi (SML 242), con cierta resistencia a la *Pyricularia* y con características de plantas de hojas erectas. En estas variedades la respuesta del arroz a las altas aplicaciones de nitrógeno se intensificaron a unos 60 ó 75 kg de N/ha, aunque el volcamiento persistió con aplicaciones excesivas de nitrógeno. Durante este tiempo se completaron los estudios sobre el manejo del nitrógeno y se logró determinar que para este grupo de variedades y bajo condiciones de secano, era mejor fraccionar el nitrógeno. Se encontró que cuando las plantas empiezan a desarrollar el promedio floral es la mejor época para aplicar nitrógeno en forma tardía para las variedades de Surinam (70 a 75 días después de la siembra).

A fines de los años sesenta, con la introducción de variedades de porte bajo, resistentes al volcamiento y de alta respuesta al nitrógeno, como la IR 8, y bajo condiciones de alta radiación solar, las producciones lograron duplicarse; bajo condiciones experimentales se cosecharon hasta 8 t/ha de arroz granza, con el uso de unos 175 kg de N por hectárea.

En vista del éxito alcanzado en el medio costarricense por ese material revolucionario, principal responsable de la revolución verde en el cultivo del arroz secano, se intensificaron nuevas introducciones y pruebas en todo el país. La Figura 8 contiene un resumen de la respuesta de las variedades en los principales centros arroceros del país, en ese entonces la zona del Pacífico Norte y la zona del Pacífico Sur, localizando los estudios respectivamente en Filadelfia y Parrita, y la IR en la Estación Experimental Enrique Jiménez Nuñez.

A pesar del éxito alcanzado, muy significativo para el medio del país, el uso de estas variedades fue de muy corta duración, ya que se volvieron altamente susceptibles a la *Pyricularia*.

En la década de los setenta, con el empleo de material genético, también de porte bajo, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia, la respuesta de las aplicaciones de N alcanza un nivel de 120 kg de N por hectárea (Figura 9).

Uno de los avances más trascendentales del cultivo del arroz en Costa Rica, de mucha importancia en la década de los setenta, fue la selección de la variedad CR 1113, de material proveniente del CIAT; ésta variedad posee las características de alta producción y con una respuesta mucho menor al nitrógeno: unos 75 a 90 kg de N por hectárea, y resistente al volcamiento. Esta variedad se sigue sembrando, aunque hay otros cultivares como la CR 5272 y la CR 201.

De acuerdo con Murillo y González (1982), los niveles de aplicación de nitrógeno para las variedades CR 5272 y CR 201

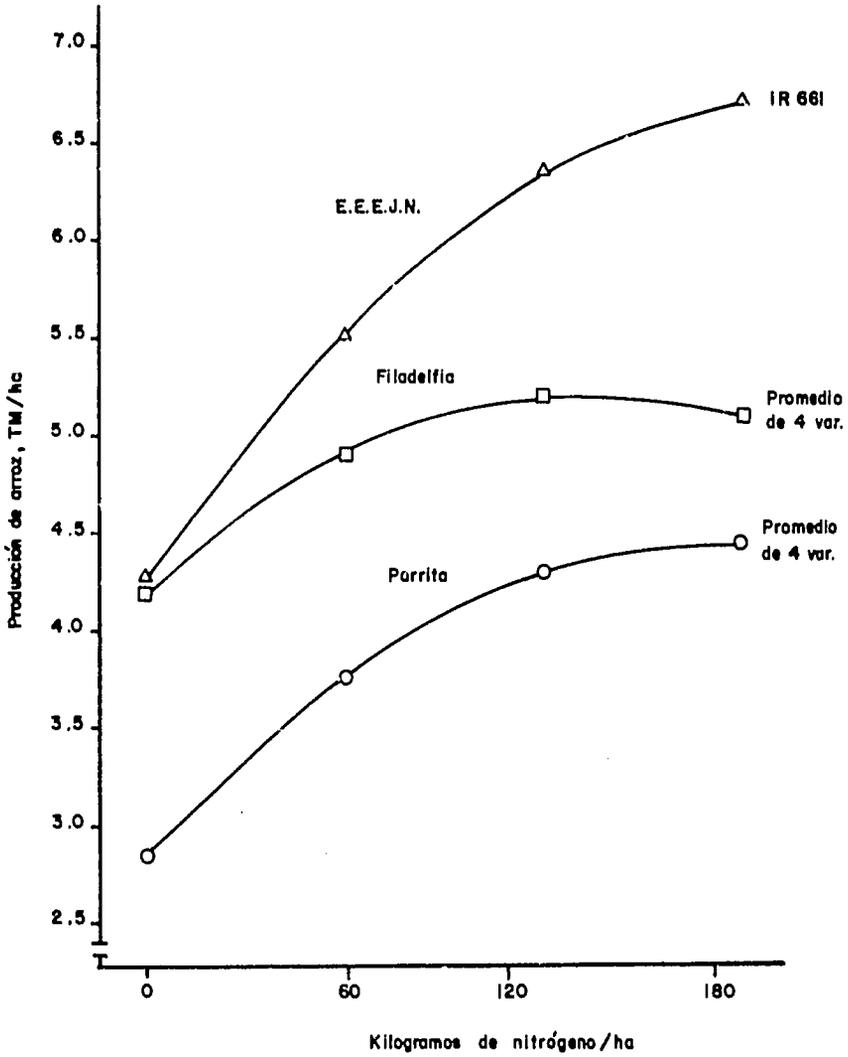


Figura 8. Efecto de nitrógeno sobre la producción de arroz en tres zonas arroceras de Costa Rica.

Fuente: Cordero (1978).

es de 50 a 60 kg de N por hectárea para CR 5272 y de 75 kg de N por hectárea para la CR 201.

Durante los últimos años se encontró que la recuperación aparente de nitrógeno por el arroz alcanza un 30 por ciento. Bajo condiciones de arroz de secano con una alta precipitación (más de 1000 mm durante la época de crecimiento) es necesario fraccionar el nitrógeno en tres épocas (durante la siembra, el macollaje y el comienzo del primordio floral); dos aplicaciones (durante la siembra y el primordio floral, o el macollaje y el primordio floral) son más eficientes que abonar con nitrógeno todo a la siembra.

Bajo las condiciones de arroz de secano los estudios de fuentes amoniacales o nítricas muestran que ambas son igualmente eficientes. Estudios recientes y otros realizados al principio de los años sesenta muestran que los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación o de liberación controlada, como la urea recubierta con azufre (URA) pueden ser más efectivos que otras fuentes nitrogenadas tradicionales.

La fertilización con fósforo, potasio y otros elementos

Ante todo es necesario señalar que el cultivo del arroz en Costa Rica se encuentra en su mayoría en áreas planas y de origen aluvial y con un alto potencial agrícola. De allí que, a diferencia del nitrógeno las aplicaciones de fósforo y potasio tienen respuestas de menor grado. Los análisis de suelos han sido de gran ayuda; ya desde comienzos de 1961 la actividad arrocera contó con los estudios preliminares de análisis de suelos. Desde entonces se pudieron delimitar áreas con contenidos de fósforo disponible muy bajos y en muy pocos casos áreas deficientes en potasio. En la actualidad se ha llegado a tal punto que las sugerencias de abonamiento para fósforo y potasio en el cultivo del arroz se realizan por medio del análisis de suelos. Estudios realizados por el Programa de Fertilidad de Suelos del MAG lograron determinar que cuando el análisis de suelos indica valores superiores a tres partes por millón de fósforo disponible y extraído con la solución de Olsen modificada (Bicarbonato de sodio), no es necesario efectuar abonamiento con fósforo, o quizás solamente emplearlo en cantidades adecuadas para mantener la fertilidad de los suelos. Con respecto al potasio, suelos con más de 0,15 meq de K/100 g de suelo no requieren ninguna aplicación extra de potasio (Cordero y Miner, 1975).

Se han podido detectar deficiencias de azufre en ciertas zonas arroceras; en esas situaciones específicas se sugiere aplicaciones de fórmulas que lleven azufre o fuentes de nitrógeno que contengan azufre. Últimamente se han podido observar áreas deficientes en elementos menores, entre los que se citan el zinc y el manganeso.

Con respecto a estos elementos menores, recientemente se

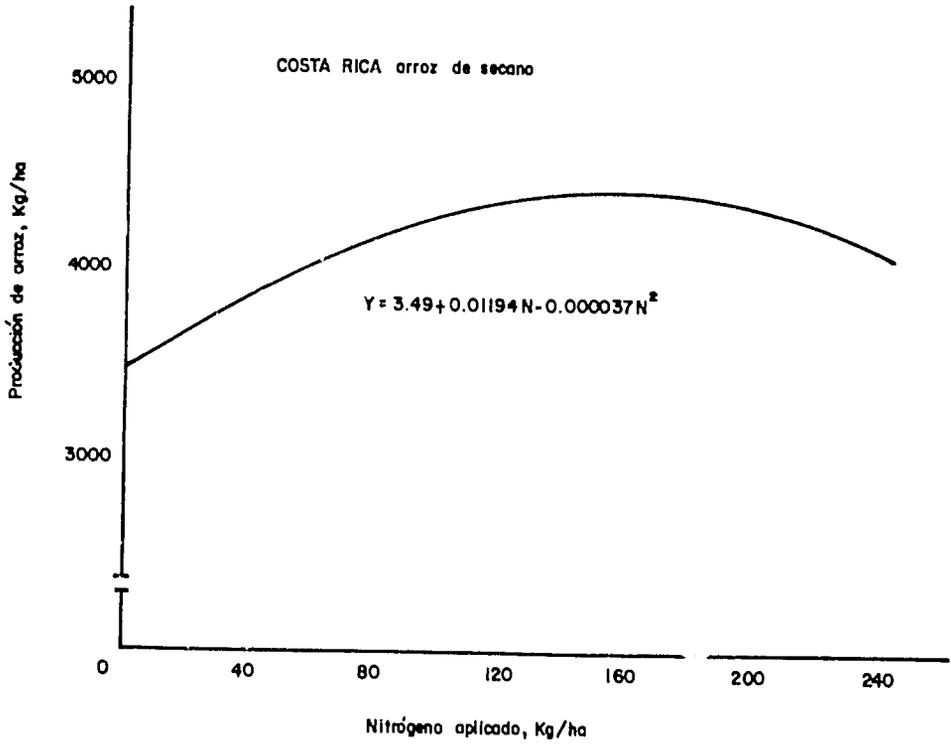


Figura 9. Respuesta generalizada del arroz de secano a las aplicaciones de nitrógeno, en la costa del Pacífico de Costa Rica. Datos provenientes de 807 observaciones de seis localidades durante 1973 y 1974.

Fuente: Cordero (1978).

han determinado deficiencias de Zn en áreas de arroz cercanas a Liberia, donde los suelos han sido fuertemente erosionados. El empleo de sulfato de zinc en el suelo, en el momento de la siembra, o durante la primera fertilización nitrogenada, mezclado con urea, ha brindado resultados muy satisfactorios. La dosis de 10 a 15 kg de Zn/ha resulta suficiente en la mayoría de los casos.

Según estudios de González, citado por Murillo y González (1982), en Vertisoles de Guanacaste que contenían 5 y 35 ppm de Zn y Mn, no se encontró respuesta a ninguno de los dos elementos. Sin embargo, en campos comerciales que contienen cantidades menores de 3 ppm de Zn, se ha determinado clara respuesta de las plantas a la fertilización con Zn. Cuando los contenidos de Mn son menores de 5 ppm se recomienda el empleo de 10 a 15 kg de Mn/ha, durante las primeras fases de crecimiento.

Información adicional se presenta en el Anexo a continuación de la literatura consultada.

LITERATURA CONSULTADA

- BUOL, S. W., HOLE, F. D. and McCRAKEN, R. J. Soil genesis and classification. Ames, Iowa State University, 1980. 404 p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE). Mapa de tipos de suelos de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, 1983.
- CORDERO, A. La influencia de los abonos en la revolución verde del arroz en Costa Rica. s.n.t.
Documento presentado en: XIX Conferencia Latinoamericana sobre la Producción de Alimentos, San José, Costa Rica, 1978.
- _____, DIAZ-ROMEU, R., JIMENEZ, T y RODRIGUEZ, R. Evaluación de la fertilidad de un Millosol. s.n.t.
Documento presentado en: Congreso Agronómico Nacional/Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica, 1980.
- _____, y MINER, G. S. Programa de calibración de análisis en suelos para la fertilización de arroz y maíz en Costa Rica. s.n.t.
Documento presentado en: Seminario sobre Manejo de Suelos y el Proceso de Desarrollo en América Tropical, Cali, Colombia, 1974.
También en: Manejo de Suelos en la América Tropical, San José, Costa Rica, 1975. pp: 533-548.
- _____, y RAMIREZ, G. F. Acumulamiento de cobre en los suelos del Pacífico Sur de Costa Rica y sus efectos detrimentales en la agricultura. *Agronomía Costarricense* 3(1):64-78. 1979.
- _____, VÁSQUEZ, A. y SALAS BARRANTES, J. Evaluación de la fertilidad de tres suelos aluviales de Costa Rica por el método de Las microparcelas de maíz. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico no. 58. 1971. 31 p.
- HOLDRIDGE, L. Ecología basada en zonas de vida. Traducido del inglés por Humberto Jiménez-Saa. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Libros y Materiales Educativos no. 34. 1978. 216 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Major research in Upland Rice. Los Baños, Philippines, 1975. 255 p.

- MOORMAN, F. R. Morphology and classification of soils on wich rice is grown. In International Rice Research Institute. Soil & Rice. Los Baños, Philippines, 1978. pp. 255-272.
- _____, and BREEMEN, N. VAN. Rice: soil water land. Los Baños, Philippines, IRRI, 1978. 185 p.
- MURILLO, J. I. y GONZALEZ, R. Manual de producción para arroz de secano en Costa Rica. San José, Costa Rica, CAFESA, 1982. 132 p.
- PEREZ, S., ALVARADO, A. y RAMIREZ, E. Asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria (OPSA), 1978. Esc. 1:200.000.
- SANCHO, F., CORDERO, A. y ALVARADO, A. Influencia del microrrelieve sobre la fertilidad de suelo bajo su uso intensivo en el Pacífico de Costa Rica. En: Congreso Agronómico Nacional, 4º, Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 7º, Heredia, Costa Rica, 1980. /Trabajos presentados/. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos/Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 1980. pp. 76-77.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Washington, D.C., 1975. 754 p. (Agric. Handb. no. 436).
- VASQUEZ, M.A. Mapa generalizado de suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería/Dirección de Investigaciones Agrícolas/Unidad de Suelos, 1979. Esc. 1:750.000. 15 p.
- YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Los Baños, Philippines, IRRI, 1981. 267 p.

ANEXO

Cuadro 1A. Naturaleza de las características diferenciadoras de categorías en la taxonomía de suelos.

Categoría	Número de unidades	Naturaleza de las características diferenciadoras
Orden	10	Procesos formadores de suelos, indicados por la presencia o ausencia de los principales horizontes diagnósticos.
Suborden	47	Homogeneidad genética, subdivisión de órdenes de acuerdo con la presencia o ausencia de propiedades asociadas con humedad, materiales parentales y vegetación.
Gran Grupo	230	Subdivisión de subórdenes de acuerdo con clases similares; arreglo y grado de expresión de horizontes con énfasis en secuencias, contenido de bases, regímenes de humedad y temperatura, y presencia de capas de diagnóstico.
Subgrupo	1000	El concepto central de Taza para el gran grupo (Typic) y propiedades que indican intergradaciones a otros grandes grupos, subórdenes y órdenes.
Familia	2000	Clases texturales sobre la sección control, clases mineralógicas dominantes, clases de temperatura.
Serie		Clase y arreglo de horizontes, color, textura estructura, consistencia, reacción de horizontes y propiedades químicas y mineralógicas.

Cuadro 2A. Ordenes de suelo con su elemento formativo y significativo.

Orden	Sílaba formativa	Derivación	Significado
1. Entisol	ent	Sílaba reciente	Suelos recientes
2. Vertisol	ent	L. <i>Verto</i> , voltear	Suelos invertidos
3. Inceptisol	enp	L. <i>Inceptum</i> , empezado	Incepción o suelo
4. Aridosol	id	L. <i>aridus</i> , seco	Suelos áridos
5. Mollisol	oll	L. <i>mollis</i> , suave	Suelos suaves
6. Espodosol	od	Griego <i>spodos</i> , ceniza de madera	Suelos cenizos (podozol)
7. Alfisol	alf	Sílaba reciente	Suelos pedalfer (Al-Fe)
8. Ultisol	ult	L. <i>ultimus</i> , último	Ultimo (de lixiviado)
9. Oxisol	ox	F. <i>oxide</i> , óxido	Suelos con óxido
10. Histosol	ist	G <i>histos</i> , tejido	Suelos con tejido (orgánico)

Cuasro 3A. Elementos formativos y significativos aproximados para los nombres de subórdenes.

Elemento formativo	Significado aproximado
acr	El más alterado
alb	Presencia de un horizonte álbico
and	Semejante a ando (con alofana)
aqu	Características asociadas con humedad
ar	Arable, horizontes mezclados
arg	Presencia de un horizonte argílico
bor	Frío
ferr	Presencia de hierro
fibr	Estado menos descompuesto (fibrosos)
fluv	Llanura aluvial de inundación
hum	Presencia de humus
hem	Grado intermedio de descomposición
lept	Poco grueso
ochr	Presencia de epipedón ócrico
orth	Modal para el orden
plag	Presencia de epipedón de plaggen
psamm	Texturas arenosas
rend	Como rendsina
sapr	Estado más descompuesto de la M.O.
torr	Usualmente seco
trop	Continuamente caliente
ud	En climas húmedos
umbr	Presencia de epipedón úmbrico
ust	Verano caliente y seco
xer	Estación seca anual

Cuadro 4A. Elementos formativos y significativos aproximados para los nombres de grandes grupos.

Elemento formativo	Significado aproximado
acr	Extremadamente alterado
agr	Presencia de horizonte ágrico
alb	Presencia de horizonte álbico
and	Como ando
nathr	Presencia de horizonte antrópico
arg	Presencia de horizonte argílico
agu	Más húmedo que el modal
calc	Presencia de horizonte cálcido
camb	Presencia de horizonte cámbico
chrom	Croma alto
cry	Frío, congelado permanentemente
dur	Presencia de duripan
dys	Baja saturación de bases
eu	Alta saturación de bases
ferr	Presencia de mucho hierro
frag	Presencia de fragipan
fragloss	Fragipan con lenguas
gibss	Gibbsita
gloss	Horizonte con límite de lenguas
hal	Salino
hapl	Horizonte con límite de lenguas
hum	Presencia de humus
hydr	Presencia de agua
lu	Lluvial
moll	Epipedón mólico
nadur	Ambos natr y dur
natr	Presencia de horizonte nátrico
ochr	Presencia de epipedón ócrico
pale	Desarrollo antiguo
pell	Croma bajo
plac	Presencia de un pan delgado
plag	Presencia de epipedón de plagen
plinth	Presencia de plintita
quartz	Alto contenido de cuarzo
rend	Como rendzina
rhod	Colores rojos oscuros
sal	Presencia de horizonte sálico
sider	Presencia de óxidos de hierro libre
scombr	Un horizonte oscuro
sphago	Presencia de Sphagnum (liquen)
sulf	Presencia de sulfuros
torr	Usualmente seco
trop	Continuamente caliente
ud	Clima húmedo
umbre	Presencia de epipedón úmbrico
ust	Verano caliente y seco
verm	Mezclado por lombrices y animales
virt	Presencia de vidrio
Xer	Estación seca anual

Cuadro 5A. Términos y significados aproximados para nombrar subgrupos de suelos integrados a algún tipo de suelo no conocido.

Términos	Significados aproximados para los nombres de subgrupos
1. Abruptic	Cambio textual abrupto
2. Allic	El extraíble
3. Andic	Mucha ceniza, pómez o alefana para colocarlo en el subgrupo típico.
4. Arenic	Epipedones de textura arenosa
5. Clastic	Mucho contenido de minerales
6. Cumulic	Epipedón más grueso que el típico
7. Classic	En Natrustolls con horizonte álbico, con lenguas dentro del horizonte
8. Gross Arenic	Mucha arena
9. Lithic	Contacto lítico a muy delgado para típico
10. Mazic	Natrustolls con costra superficial delgada
11. Petrocalcic	Suelos con horizonte petrocálcico
12. Plaggic	Horizonte que calificaría como Plagguen, excepto porque es muy delgado
13. Plinthic	Presencia de plintita nodular sobre una profundidad de 50 pulgadas, etc.
14. Ruptic	Horizontes discontinuos
15. Stratic	Capas estratificadas
16. Superic	Plintita en la superficie

Cuadro 6A. Asociaciones de suelos en Costa Rica dedicadas al cultivo del arroz.

Inceptisol			
Clave	Suelos principales	Suelos asociados	Características
I1	Typic Trophaquept	Tropic Fluvaquent Udic Pellustert	Suelos inundados y o inundables periódicamente, cerca de la costa (Gley)
I2	Typic Trophaquept	Aeric Tropic Fluvaquent	Suelo muy poco desarrollado, mal drenado, de colores claros y por lo general con concreciones se presenta en regiones inundables, se asocia con suelo poco evolucionado seco por períodos largos y mal drenados en la época lluviosa en zonas céntricas (Grey).
I3	Typic Trophaquept	Histic Trophaquept	Suelo mal drenado con poco desarrollo, algunos presentan pequeñas acumulaciones orgánicas en la superficie, en valles aluviales (Gley y Semiturbosos).
I19	Typic Ustropept	Typic Haplustalf Vertic Ustropept	Suelo profundo, bien drenado, moderadamente fértil (latosol).
I20	Fluventic Ustropept	Typic Ustipsamment	Suelo liviano hasta moderadamente pesado con peligro de inundación (Aluvial).
I21	Fluventic Ustropept	Fluventic Haplustoll	Suelo profundo, poco desarrollado, seco por más de 90 días

continúa....

Continuación Cuadro 6A. Asociaciones de suelos en Costa Rica....

Inceptisol			
Clave	Suelos principales	Suelos asociados	Características
			con riesgo de inundación, asociado con suelos similares menores profundos y más oscuros, en valles aluviales. (Aluvial y Chernozem).
I22	Fluventic Ustic	Typic Ustifluvent	Suelo moderadamente profundo, baja saturación de bases en regiones de verano largo y llanuras de inundación; se asocia con suelos sin ningún desarrollo, con alta frecuencia de inundación en la terraza aluvial (Aluvial).
I25	Vertic Ustropept		Suelo profundo y mal drenado, con arcillas plásticas y adhesivas, presenta grietas y se endurece en seco, en valles aluviales (Gley).
Mollisoles			
Clave	Suelos principales	Suelos asociados	Características
M 1	Typic Argiustoll	Vertic Ustropept	Suelo plano, profundo, bien drenado, muy fértil y con horizonte argílico, textura media a moderadamente pesada (Aluvial).

Continúa

Continuación Cuadro 6A. Asociaciones de suelos en Costa Rica....

Mollisoles			
Clave	Suelos principales	Suelos asociados	Características
M 2	Fluventic Haplustoll	Typic Argiustoll Fluventic Ustrocept	Suelo plano, profundo, bien drenado, muy fértil, de textura media (Aluvial).
M 3	Fluvaquentic Hapludoll	Typic Trophaquept	Suelo de textura media, oscuro, desarrollado de depósitos fluviales con alguno o bastantes problemas de drenaje (Chernozen y Gley Húmico).
Vertisoles			
Clave	Suelos principales	Suelos asociados	Características
V 1	Typic Pellustert	Udic Pellustert	Suelo negro, plástico y adhesivo en húmedo duro y con grietas en seco, en regiones planas permanece seco por más de 90 días consecutivos (Grumosol).
V 2	Typic Pellustert	Ustic Hemitropept	Suelos con arcillas pegajosas y adhesivas que se agrietan en verano, de color oscuro, secos por más de 90 días acumulativos. Algunos presentan menor contenido de arcillas 2:1, y otros mejor contenido de M.O. (Grumosol y Latosol Pardo Rojizo).

Taxonomía de suelos en áreas cafetaleras y zonas de riego en Costa Rica

Alexis Vásquez M.*

Resumen

En este trabajo se describe brevemente la localización, clima y geología del valle del río Tempisque y tributarios, donde se encuentra el proyecto de riego de la cuenca baja del río Tempisque, en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. También se incluye la clasificación fisiográfica que se ha propuesto para esta zona.

En la segunda parte se mencionan y discuten los criterios básicos que permitieron la clasificación taxonómica, a nivel de Gran Grupo, de los suelos encontrados en cada una de las categorías fisiográficas en que se divide la zona de estudio. Los suelos del curso superior de la llanura aluvial del río Tempisque se clasifican en el Orden de los Inceptisoles y Mollisoles; en el curso medio se encuentran Entisoles e Inceptisoles y en el curso inferior del río se observó un Entisol. En la meseta volcánica de Santa Rosa los suelos se agrupan en los órdenes Entisoles, Inceptisoles y Vertisoles; en la transición de esta meseta hacia la Bajura de Filadelfia se encuentran Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Vertisoles. Los suelos de las colinas, lomerías y serranías están representados por los órdenes Entisoles, Inceptisoles y Alfisoles. En la planicie fluvio-lacustre se encontraron suelos pertenecientes a los órdenes Vertisoles, Inceptisoles y Entisoles. Los suelos de los depósitos aluviales actuales se agruparon en Inceptisoles, Mollisoles y Entisoles. No se clasificaron los suelos de la planicie costera.

La clasificación taxonómica, a nivel de familia o de subgrupo, de los suelos de las principales zonas cafetaleras del país se presentan en la tercera sección. Los suelos del Valle Central y de la zona de Tilarán pertenecen a los órdenes

* Ing. Agr. Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG, San José, Costa Rica.

Ultisoles e Inceptisoles; los de la zona Norte se clasifican como Ultisoles y Alfisoles; en la zona Atlántica y de San Isidro del General se localizan en el orden Ultisol; en la zona de Coto Brus se encuentran Inceptisoles; mientras que los de la península de Nicoya se clasifican como Alfisoles.

Summary

This work briefly describes the location, climate and geography of the valley of the Tempisque River and its tributaries, site of the irrigation project of the Tempisque's lower basin, in the Guanacaste province, Costa Rica. The paper also includes the proposed physiographic classification for this area.

In the second part the author mentions and discusses the basic criteria that permitted the taxonomic classification, at the great group level, of soils found in each of the physiographic categories in which the study area has been divided.

The upper course soils of the Tempisque's alluvial plain are classified in the Inceptisol and Mollisol orders; in the middle course Entisoles and Inceptisoles are found, and in the river's lower course an Entisol has been observed.

In the volcanic plateau of Santa Rosa, soils are grouped in the Entisol, Inceptisol and Vertisol orders; crossing this plateau toward the Filadelfia Depression one finds Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles and Vertisoles. Soils in the hills, ridges and mountainous country are classified as Entisoles, Inceptisoles and Alfisoles.

In the fluviolacustrine plains, soils belong to the Vertisol, Inceptisol and Entisol orders.

The soils of present alluvial deposits are grouped in the Inceptisol, Mollisol and Entisol orders.

The soils of the coastal plains have not been classified.

The taxonomic classification, at family or subgroup level, of soils in the main coffee-growing areas of the country are presented in the third section. Soils of the Central Valley and the Tilaran zone belong in the Ultisol and Inceptisol orders; the ones in the North zone are classified as Ultisol and Alfisol; in the Atlantic zone and in the area of San Isidro de El General, soils are of the Ultisol order; in the Coto Brus area Inceptisoles are found, while soils in the Nicoya Peninsula are considered as Alfisol.

INTRODUCCION

La agricultura de regadío se ha venido desarrollando en Costa Rica desde hace unos 40 años, en pequeña escala, y principalmente por iniciativa privada.

En la actualidad se riegan unas 65 000 hectáreas (riego

complementario), en cultivos como café, caña de azúcar, arroz, hortalizas, banano, pastos, frutales y otros.

Hace alrededor de una década el Estado decidió impulsar y fomentar el desarrollo agrícola bajo riego, mediante dos proyectos:

- a) **Proyecto Itiquís.** En esa zona, ubicada al norte y oeste de la ciudad de Alajuela, se desarrollará un proyecto piloto sobre un área bruta de 4 000 hectáreas, de los que se pondrán bajo riego 1 500 por disponer del recurso agua. Ya se encuentran preparados los diseños finales y se están construyendo las obras de cabecera.
- b) **Proyecto de riego de la cuenca baja del río Tempisque.** Es un proyecto mucho más ambicioso que el anterior. Contempla la puesta en riego de 100 000 hectáreas ubicadas en la región noroeste de Costa Rica, específicamente en el valle del río Tempisque y tributarios, a partir de las aguas provenientes de la laguna de Arenal. Se están construyendo las principales obras de cabecera, así como las obras secundarias y terciarias sobre una primera etapa de 10 000 hectáreas, que conformarán el distrito de riego de Cañas. En el resto de la zona se están desarrollando los diseños finales de las obras, por sectores hidráulicos. Entre los principales cultivos de esta área se destacan los siguientes: caña de azúcar, arroz, pastos, sorgo, algodón, frutales (cítricos, papaya), soya, cucurbitáceas (melón, sandía) y otros. Por su importancia nacional, en este documento se discutirán los principales suelos del Proyecto de riego de la cuenca baja del río Tempisque.

ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA

Localización

La zona en estudio se ubica en la provincia de Guanacaste, cubriendo un área bruta aproximada de 180 000 hectáreas. Se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas 84°55' y 85°36' de longitud oeste, y 10°39' de latitud norte. Esta área presenta un rango de elevaciones desde el propio nivel del mar hasta los 140 msnm, encontrándose las principales áreas agrícolas entre 0 y 30 msnm.

En la Figura 1 se muestra la localización general de esta zona.

Clima

Los parámetros climatológicos de esta área determinan dos épocas bien definidas: una lluviosa, que va de mayo a noviembre,

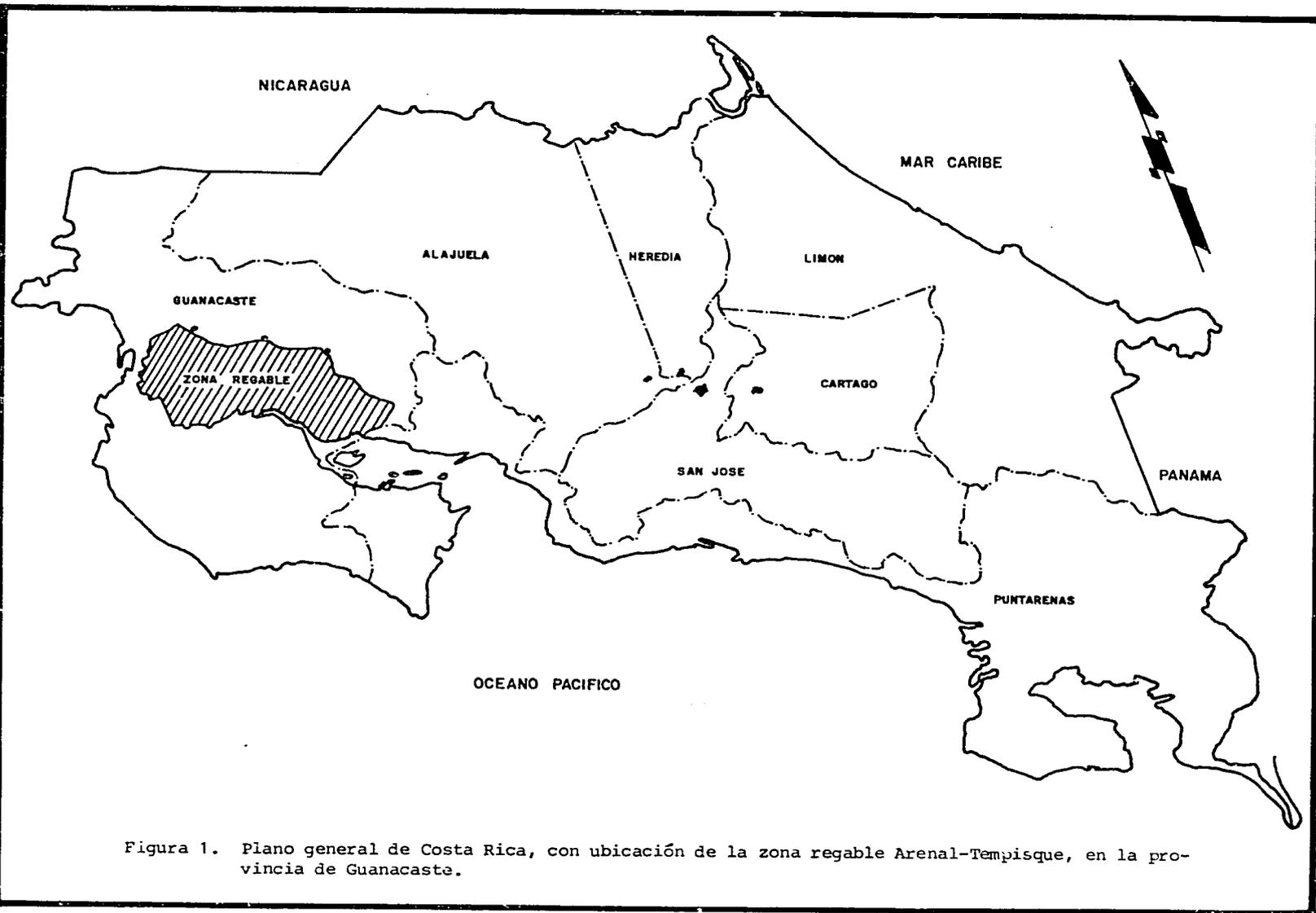


Figura 1. Plano general de Costa Rica, con ubicación de la zona regable Arenal-Tempisque, en la provincia de Guanacaste.

y una seca que se extiende de diciembre a abril. La temperatura media anual varía poco de una estación a otra, y se mantiene alrededor de los 27°C. La precipitación anual oscila de 1700 a 1800 mm.

Ecológicamente esta zona se clasifica, según Tossi (1969), predominantemente como bosque seco tropical transición 2 húmedo, aunque también aparecen algunas áreas de bosque seco tropical y de bosque húmedo premontano transición a basal.

En el Cuadro 1 se presentan algunos datos climatológicos de la zona en estudio.

Cuadro 1. Datos climatológicos de la Estación La Pacífica (Lat. 10°27', Long. 85°7', elevación 95 msnm) período del registro = 53 años

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Evapotranspiración potencial (mm)	Requerimientos de riego al 75% de probabilidad (mm)
Ene.	3	27,8	78	146	146
Feb.	9	29,0	75	151	151
Mar.	7	28,6	76	175	175
Abr.	34	29,7	75	177	177
May.	197	28,2	84	161	62
Jun.	281	27,8	87	145	-48
Jul.	168	27,6	87	150	65
Ago.	197	27,6	89	146	43
Set.	356	27,6	90	136	-105
Oct.	343	27,0	90	130	-63
Nov.	113	27,2	86	127	116
Dic.	17	26,9	85	127	127
Total	1724	27,8	83	1771	354

Fuente: Halcock y Hargreaves (1977).

Geología y fisiografía

Geología. La geología de esta zona, la describe Dengo (1962), es bastante variada y compleja. Originadas a partir de rocas sedimentarias se presentan varias formaciones geológicas; sus principales componentes son lutitas calcáreas, calizas arullosas, calizas estratificadas, arenisas bien estratificadas con masas lenticulares de calizas arrecifales. Otras formaciones, que aparecen principalmente hacia el noreste y este de la zona, originadas a partir de rocas ígneas, están constituidas

principalmente por coladas de basalto y andesita, aglomeradas y tobas, tanto ignimbríticas como cuarzosas y micáceas.

Fisiografía. La variedad de formaciones geológicas, las complejidades (Dengo, 1962), han producido una serie de diversas formas del relieve.

Por tal causa, se propuso para esta zona la siguiente distribución fisiográfica (Vásquez, 1974).

- 1) Llanura aluvial del río Tempisque: incluye tanto la llanura de inundación reciente como la actual.
- 2) Meseta volcánica de Santa Rosa: es una altiplanicie de origen volcánico que se presenta principalmente hacia el sector noreste del área.
- 3) Colinas, lomeríos y serranías: se integran en esta unidad todas aquellas tierras de relieve colinado que aparecen en la zona, cualquiera que sea su geología, especialmente por su limitado potencial agropecuario.
- 4) Planicie fluvio-lacustre: es un área plana, de relieve ligeramente cóncavo, que limita en ambos márgenes con la vega del río Tempisque, formada por aportes fluviales y lacustrinos.
- 5) Depósitos aluviales actuales: esta unidad incluye los depósitos aluviales de varios ríos menores que atraviesan el área y que finalmente tributan sus aguas casi en la desembocadura del río Tempisque.
- 6) Planicie costera: son todas las tierras planas, en su mayoría ocupadas por manglares, que por supuesto dan al mar (Golfo de Nicoya); forman una franja angosta a lo largo del litoral.

DESCRIPCION DE LOS SUELOS

Genéticamente, en la zona de estudio se ha desarrollado una serie de factores y procesos de formación de suelos que han dado lugar a la aparición de suelos que se han clasificado taxonómicamente en cinco órdenes: Entisoles, Inceptisoles, Vertisoles, Mollisoles y Alfisoles.

En esta sección se presenta una breve discusión de estos aspectos, atendiendo al orden establecido en la leyenda fisiográfica anteriormente discutida y proponiendo así los criterios básicos que permitieron clasificar los suelos taxonómicamente, con base en la Taxonomía de Suelos del Departamento de los Estados Unidos (1975).

Finalmente, en el Anexo se presentan perfiles de suelos representativos de algunas de las categorías discutidas.

Llanura aluvial del río Tempisque

Las inundaciones periódicas del río resultan en una deposición diferencial característica, en la que los materiales más gruesos se sedimentan en las cercanías del cauce y los más finos en partes más alejadas. Sin embargo, estas deposiciones se pueden dividir cronológicamente en tres fases, de acuerdo con las características hidrológicas del río.

- a) El curso superior, que va desde la localidad de Guardia hasta la altura de la Guinea.
- b) El curso medio, de la Guinea a la desembocadura del río Bolsón y,
- c) El curso inferior, desde la desembocadura del río Bolsón hasta la salida al mar.

En el primer caso, el río Tempisque sigue un curso uniforme, con un cauce relativamente profundo, siendo los materiales aluviales acarreados y sedimentados más antiguos y prácticamente exentos de deposiciones aluviales muy recientes, ya que esta área no es inundable en la actualidad. En estas condiciones los suelos formados han estado expuestos a fenómenos meteorizantes por un tiempo considerable; es evidente en ellos la formación de un horizonte B cámbico, lo cual se percibe por un moderado desarrollo de color y estructura; este horizonte posee una saturación de bases superior al 50 por ciento. Dado que las condiciones climáticas de desarrollo son netamente tropicales, y como prevalecen estos suelos secos por más de 90 días al año, fueron clasificados como Ustropepts. También se ha desarrollado en algunas áreas, superficialmente, un estrato resultante de la descomposición de residuos orgánicos en presencia de cariones divalentes, con más de 50 por ciento de saturación de bases, reconocido como epipedón mólico, que ha dado lugar a la formación de suelos clasificados como Haplustolls y Hapludolls; lo anterior depende de diferencias locales de drenaje.

El Tempisque es un río meándrico en todo su curso medio; como tal muestra el patrón normal de cauces abandonados, diques naturales, cuencas o vegas de inundación y enteros. En esta área el río sufre desbordamientos periódicos, con deposiciones de materiales gruesos en sus inmediaciones; los más finos permanecen más tiempo en suspensión y son así depositados en áreas más alejadas. En las áreas cercanas al cauce predomina un relieve ligeramente convexo, resultante de una mayor cantidad de materiales depositados, reconociéndose aquí suelos clasificados como Tropofluvents, sin ningún desarrollo pedogenético y mostrando en un perfil un decrecimiento irregular de la materia orgánica en profundidad, como consecuencia de las continuas

deposiciones aluviales. En las áreas más alejadas, donde se depositan los materiales más finos, que eventualmente forman arcillas de látice expandible (2:1)*, predomina un relieve plano a ligeramente cóncavo, que condiciona un drenaje bastante deficiente, permaneciendo en los suelos así formados un nivel freático superficial la mayor parte del tiempo. No obstante, en algunas áreas de más favorable posición topográfica este nivel freático baja hasta 1,50 m de profundidad en la época seca, lo que permite fenómenos de oxidación-reducción tales que han dado lugar a la formación de un horizonte cámbico incipiente, el que a su vez ha permitido la clasificación de estos suelos como Tropaquepts, generalmente con un epipedón ócrico superficial. En las áreas donde el nivel freático se mantiene permanentemente superficial no se pone en evidencia ningún desarrollo de horizontes diagnósticos, a excepción de un incipiente epipedón hístico u ócrico, siendo estos suelos clasificados por lo tanto como Tropaquents.

En el curso inferior del río suceden fenómenos semejantes a los que se presentan en el curso medio, pero en esta área el río está sujeto a la influencia marina, por lo que, además de los fenómenos característicos del curso medio, también se ponen en evidencia problemas asociados a la salinidad, en suelos sin ningún desarrollo pedogenético y que permanecen saturados la mayor parte del año. Por ello, aunque el sistema no lo contempla, se sugiere la introducción del Grupo Halaquents para clasificar estos suelos.

Meseta volcánica de Santa Rosa

La meseta volcánica de Santa Rosa ha sido sometida a una considerable erosión eólica, provocada por los fuertes vientos característicos de esta zona. Así, en esta área sólo persiste una delgada capa de suelo, que descansa sobre la roca; su profundidad es variable, dependiendo de las características del relieve, que se presenta suavemente ondulante. Así, en las áreas convexas, más afectadas por la erosión, la profundidad es de unos 30 cm, presentándose un epipedón ócrico sobre la roca. Estos suelos se clasificaron como Ustorthents. En áreas de relieve plano el suelo puede alcanzar profundidades de unos 70 cm; los procesos meteorizantes han permitido la formación de un horizonte B cámbico bajo un epipedón ócrico, coadyuvado este proceso por un estado de sequía del suelo que se prolonga por más de 90 días acumulativos al año; estas razones indujeron a clasificar estos suelos como Ustrophepts. También ocurren en algunas áreas de relieve cóncavo sedimenta-

* Tipo de arcilla (Montmorillonita) con una capa de octaedros de aluminio rodeada de dos capas de tetraedros de sílice.

ciones de materiales arrastrados de las partes más altas; el relieve de estas áreas ha condicionado en ellas un drenaje impedido. Esos materiales depositados en esas condiciones han propiciado eventualmente la formación de arcillas de látice expandible (3:1), que subsecuentemente dieron lugar al desarrollo de suelos clasificados como Pellusterts.

La transición de esta meseta hacia la Bajura de Filadelfia está marcada por un escarpe muy fuerte, con pendientes a veces superiores al 100 por ciento, donde predominan fuertes procesos erosivos. En las partes más quebradas de este escarpe generalmente aflora la roca madre, o ésta aparece recubierta por una delgada capa de suelo, por lo que la clasificación correspondió a Ustorthents. Hacia la base de este escarpe se han acumulado materiales por procesos coluviales, en los que se aprecia la formación de un horizonte B cámbico bajo un epipedón ócrico, que han permitido la clasificación de estos suelos como Ustropepts. En área de condiciones topográficas menos pronunciadas se han desarrollado suelos en los que ha habido una eluviación en estratos subpericiales; este proceso fue favorecido por condiciones alternas de períodos secos y períodos húmedos, permitiendo así la formación de un horizonte argílico, con más de 35 por ciento de saturación de bases; estos suelos se clasificaron como Haplustalfs.

Los materiales coluvio-aluviales provenientes de esa meseta, formadores del piedemonte en la base del escarpe han originado el desarrollo de suelos clasificados como Ustropepts y Pellusterts, según que el relieve y drenaje hayan o no condicionado la formación de arcillas montmorilloníticas.

Colinas, lomerías y serranías

En este paisaje son todavía bastantes evidentes los procesos de erosión de las cúspides de las lomas, de topografía más accidentada, y deposición coluvio-aluvial en la base de las mismas. Las áreas erodadas prácticamente están desprovistas de suelo, o éste está representado por una delgada capa; estos suelos se clasificaron como Ustorthents. En las áreas bajas de deposición coluvio-aluvial ha ocurrido un moderado desarrollo pedogenético, observándose la presencia de un horizonte B cámbico bajo un epipedón ócrico, en condiciones semejantes a las ocurrientes en el escarpe de la meseta volcánica de Santa Rosa; estos suelos también fueron clasificados como Ustropepts. También se presentan áreas de topografía ondulada, de mucho mayor estabilidad geomorfológica, en donde ha ocurrido lixiviación de arcilla de los estratos superficiales por disolución; y su consecuente deposición en estratos subsupericiales por evaporación en épocas secas, permitiendo así el desarrollo de un horizonte argílico, que presenta más de 35 por ciento de saturación de bases; estos suelos se clasificaron como Haplustalfs.

Estos mismos Ustropepts y Haplustalfts se han desarrollado en las áreas de piedemonte en las mismas condiciones en las que ocurren en las colinas.

Planicie fluvio-lacustre

Esta es una zona plana, ligeramente cóncava, que permaneció recubierta por agua durante prolongados períodos, en forma de laguna. En estas condiciones empezó luego a sufrir una deposición de partículas finas y muy finas, a cuyas expensas se originaron luego materiales arcillosos. Posiblemente la zona sufrió luego un proceso de sollevamiento, que le permitió evacuar las aguas que la recubrían, o bien estas aguas encontraron un drenaje natural para su remoción. En la actualidad la mayor parte del área permanece seca en verano y se sobresatura en invierno, ya que los materiales arcillosos son del tipo de la montmorillonita (2:1), que en condiciones de humedad se expande y provoca un drenaje interno muy pobre en estos suelos. Los suelos así formados y de cotas ligeramente muy altas son los que prevalecen secos por más tiempo, mostrando superficies de deslizamiento y de presión, así como también grietas anchas y profundas, por lo que se clasificaron como Pellusterts; se debe reconocer sin embargo, que se agrietan solamente durante una época del año. En condiciones de cota ligeramente inferior, la humedad afecta por más tiempo los suelos, siendo estos clasificados como Pelluderts; en algunos casos -en los que no ha ocurrido una total melaminación por materia orgánica superficialmente- debido al lento proceso de descomposición que ésta sufre en condiciones de humedad más o menos permanentes, los suelos se identificaron como Chromuderts.

Finalmente, se presentan pequeñas áreas de relieve cóncavo, que permanecen constantemente saturados por agua, e inclusive algunas veces en forma de lagunas naturales. En estas áreas los suelos también presentan ciertas características de hidromorfismo asociadas, pero se puede reconocer en ellos la presencia de un horizonte B cámbico incipiente; estos suelos se clasificaron como Tropaquepts, aunque es posible que en condiciones de un régimen más anaeróbico se presenten Tropaquents.

Depósitos aluviales actuales

Los ríos que drenan la cordillera de Guanacaste y la de Tilarán, al norte y noroeste de la zona en estudio respectivamente, han acarreado gran cantidad de materiales provenientes de esas áreas y los han depositado en las partes bajas planas, erosionando la planicie fluvio-lacustre, o sobre su piso. Estas deposiciones adoptaron la forma de abanicos aluviales, sobre los que posteriormente los ríos practicaron su cauce; se produjeron, de este modo, nuevas deposiciones aluviales en zonas más bajas, fenómenos que aún prevalecen en esta área.

Los materiales aluviales depositados originalmente tienen en la actualidad un buen drenaje, lo que ha permitido un moderado intemperismo en estos suelos; eso ha dado lugar al desarrollo de un horizonte B cámbico bajo un epipedón generalmente ócrico. Estos suelos fueron clasificados como Ustropepts. También se puede reconocer en algunas áreas la presencia de un epipedón mólico con sustratos subyacentes que tienen más de 50 por ciento de saturación de bases, lo que ha inducido a clasificar estos suelos como Haplustolls.

Los materiales de más reciente sedimentación han sido depositados en áreas muy planas, que inclusive provocan cambios periódicos en el curso de los ríos que las atraviesan

En consecuencia, esos materiales presentan un patrón de sedimentación un tanto caótico, sobre el piso de la planicie fluvio-lacustre, que se encuentra a profundidades variables; por sus características arcillosas se convierte en un piso impermeable para esos suelos, imprimiéndoles características de mal drenaje, el que es variable de acuerdo con la profundidad de la arcilla. En las áreas más alejadas de estos cauces se han depositado materiales finos en un ambiente de aguas relativamente tranquilas, que han propiciado la formación de suelos clasificados como Tropaquepts, aunque también se pueden presentar algunos Pelluderts cerca de las transiciones de estas deposiciones aluviales hacia la planicie fluvio-lacustre. En las áreas cercanas de los cauces predomina una deposición de materiales más gruesos, con escaso desarrollo morfogénético, clasificados como Ustropepts; en algunas áreas en que no han ocurrido procesos pedogénéticos que muestran la presencia de horizontes diagnósticos los suelos se clasificaron como Tropofluvents.

Planicie costera

Esta área, por estar formada en especial por aluviones marinos con marcados problemas de salinidad, y recubierta en su mayor parte por manglares, fue descartada de los estudios realizados; sólo se la caracterizó geográficamente.

SUELOS EN AREAS CAFETALERAS

Antecedentes generales

El café en Costa Rica ha sido desde tiempos de la colonia el principal generador de divisas del sector agropecuario. En 1981 el sector agropecuario generó el 22,8 por ciento del Producto Interno Bruto, aproximadamente el 28 por ciento del empleo y el 61 por ciento de las exportaciones de bienes de Costa Rica (SEPSA, 1982).

Por su parte, el café tuvo una muy importante participación en la estructura de la producción agropecuaria para ese mismo año, como puede deducirse del siguiente cuadro.

Cuadro 2. Participación del cultivo de café en la estructura de la producción agropecuaria de Costa Rica, 1981.

Cultivo	Producción agropecuaria (%)	
1. Exportación ^{1/}	65,2	
Café		24,4
Banano		22,4
Caña de azúcar		4,7
Cacao		0,6
Carne de vacuno		13,1
2. Consumo interno	34,8	
Granos básicos		9,3
Hortalizas y tubérculos		3,7
Otros pecuarios		12,4
Forestal		2,9
Pesca		1,4
Otros		5,1
Total	100,0	

^{1/} En 1980 se exportó el 99 por ciento de la producción de café, el 89,2 por ciento de banano, el 33,8 por ciento de la caña de azúcar, el 34,3 por ciento de la de cacao y el 53,9 por ciento del ganado vacuno.

Fuente: SEPSA, Diagnóstico del sector agropecuario, 1982.

Distribución geográfica

El café se cultiva principalmente en el Valle Central de Costa Rica, aunque también en el Valle de San Isidro del General, Coto Brus, Zonas Norte y Atlántica, Tilarán y península de Nicoya. Se distribuye desde los 400 hasta los 1500 msnm.

En cada una de las zonas mencionadas los suelos predominantes del cultivo son los siguientes:

Valle Central. Typic Dystrandept, medial, isotérmico
 Oxic Dystrandept, medial, isotérmico
 Oxic Dystrandept, medial, isohipertérmico
 Hydric Dystrandept, medial, isotérmico
 Audic Tropohumult, limoso, fino, isohipertérmico
 Typic Dystrandept, arcilloso fino, isotérmico
 Aquic Dystrandept, limoso fino, isotérmico
 Typic Tropohumult, arcilloso fino, isotérmico

Zona Norte. Typic Tropohumult
Typic Tropudalf

Zona Atlántica. Typic Tropohumult

Zona de San Isidro del General. Typic Tropudult

Zona de Coto Brus. Typic Dystrandept

Zona de Tilarán. Typic Dystrandept
Typic Tropohumult

Zona de la península de Nicoya. Typic Tropudalf

En resumen, el café en Costa Rica se distribuye sobre tres órdenes de suelos: Inceptisoles (Andepts, Tropepts), Ultisoles (Humults) y Alfisoles (Udults) (Ver Cuadro 2).

Cuadro 3. Taxonomía de suelos en áreas cafetaleras de Costa Rica.

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo	Familia
Inceptisol	Andept	Dystrandept	Typic Dystrandept	medial, isotérmico
			Hydric Dystrandept	medial, isotérmico
			Oxic Dystrandept	medial, isohipertérmico
	Tropept	Dystropept	Typic Dystropept	medial, isotérmico
Aquic Dystropept			arcilloso, fino, isohipertérmico	
				limoso, fino, isohipertérmico
Ultisol	Humult	Tropohumult	Typic Tropohumult	
Alfisol	Udalf	Tropudalf	Typic Tropudalf	

Información adicional se presenta en el Anexo a continuación de la literatura consultada.

LITERATURA CONSULTADA

- BUOL, S. W., HOLE, F.D. and McCracken, R. J. Soil genesis and classification. Ames, Iowa State University, 1973, 360 p.
- DENGO, G. Estudio geológico de la región de Guanacaste. San José, Costa Rica, Instituto Geográfico, 1962. 121 p.
- HANCOCK, J. y HARGREAVES, G. Clima, precipitación y potencial para producción agrícola en Costa Rica. Universidad del Estado de Utah, Logan, Utah, U.S.A. 1977
- TOSSI, J. A. Mapa ecológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical, 1969.
- SECRETARIA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA (SEPSA). Diagnóstico del sector agropecuario de Costa Rica. SEPSA/MAG, San José, Costa Rica, 1982.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Washington, D.C., 1975. 754 p. (Agric. Handb. no. 436).
- VASQUEZ, M. A. y ALVARADO, H. A. Notas sobre clasificación de suelos. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía/MAG, 1974. 104 p.
- _____. Estudio de suelos a nivel de reconocimiento; proyecto de riego mediante el aprovechamiento de las aguas de la Laguna de Arenal. San José, Costa Rica, MAG, 1974. 56 p.

ANEXO

DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS Y ANALISIS FISICOQUIMICOS

PRIMER PERFIL

1. INFORMACION ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Perfil No. PT. 4

Nombre del suelo: Conjunto Los Congos

Clasificación: Fluventic Ustropept

Ubicación: 500 m al SE del Centro de Bebedero (85°11' 40"
de longitud y 10°22' 02" de latitud norte).

Altitud: 7 msnm

Forma del terreno: Posición fisiográfica: llanura fluvial
del río Bebedero.

Forma del terreno circundante: plano.

Pendiente: uno por ciento

Uso de la tierra: caña de azúcar

2. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Materia matriz: aluvial

Drenaje: bueno

Capa freática: profunda

Erosición: no evidente

Sales y/o álcalis: no hay

3. BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Ap 0-17 cm. Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR-3/1,5) en húmedo, pardo oscuro (10YR4/3) en seco, franco arcilloso limoso; bloques subangulares medios moderados a migajosa fina moderada; ligeramente adhesiva, ligeramente plástica, muy friables poros abundantes finos y muy finos, expd; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro plano; pH 6,3.

A 12 17-45 cm Negro (10YR2/1) 80%, pardo oscuro (19YR3/3) 20% en húmedo, pardo amarillento oscuro, (10YR4/4) en seco, franco limoso a franco

- arcilloso; bloques angulares medios y finos moderados a granular fina media, adherente, ligeramente plástica, friable; nódulos comunes blancos finos; poros escasos finos y abundantes muy finos, imped; raíces comunes finas y muy finas, límite difuso ondulado; pH 6,8.
- B 2 45-68 cm Pardo amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo, pardo amarillento oscuro a pardo amarillento (10YR4,5/4) en seco, franco limoso; bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina moderada; ligeramente adhesiva; ligeramente plástica, friable; nódulos Fe comunes, concreciones Fe finas escasas: poros abundantes finos y muy finos; imped; raíces escasas finas; límite ondulado gradual; pH 6,9.
- B 3 68-78 cm Pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo con moteado pardo amarillento, pardo amarillento (10YR5/4,5) en seco, franco limoso; bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina débil; ligeramente adhesiva, ligeramente plástica, friable; concreciones de Fe finas comunes; poros abundantes finos y muy finos, imped; raíces escasas muy finas; límite gradual ondulado; pH 7,0.
- II Ab 78-90 cm Pardo oscuro (7,5YR3/2) con moteado pardo amarillento en húmedo, pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en seco, franco limoso; bloques subangulares finos moderados a granular fino débil; ligeramente adhesiva, ligeramente plástica, friable, concreciones de Fe finas; poros medios comunes, abundantes finos; imped; y muy finos, imped; raíces escasas finas y muy finas, límite gradual plano, pH 7,0.
- II B21b 90-130 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4) 80%, pardo oscuro (7,5YR3/2) 20% con ligero moteado pardo amarillento en húmedo, pardo amarillento oscuro a pardo amarillento (10YR 4,5/4) en seco, franco limoso; bloques subangulares medios a migajosa fina moderada; ligeramente adhesiva, ligeramente plástica, muy friable; concreciones de Fe

comunes; poros escasos medios, comunes finos, abundantes muy finos; imped; pH 7,1.

II B22b 130-180 cm Pardo oscuro (7,5YR3/2) con moteado pardo amarillento (10YR5/5) en húmedo, pardo a pardo oscuro (7,5YR4/2) en seco, franco limoso; pH 7,1.

II C1 180-200 cm Pardusco con poco moteado rojizo en húmedo, franco a franco limoso.

II C2 200 + Pardusco; franco a franco arcilloso.

ANALISIS FISICOS

PERFIL No. P.T. 4 (Consociación Congos)								
	Horizonte	Ap	A12	B2	B3	IIB21b	IIB22b	
	Profundidad (cm)	0-17	17-45	45-68	68-78	78-90	90-130	130 +
Granulometría (%)	Arena	6	23	25	28	16	24	25
	Arcilla	32	27	19	15	15	14	17
	Limo	62	50	56	57	69	62	58
	Textura	FAL	FL/FA	FL	FL	FL	FL	FL
% Retenc. de humedad	1/3 Atm	39,42	37,54	36,36	34,56	38,22	39,00	42,51
	15 Atm	22,55	22,95	21,71	19,32	24,55	23,90	22,94
	% humedad aprovechable	13,87	14,59	14,65	15,24	13,67	15,10	19,37
Velc. infilt. (cm/h)	Densidad aparente (g/cc)	0,93	1,19	1,09	1,24	1,06	0,98	0,97
	Densidad real (g/cc)	2,15	2,42	2,52	2,50	2,53	2,48	2,43
	% Poro	57,0	51,0	57,0	50,0	58,0	60,5	60,0
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)							
Velc. infilt. (cm/h)	Inicial	1,8						
	Básica	1,3						

TEXTURA: F - Franco A - Arcilloso L - Limoso a - Arenoso

ANALISIS QUIMICO

Perfil No. P.T. 4 (Consociación Congos)									
Horizonte		Ap	A12	B2	B3	IIAb	IIB21b	IIB22b	
Profundidad (cm)		0-17	17-45	45-68	68-78	78-90	90-130	130+	
pH	H ₂ O	6,3	6,8	6,9	7,0	7,0	7,1	7,1	
	KCl	5,3	5,4	5,4	5,3	5,4	5,4	5,5	
Materia orgánica		4,50	2,10	1,05	1,05	0,90	0,75	0,60	
Cationes de cambio (meq./100g suelo)	Ca	21,00	19,25	18,75	17,75	10,25	20,25	17,50	
	Mg	8,20	5,33	5,33	5,74	6,97	9,43	9,45	
	K	1,92	1,02	0,64	0,51	0,64	0,77	0,51	
	Na								
	Acidez intercambiable								
	Suma de bases								
	% Saturación de bases								
	Capacidad intercambio de cationes	48,65	41,40	35,19	38,30	41,40	41,40	36,23	
Fertilidad actual	meq./100 cc suelo	Ca	17,5	17,0	16,5	17,5	20,5	17,5	13,5
		Mg	5,1	4,0	3,8	4,5	5,8	5,8	5,5
		K	1,60	0,79	0,49	0,42	0,49	0,35	0,29
		Al	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
		Fe	18	16	14	10	7	4	8
	ug/ml	P	30	12	16	15	15	8	8
		Na	490	450	470	430	450	450	470
		Cu	6	8	8	7	7	6	6
		Zn	3,2	2,0	1,6	1,6	1,6	1,4	2,4
		Mn	34	7	4	3	3	2	1

ug/ml = microgramos de elemento/mililitro de suelo.

SEGUNDO PERFIL

1. INFORMACION ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Perfil No. PT. 5

Nombre del suelo: Conjunto Altamira

Clasificación: Fluventic Haplustoll

Ubicación: 300 m al sur de Altamira (85°09' 40" de longitud oeste y 10°19' 59" de latitud norte).

Altitud: 10 msnm

Forma del terreno:

Posición fisiográfica: sedimentos aluviales actuales.

Forma del terreno circundante: plano.

Pendiente: menos de uno por ciento

Uso de la tierra: caña de azúcar.

2. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Material matriz: aluvial

Drenaje: bueno

Capa freática: profunda

Erosión: laminar ligera

Sales y/o álcalis: ausentes

3. BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Ap 0-14 cm Negro a gris muy oscuro (10YR2,5/1) en húmedo, pardo oscuro (10YR3/3) en seco, franco, bloques subangulares medios moderados; muy adherentes, muy plástico, friable; poros abundantes muy finos, imped, exped; raíces abundantes finas y muy finas; límite plano claro; pH 6,4.

A 12 14-23 cm Negro a pardo muy oscuro (10YR2/1,5) 80% pardo oscuro (10YR3/3) 20% en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco,

- franco, bloques subangulares medios moderados a migajosa fina fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable; poros comunes finos, abundantes muy finos, imped; raíces abundantes finos y muy finos; límite gradual plano pH 6,4.
- BC 23-38 cm Pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) 80%, negro a gris muy oscuro (10YR2,5/1) 10% en húmedo; pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en seco, franco arenoso; bloques subangulares medios y finos débiles a migajoso fino débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable; poros abundantes finos y muy finos, imped; raíces abundantes finas y muy finas; límite gradual plano; pH 6,7.
- B1 38-61 cm Pardo amarillento oscuro (10YR3,5/4) en húmedo, pardo amarillento (10YR5/4) en seco, franco arenoso; bloques subangulares finos débiles a migajosa fina débil; no adhesivo, ligeramente plástico, muy friable, escasas concreciones de Fe finas; poros abundantes finos y muy finos; raíces comunes finas y muy finas; límite claro plano; pH 6,9.
- BC 61-68 cm Pardo rojizo (2,5YR4/4) en húmedo, pardo amarillento claro (10YR5,5/4) en seco franco arenoso, estructura suelta a masiva, no plástico, no adhesivo, muy friable; poros abundantes finos y muy finos, exp; raíces escasas finas; límite abrupto plano, pH 7,1.
- C 68-120 cm Arena gris verdusca suelta, con fuertes veteados negros (magnetita), límite abrupto, piedrillas de hasta 1 cm de diámetro; arenosa, pH 7,2.
- II B 120-138 cm Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo, pardo amarillento claro (10YR6/4) en seco, franco limoso, adherente, plástico, pH 7,7.
- III Ab 138-165 cm Pardo muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR2,5/2) en húmedo, pardo amarillento

ANALISIS QUIMICOS

PERFIL No. P.T. 5 (Consociación Altamira)									
	Horizonte	Ap	A12	B/C	B2	BC	C	IIB	IIAb
	Profundidad (cm)	0-14	14-23	23-38	38-61	61-68	68-120	120-138	138 +
pH	H ₂ O	6,4	6,4	6,7	6,9	7,1	7,2	7,7	7,8
	KCL	5,3	5,4	5,4	5,6	5,6	5,8	5,8	5,9
	Materia orgánica	4,05	3,60	1,50	0,45	0,45	0,15	0,45	0,75
Cationes de cambio meq./100g. suelo)	Ca	16,50	16,50	16,75	16,00	16,50	7,35	18,00	16,25
	Mg	8,61	6,97	4,92	4,51	6,97	2,87	12,30	11,48
	K	1,92	1,54	1,41	0,26	0,38	0,38	0,51	0,51
	Na								
	Acidez intercambiable								
	Suma de bases								
	% de saturación de bases								
	Capacidad de Intercambio de cationes	48,65	55,89	41,40	42,44	44,51	21,75	45,54	39,40
Fertilidad actual ug/ml	Ca	12,5	15,5	18,0	19,0	21,0	9,0	19,0	18,0
	Mg	3,4	4,2	4,3	4,6	6,4	3,1	10,0	10,3
	K	1,63	1,40	1,27	0,21	0,23	0,19	0,25	0,31
	Al	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10
	Fe	82	68	24	8	4	6	2	4
	P	19	15	7	2	1	1	T	T
	Na	460	400	380	410	480	410	510	540
	Cu	4	4	4	4	4	2	6	9
	Zn	3,2	2,0	1,6	1,2	1,0	1,4	1,0	1,4
	Mn	18	11	7	2	2	1	1	1

ug/ml = microgramo de elemento/mililitro de suelo.

ANÁLISIS FÍSICOS

Perfil No. P.T. 5 (Consociación Altamira)									
	Horizonte	Ap	A12	B/C	B2	BC	C	IIB	IIAb
	Profundidad (cm)	0-14	14-23	23-38	38-61	61-68	68-120	120-138	138+
Granulometría (%)	Arena	48	47	56	62	66	89	25	23
	Arcilla	13	14	11	13	9	6	12	17
	Limo	39	39	33	25	25	5	63	60
	Textura	F	F	Fa	Fa	Fa	a	FL	FL
% Retención de humedad	1/3 Atm	29,86	31,08	25,96	22,31	23,31	6,77	40,07	41,71
	15 Atm	15,74	17,94	14,77	11,90	12,86	3,49	20,50	24,60
	% de humedad aproximado	14,74	13,14	11,19	10,41	10,45	3,28	19,59	21,11
	Densidad aparente (g/cc)	1,08	1,16	1,22	1,41	1,43	1,70	1,15	0,99
	Densidad real (g/cc)	2,46	2,54	2,53	2,62	2,54	2,96	2,39	2,27
	% porosidad	56,0	54,0	52,0	46,0	44,0	43,0	53,0	56,0
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)								
Velocidad de infiltración cm/ha	Inicial	42,6							
	Básica	27,5							

Textura: F - Franco
 A - Arcilloso
 L - Limoso
 a - arenoso

(10YR5/4) en seco; franco limoso; bloques subangulares medios moderados, poros abundantes finos y muy finos; exped; adhesivo y plástico, nódulos rojos de Fe; pH 7,8.

III C1 165-190 cm Arcilloso con nódulos rojos de Fe.
IIIC2 190 + cm Franco arcilloso con nódulos rojos de Fe.

TERCER PERFIL

1. INFORMACION ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Perfil N° PT. 6

Nombre del suelo: Conjunto Hortigal

Clasificación: Typic Pellustert

Ubicación: 3,25 km al NE del Ingenio, en Finca Hortigal (85°09' 44" de longitud oeste y 10°22' 14" de latitud norte).

Altitud: 15 msnm

Forma del terreno:

Posición fisiográfica: llanura de piedemonte (base) de la Cordillera de Guanacaste.

Forma del terreno circundante: plano (ligeramente cóncavo-converso).

Pendiente: uno por ciento

Uso de la tierra: caña de azúcar

2. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Material matriz: materiales muy pesados originados de rocas básicas

Drenaje: moderado

Capa freática: profunda

Erosión: Laminar ligera

Sales y/o álcalis: no evidentes

3. BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

- Ap 0-9 cm Gris muy oscuro (10YR3/1), en húmedo; gris oscuro (10YR4/1), en seco, arcilloso; bloques subangulares medios a granular fina moderada, muy adherente, muy plástico, friable a firme, poros escasos finos, comunes muy finos, raíces comunes finas y muy finas, límite claro plano, pH 6,3.
- A 12 9-46 cm Negro (2,5Y3/0) en húmedo; gris oscuro a gris (10YR4,5/1) en seco, arcilloso, bloques angulares medios a masiva, muy adherente, muy plástico, friable a firme, escasas concreciones finas de Calcio, poros comunes a escasos muy finos, raíces escasas muy finas, límite difuso ondulado, pH 7,6.
- A 13 46-89 cm Negro (2,5Y3/0) 70%, con moteado pardo grisáceo oscuro a pardo oliva (2,5Y4/3) 30%, en húmedo, gris a gris oscuro (10YR4,5/1) en seco; arcilloso, bloques angulares medios moderados a granular fina media a masiva, muy adhesiva, muy plástica, firme a friable, concreciones comunes de Calcio, medias y finas, poros abundantes muy finos, raíces comunes muy finas, límite difuso ondulado; pH 8,2.
- Ac 89-102 cm Gris muy oscuro a gris oscuro (2,5Y3,5/0), 60%, pardo grisáceo oscuro (2,5Y4/2) 30% en húmedo; gris oscuro (10YR4/1) en seco, arcilloso, prismática débil a masiva, muy adherente y muy plástico, firme a friable, concreciones comunes de Calcio finas, poros escasos muy finos, raíces escasas muy finas, límite gradual plano, pH 8,2.
- C1 102 + Pardo oliva (2,5Y4/4), con moteado gris muy oscuro a negro (7,5YR2,5/0) en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco, arcilloso, prismático a masiva muy adherente, muy plástico, firme a friable, concreciones de Calcio abundantes medias y finas poros comunes muy finos, raíces escasas a raras muy finas, pH 8,3.

ANÁLISIS QUÍMICO

PERFIL N.º. P.T. 5 (Consociación Hortigal)

		Horizonte	Ap	A12	A3	AC	C1
		Profundidad (cm)	0,9	9-46	46-89	89-102	102 +
pH		H ₂ O	6,3	7,6	8,2	8,3	8,3
		KCL	5,3	5,8	6,2	6,3	6,6
		Materia orgánica	2,85	1,05	0,90	0,90	0,90
Cationes de cambio meq./100 g. suelo)		Ca	27,00	31,33	29,67	28,33	30,00
		Mg	24,19	26,24	27,47	29,93	31,98
		K	0,51	0,26	0,26	0,26	0,38
		Na					
		Acidez intercambiable					
		Suma de bases					
		% Saturación de bases					
		Capacidad de intercambio de cationes	61,07	68,31	66,24	64,17	71,42
	Fertilidad actual ug/ml)	meq./100 cc suelo	Ca	26,0	31,5	29,5	24,5
		Mg	19,0	22,0	28,0	27,0	29,0
		K	0,21	0,9	0,10	0,09	0,12
		Al	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
		Fe	4	4	2	2	2
		P	T	T	T	T	T
		Na	540	660	+1000	+1000	+1000
		Cu	7	8	7	5	4
		Zn	1,6	1,8	1,4	1,0	1,2
		Mn	16	2	2	1	1

ug/ml = microgramos de elemento/mililitro de suelo.

ANALISIS FISICOS

PERFIL No. P.T. 6 (Consociación Hortigal)						
	Horizonte	Ap	A12	A13	AC	C1
	Profundidad (cm)	0-9	9-46	46-89	89-102	102 +
Granulometría (%)	Arena	11	6	9	7	7
	Arcilla	66	78	79	78	78
	Limo	23	16	12	15	15
	Textura	A	A	A	A	A
% retención de humedad	1/3 Atm	49,58	53,32	57,22	59,66	61,16
	15 Atm	34,04	36,62	39,31	44,33	44,52
	% humedad aproximado	15,54	16,70	17,91	15,33	16,64
	Densidad aproximada (g/cc)	1,17	1,25	1,27	1,29	1,30
	Densidad real (g/cc)	2,43	2,41	2,45	2,48	2,58
	% Porosidad	52,0	48,0	48,0	48,0	50,0
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)			0,21	0,75	1,73
Veloc. infiltr. (cm/h)						
	Inicial	0,9				
	Básica	0,3				

TEXTURA: F - Franco
 A - Arcilloso
 L - Limoso
 a - Arenoso

CUARTO PERFIL

1. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Número del perfil: 165 SD

Nombre del suelo: Asociación Paso Hondo-Pochota, fase ligeramente pedregosa (Conjunto Paso Hondo).

Clasificación: Typic Haplustalf

Fecha de la observación: 25-6-76

Ubicación: Latitud 10°16' 09" Longitud 85°01' 24"

Altitud: 90 msnm

Forma del terreno: a) Posición fisiográfica: llanura subcreciente, suavemente ondulada.
b) Forma del terreno circundante: ligeramente ondulado.

Pendiente: 3 a 6 por ciento

Uso de la tierra: Pasto

2. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Material matriz: Sedimentos aluviales subcrecientes de la Cordillera de Guanacaste

Drenaje: Bueno

Capa freática: Profunda

Pedregosidad y/o rocas: Comunes (hasta de 60 cm de diámetro)

Erosión: Laminar moderada

Sales y/o álcalis: No

3. DESCRIPCION DEL PERFIL

Al 0-11 cm Pardo muy oscuro (10YR2/2) en húmedo, pardo a pardo oscuro (10YR3,5/2) en seco; franco; bloques subangulares finos débi-

- les a migajoso fina moderada, ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable, nódulos comunes finos de hierro; poros abundantes finos y muy finos imped., raíces comunes, gruesas a finas y muy finas; límite claro ondulado; pH 6,9.
- B 21 11-28 cm Rojo oscuro (2,5YR3/6) en húmedo; rojo amarillento (5YR4/6) en seco; arcilloso; bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina fuerte; muy adherente, muy plástico, muy friable; poros abundantes muy finos imped. y exp.; raíces comunes gruesas y medias abundantes muy finas, límite gradual ondulado; pH 6,9.
- B22t 28-59 cm Rojo (2,5YR4/6) en húmedo; rojo amarillento (5YR5/8) en seco; arcilloso; bloques subangulares medios moderados a granular fina moderada; revestimientos de arcilla; nódulos no presenta; poros escasos medios y finos exped., abundantes muy finos imped.; raíces comunes finas y muy finas, límite gradual ondulado; pH 6,9.
- B23t 59-96 cm Rojo (2,5YR4/6) en húmedo; rojo amarillento rojizo amarillento (5YR5,5/6) en seco; arcilloso; bloques subangulares gruesos y medios moderados a granular fina moderada; adherente y plástico, friable; revestimiento de arcilla; nódulos gruesos comunes de hierro; poros abundantes muy finos imped., comunes finos exped., raíces comunes muy finas, límite gradual ondulado; pH 6,7.
- B3 96-110 cm Rojo (2,5YR5/6) color base (90 %) con moteado pardo fuerte (7,5YR5/6) (10 %) en húmedo amarillo rojizo (5YR6/6) en seco; arcilloso; bloques subangulares gruesos y medios fuertes a granular fina moderada; adherente y plástico; friable; revestimientos de arcilla; nódulos comunes gruesos de hierro; poros abundantes muy finos imped.; comunes finos exped.; raíces comunes medias finas; límite gradual ondulado; pH 6,8.
- C 110 + cm Rojo (2,5YR5/6) color base (70 %), con moteado rojo (10Y4/6) (10 %) en húmedo; amarillo rojizo (5YR6,5/6) en seco, arci-

ANALISIS QUIMICOS

PERFIL No. 165 SD CONJUNTO: PASO HONDO

		Horizonte	A1	B21	B22t	B23t	B3	C	
		Profundidad cm	0-11	11-28	28-59	59-96	96-110	100 +	
pH	H ₂ O		6,9	6,9	6,9	6,7	6,8	6,9	
	KCL								
		Materia orgánica	9,92	3,75	2,41	1,61	0,80	0,80	
Cationes de cambio (meq./100 g. suelo)	Ca		27,00	12,00	9,75	12,75	12,00	12,00	
	Mg		5,85	2,75	2,05	2,70	2,55	2,85	
	K		1,99	0,97	0,58	0,26	0,13	0,13	
			Acidez intercambiable						
			Suma						
			% Saturación de bases						
			Capacidad de intercambio de cationes	31,78	17,43	15,40	16,40	16,40	16,40
FERTILIDAD ACTUAL	meq/100 cc suelo	Ca	11,5	10,5	9,5	10,0	10,5	9,5	
		Mg	2,3	2,3	1,7	1,9	2,1	2,1	
		K	0,93	0,72	0,27	0,16	0,12	0,10	
		Al	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	
		Fe	18	20	68	8	22	26	
		P	4	2	2	1	1	1	
		Na							
	ug/ml	Cu	4	15	9	7	6	6	
		Zn	2,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	
		Mn	8	29	9	2	2	1	

ug/ml: microgramos de elemento por mililitro de suelo
 meq./100 cc: miliequivalentes de elemento por 100 cc de suelo
 meq./100 g: miliequivalentes de elemento por 100 g de suelo.

ANALISIS FISICOS

PERFIL No. 165 SD. CONJUNTO: PASO HONDO								
		Horizonte	A1	B21	B22t	B23t	B3	C
		Profundidad cm	0-11	11-23	28-59	59-96	96-100	100 +
Granulometría	Arena	35	17	4	15	12	8	
	Arcilla	26	53	70	58	54	24	
	Limo	39	30	26	27	34	26	
	Textura	F	A	A	A	A	A	
% Retención de humedad	1/3 atm	41,55	31,68	35,79	38,60	43,19	43,20	
	15 atm	23,51	20,65	26,76	26,46	26,77	27,16	
	Agua aprovechable	17,94	11,03	9,03	12,14	16,42	16,04	
	Densidad aparente (g/cc)	1,03	-	1,25	1,26	1,28	-	
	Densidad real (g/cc)	2,51	2,66	2,71	1,63	2,69	-	
	% Porosidad	59,0	-	54,0	52,0	52,0	-	
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)							
	Permeabilidad (cm/h)							
	Conductividad hidráulica							
Infiltración	húmedo	Inicial						
		Básica						
	seco	Inicial						
		Básica						

CLASES TEXTURALES: F - Franco A - Arcilloso
 L - Limoso a - Arenoso

lloso; bloques subangulares gruesos medios y finos moderados; adherente y plástico, friable; poros abundantes finos y muy finos imped.; raíces escasas muy finas; pH 6,9.

Observaciones: El horizonte B21 presenta mucha pedregosidad. Piedrecillas comunes en el B22t. El horizonte B23t es ligeramente más compacto que el anterior.

QUINTO PERFIL

1. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Número del perfil: 160 SD

Nombre del suelo: Consociación La Palma, fase no erodada

Clasificación: Typic Argiustoll

Fecha de observación: 23-6-76

Ubicación: Lat. 10°10' 14", Long. 85°04' 13" (3,5 km al suroeste de La Gotera, finca La Cuñera).

Altitud: 45 msnm

Forma del terreno: a) Posición fisiográfica: terrazas recientes
b) Forma del terreno circundante: altiplano

Pendiente: Menos del uno por ciento

Uso de la tierra: Caña de azúcar

2. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Material matriz: Aluviones antiguos del río Abangares

Drenaje: Bueno

Capa freática: Profunda

Pedregosidad y/o rocosidad: No

Textura: laminar ligera

Sales y/o sícalis: No

3. BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

- Ap 0-12 cm Pardo muy oscuro a negro (10YR2/1,5) en húmedo; pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en seco; franco; bloques subangulares finos débiles a migajosa fina débil, ligeramente adherente, ligeramente plástico; friable a muy friable en húmedo; poros abundantes muy finos imped; raíces abundantes finas a muy finas; límite gradual plano; pH 6,1.
- A12 12-34 cm Pardo muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR2,5/2) en húmedo; pardo a pardo oscuro (10YR4/3) en seco; franco; bloque subangular medio y fino débil a migajosa fina débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico en mojado, friable a muy friable en húmedo; poros abundantes muy finos imped; raíces abundantes finas a muy finas; límite claro ondulado; pH 6,3.
- B21 34-47 cm Pardo oscuro (7,5YR3/2) en húmedo; pardo amarillento a pardo amarillento oscuro (10YR4,5/4) en seco; franco arcilloso; bloque subangular medio fino moderado a granular fino moderado; adherente y plástico, friable, nódulos comunes de hierro; poros abundantes finos y muy finos imped y raíces comunes a abundantes finas y muy finas; límite gradual ondulado; pH 6,4.
- B22 47-59 cm Pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo; pardo (7,5YR4/4) en seco; franco arcilloso; bloque subangular medio y fino moderado a granular fina moderada; adherente y plástico, friable; revestimientos de arcilla; nódulos muy finos escasos de hierro; poros comunes finos, abundantes finos y escasos de hierro; poros comunes finos, abundantes finos y muy finos imped y exped; raíces comunes finas y muy finas; límite gradual plano; pH 6,5.

- B23t 59-84 cm Pardo rojizo a pardo rojizo oscuro (2,5YR3,5/4) en húmedo; pardo rojizo (5YR4/4) en seco; arcilloso; bloque subangular medio y fino moderado a granular fina moderada; adherente y plástico, firme a friable; revestimientos de arcilla; poros escasos finos, abundantes finos imped; raíces escasas muy finas; límite difuso ondulado, pH 6,6.
- B24t 84-120 cm Pardo rojizo a pardo rojizo oscuro (2,5YR3,5/4) en húmedo; rojo amarillento (5YR4/6) en seco; arcilloso; bloque subangular medio y fino moderado; adherente y plástico; firme a friables revestimientos de arcilla; poros escasos finos, abundantes muy finos imped; raíces escasas muy finas; límite difuso plano, pH 6,7.
- B3 120-150 cm Rojo oscuro (2,5YR3/6) en húmedo; rojo amarillento (5YR5/6) en seco; arcilloso; bloque subangular medio a fino; moderado; adherente y plástico firme a friable; poros comunes finos, abundantes muy finos imped; raíces muy escasas, pH 6,7.
- C 150-200 cm Arcilloso; pH
- R Piedra

Observaciones: El A12 por subsoleo presenta algunas inclusiones de B, además contiene ciertas características tixotrópicas.
En el B23t aparecen piedras escasas no redondeadas.

A partir del horizonte B24t hay piedras hasta de 10 cm de diámetro, escasas.

ANALISIS FISICOS

		PERFIL No. 150 SD			CONJUNTO: LA PALMA					
	Horizonte	Ap	A12	B21	B22	B23t	B24t	B3	C	R
	Profundidad cm	0-12	12-34	34-47	47-59	59-84	84-120	120-150	150-200	200+
Granulometría %	Arena	44	44	28	24	24	16	24		
	Arcilla	16	18	28	39	50	58	50		
	Limo	40	38	44	37	26	26	26		
	Textura	F	F	FA	FA	A	A	A		
% Retención de humedad	1/3 atm.	49,95	47,16	42,12	35,62	33,30	37,07	35,16		
	15 atm.	18,09	20,33	24,52	22,93	22,09	24,85	23,02		
	Agua aprovechable	31,86	26,83	17,60	12,69	11,21	12,22	12,14		
	Densidad aparente (g/cc)	1,11	0,91	1,16	1,10	1,30	1,29	-		
	Densidad real (g/cc)	2,64	2,49	2,59	2,62	2,82	2,55	2,82		
	% Porosidad	58,0	64,0	55,0	58,0	54,0	49,0	-		
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)									
	Permeabilidad (cm/h)									
	Conductividad hidráulica									
Infiltración Seco	Húmedo									
	Inicial									
	Básica									
	Inicial									
	Básica									

CLASES TEXTURALES: F - Franco L - Limoso
 A - Arcilloso a - Arenoso

ANALISIS QUIMICOS

PERFIL No. 160 SD CONJUNTO LA PALMA											
	Horizonte	Ap	A12	B21	B22	B23t	B24t	B3	C	R	
	Profundidad	0-12	12-34	34-47	47-59	59-84	84-120	120-150	150-200	200 +	
pH	H ₂ O	6,1	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,7			
	KCL										
	Materia orgánica	6,97	6,97	4,02	2,41	1,61	1,07	0,54			
Cationes de cambio (meq./100 g. suelo)	Cu	15,75	15,75	18,00	17,25	13,50	12,00	10,50			
	Mg	2,35	2,55	3,50	4,00	4,85	4,85	3,80			
	K	1,09	0,64	1,15	0,71	0,13	0,13	0,13			
	Acidez intercambiable										
	Suma										
	% Saturación de bases										
	Capac. intercambio cationes	26,14	29,73	31,78	25,11	26,10	24,60	23,70			
FERTILIDAD ACTUAL	meq/100cc suelo	Ca	10,0	10,0	13,5	14,5	14,0	10,5	9,5		
		Mg	1,5	1,5	2,4	3,4	4,8	3,9	3,3		
		K	0,64	0,32	0,35	0,37	0,15	0,09	0,09		
		Al	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		
		Fe	58	70	68	32	22	52	12		
	ug/ml	P	8	6	5	4	4	6	5		
		Na									
		Cu	7	7	12	15	16	8	7		
		Zn	1,6	1,6	1,8	1,2	1,2	1,0	0,8		
		Mn	3	3	3	6	10	3	4		

ug/ml = microgramos de elemento por mililitro de suelo.

meq./100 cc = miliequivalentes de elemento por 100 cc de suelo.

meq./100 g = miliequivalentes de elemento por 100 gr de suelo.

Suelos marginales y pastos tropicales: Hacia un uso mas eficiente de los recursos

James M. Spain*

Resumen

En este trabajo se examinan las características de los principales suelos considerados marginales en donde más se encuentran pastos, y sus relaciones con los sistemas de producción basados en pastizales de leguminosas y gramíneas adaptadas al medio edáfico de las regiones del trópico húmedo americano. Para sustentar la afirmación de que mediante el uso de especies de plantas y animales adaptadas y eficientes, y con un manejo adecuado, se están desarrollando sistemas de alta producción estables y sostenibles, el autor comienza por señalar las características que hacen limitantes los suelos marginales con base en cuatro criterios: suelos de baja fertilidad, mal drenados o inundables, suelos en zonas muy aisladas y suelos de topografía accidentada o con demasiada pendiente para la agricultura. En comparación, se destacan las ventajas de los pastos tropicales para el uso y conservación de los recursos, especialmente cuando su adaptación y buen manejo pueden contribuir a proteger la erosión del suelo, el reciclaje de nutrientes, la conversión de la energía solar y la actividad biológica en el suelo, especialmente cuando están asociados a la producción animal.

Considerando las ventajas de la asociación de leguminosas y gramíneas en los pastizales del trópico húmedo, en la segunda parte del trabajo se examina la importancia de la asociación raíz-micorriza vesícula-arbuscular (MVA), especialmente para la absorción de nutrientes del suelo. Se destaca también el papel de esas asociaciones en relación con la fertilidad de los suelos, los requerimientos por las plantas y su potencial productivo.

Con base en esas consideraciones y la necesidad de reducir los costos de producción por medio de fuentes de nutrientes

* Ph D. Científico de suelos. Programa de Pastos Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

menos solubles que suministren las necesidades de la planta a través de muchos años, el autor desarrolla el concepto de los sistemas de producción de pastizales estables y sostenibles, destacando las características que pueden cambiar el pesimismo de muchos científicos debido a las experiencias que se ha tenido en pastos en el trópico húmedo, especialmente en zonas de bosque. En este aspecto, se destaca el contraste entre pastos degradados y pastizales basados en leguminosas y gramíneas bien manejadas, especialmente por sus ventajas en la protección del suelo y en la conservación de minerales y materia orgánica en el sistema. En este punto el autor examina brevemente las características del ecosistema de bosque húmedo en comparación con el de sabanas, así como los recursos de germoplasma de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al trópico húmedo americano. Concluye destacando que los pastizales formados de ese germoplasma, bien manejados, requieren pocos insumos, son eficientes en la conservación del suelo y los nutrimentos y son muy productivos.

Summary

This work examines characteristics of the main soils considered marginal where pastures are usually found and their relationship with production systems based on pastures of legumes and grasses adapted to the edaphic environment of the American humid tropics.

The author affirms that through the use of adapted and efficient plant and animal species, and with adequate management, stable and sustained highly productive systems are being developed. He begins by pointing out the limiting characteristics of marginal soils. These limitations are based on four criteria: low fertility, poor drainage or flooding, isolated areas, and topography that is uneven or too steep for agriculture. In comparison, he stresses the advantages of tropical pastures for the use and conservation of resources, especially when their adaptation and proper management can contribute in reduction of soil erosion, recycling of nutrients, conversion of solar energy, and biological activity of the soil, particularly when linked to animal production.

Considering the advantages of the association of legumes and grasses in pastures of the humid tropics, the second part of the work analyzes the importance of the root vesicular-arbuscular mycorrhiza association (VAM), especially for the absorption of soil nutrients.

Emphasis is also given to the role of these associations in relation to soil fertility, the plants' nutrient requirements and their productive potential.

Based on these considerations and the need to reduce production costs by use of less soluble nutrient sources that supply the plants' needs over many years, the author develops the

concept of production systems for pastures, stressing the characteristics that may change the pessimistic outlook of many scientists caused by experiences with pastures of the humid tropics, especially in forest areas. In this aspect the contrast is clearly marked between degraded pastures and well-managed pastures based on legumes and grasses, especially because of the latter's advantages in soil protection and the conservation of mineral and organic material in the system.

At this point, the author briefly examines the characteristics of the humid forest ecosystem compared to those of the savanna, as well as the germplasm resources of grasses and legume forages adapted to the American humid tropics. In closing, the author points out that pastures formed by this germplasm, when well-managed, require few inputs, are efficient in soil and nutrient conservation and are very productive.

INTRODUCCION

En el trópico húmedo de América predominan los suelos marginales. La mayoría son Oxisoles y Ultisoles que no son considerados aptos para la mayoría de los cultivos anuales y perennes debido a factores químicos. Sin embargo, mediante el uso de especies de plantas y animales adaptadas y eficientes, y con un manejo adecuado, se están desarrollando sistemas de alta producción que requieren pocos insumos comprados; dichos sistemas parecen ser estables y sostenibles.

SUELOS MARGINALES

Los suelos considerados marginales en donde más se encuentran pastos incluyen:

- a) Suelos de baja fertilidad, fuertemente ácidos, o una combinación de estas características, como son la gran mayoría de los suelos en el trópico húmedo americano debido al clima, la topografía y el material parental. En la Figura 1 se presentan características del perfil de un Oxisol arenoso en el extremo sur de Bahía, en Brasil.
- b) Suelos en zonas muy aisladas, lejos de centros de población y sin una infraestructura adecuada para un uso intensivo. En su mayoría también son de baja fertilidad.
- c) Suelos mal drenados o inundables. Durante mucho tiempo, grandes áreas seguirán con ese limitante, que restringe fuertemente las especies que se pueden sembrar.
- d) Suelos de topografía accidentada o con demasiada pendiente para la agricultura. Además, por lo general, son pedregosos, superficiales o una combinación de uno y otro.

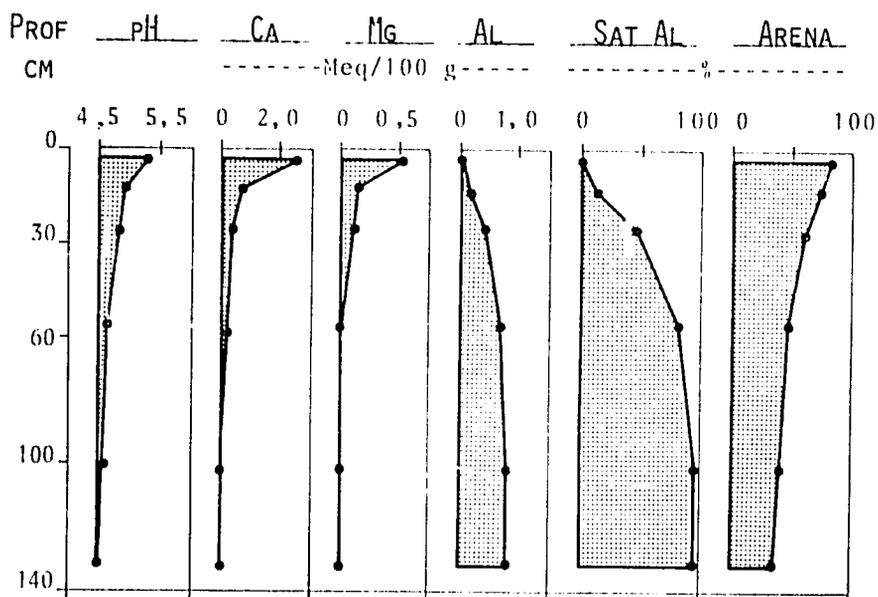


Figura 1. Algunas características físico-químicas en el perfil de un Oxisol en el extremo sur de Bahía, Brasil.

BASE DE GERMOPLASMA

Existen muchas especies de leguminosas y gramíneas forrajeras de alto potencial productivo y buena calidad que se adaptan al medio edáfico sin necesidad de encalar y con un mínimo de fertilizante, debido a que han evolucionado en suelos ácidos e infértiles (Spain, 1979). Algunos combinan esas cualidades con una resistencia adecuada a enfermedades e insectos, para persistir bajo pastoreo en asociaciones estables (Cuadro 1).

VENTAJAS DE LAS PASTURAS TROPICALES

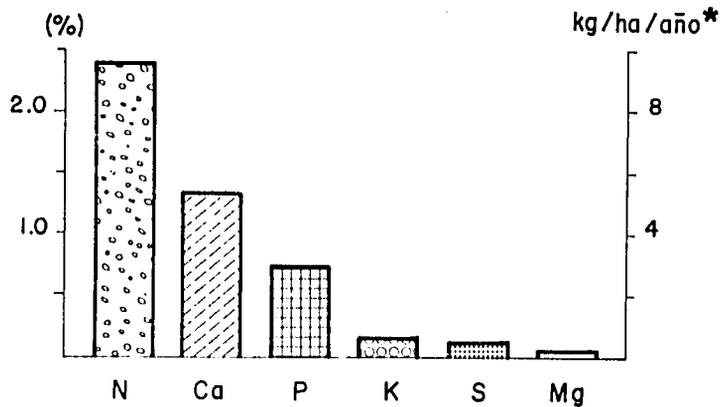
Las pasturas basadas en leguminosas y gramíneas adaptadas pueden ser extremadamente eficientes en el uso y conservación de los recursos, debido a que:

- El pasto bien manejado protege el suelo contra la erosión;
- La presencia de una cobertura constante y de una capa de hojarasca sobre la superficie aseguran una alta tasa de infiltración y por lo tanto poca escorrentía;
- Los productos de los pastos -la carne o la leche- demandan muy poca extracción de minerales del pastizal, ya que están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, que son extraídos del agua o del aire. Las proporciones de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre y magnesio en el cuerpo del ganado bovino vivo se indican en la Figura 2. A excepción del N, aunque se sumen todas las cantidades de otros elementos extraídos en 400 kilos de peso vivo (que es una muy buena producción por hectárea/año) no se alcanza a los 10 kilos.
- La leguminosa en la asociación con gramíneas fija nitrógeno suficiente mediante simbiosis rhizobial, para sus necesidades en la producción de forraje de alta calidad. Además, sobra N que da lugar a un crecimiento vigoroso de la gramínea que la acompaña.
- Las gramíneas tropicales perennes del tipo C-1 se cuentan entre los convertidores más eficientes de la energía solar.
- Por la cobertura, la presencia de rastrojo, un balance favorable de carbono y nitrógeno y el sistema radicular eficiente de las plantas forrajeras, hay un reciclaje muy eficiente de nutrimentos que resultan del excremento del animal y del mismo rastrojo. Este proceso se concentra en los horizontes A₀ y A₁ en un ambiente de intensa actividad biológica.
- En ese ambiente las raíces de las plantas, directamente y mediante la simbiosis de la micorriza, son muy eficientes en la absorción de los nutrimentos en general y del

Cuadro 1. Lista de especies forrajeras promisorias para el trópico húmedo por ecosistema.

Especies	Sábanas bien drenadas		Bosque Tropical
	Llanos	Cerrados	
<i>Andropogon gayanus</i>	SI	SI	SI
<i>Brachiaria decumbens</i>	SI	SI	SI
<i>Brachiaria dictyonera</i>	SI	(NO)	(SI)
<i>Brachiaria humidicola</i>	SI	NO	SI
<i>Centrosema brasilianum</i>	SI	SI	(NO)
<i>Centrosema macrocarpum</i>	SI	SI	SI
<i>Centrosema</i> sp. (type CIAT 5112)	SI	(NO)	SI
<i>Desmodium ovalifolium</i>	SI	NO	SI
<i>Pueraria phaseoloides</i>	SI	NO	SI
<i>Stylosanthes capitata</i>	SI	SI	(NO)
<i>Stylosanthes guianensis</i> "tardío"	SI	SI	(SI)
<i>Stylosanthes guianensis</i> (común)	NO	NO	SI
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	SI	SI	(NO)
<i>Zornia</i>	SI	(SI)	SI

Fuente: Schultze-Kraft (comunicación personal).



* Basado en una producción de 400 kg P.V./ha/año

Figura 2. El contenido de algunos elementos en el cuerpo del ganado vacuno vivo.

fósforo en especial, dándole poca profundidad para que éste se fije en forma inorgánica en el suelo. Es probable que la gran mayoría del reciclaje de fósforo tome lugar independientemente del suelo inorgánico, siendo concentrado en el mismo material vegetal en vía de descomposición sobre y en la superficie del suelo.

LA IMPORTANCIA DE LA MICORRIZA

El papel de las asociaciones raíz-micorriza vesículo-arbuscular (MVA) ha sido ampliamente documentada. Mosse (1981) ha revisado la literatura con énfasis especial en suelos tropicales. La Figura 3 muestra esquemáticamente cómo el micelio del hongo de la MVA penetra el suelo desde la raíz, y mediante una red de hifa muy fina y efímera absorbe nutrimentos y los transporta a la raíz. Este aumento en la superficie efectiva de absorción de la raíz es especialmente importante para los elementos menos móviles (P, Zn, Cu), que son absorbidos en muy baja proporción por el flujo masal, y en suelos tropicales donde la disponibilidad de tales elementos es casi siempre limitada.

La mayoría de las plantas tropicales son micorrizales en la naturaleza; parece ser una simbiosis fundamental para que las plantas sobrevivan y persistan en el medio. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible manipular o manejar la MVA en forma práctica, principalmente porque no se ha podido producir el inóculo del hongo en ausencia del huésped en un medio artificial. Pero, por ser tan ubicua la asociación MVA en especies forrajeras tropicales, y esencial en muchos casos, parece lógico seguir estudiándola para entender mejor el efecto y la eficacia de diferentes aspectos del manejo del sistema suelo-planta-animal.

REQUERIMIENTOS DE FERTILIDAD

La fertilidad del suelo es relativa, depende de la planta que se cultive (Spain, 1981). Un suelo totalmente marginal para la producción de maíz o soya puede ser excelente para especies forrajeras perennes con alto potencial. En la Figura 4 se compara la fertilidad de dos suelos en términos de su aptitud para la siembra de dos cultivos contrastantes.

Niveles críticos

La Figura 5 muestra la probable relación entre niveles críticos de P y la acumulación de este elemento en la fitomasa de acuerdo con la fase de desarrollo de la planta. La plántula recién germinada tiene un requerimiento relativamente alto en términos de concentración de nutrimentos en la solución del

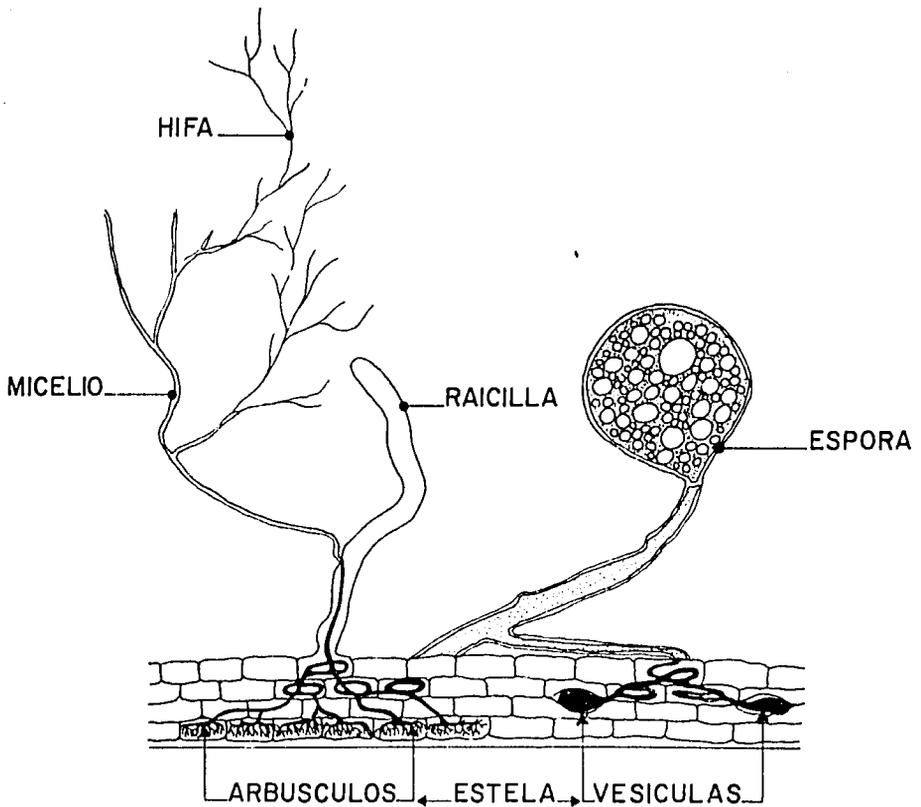


Figura 3. Una representación esquemática de la asociación raíz, raicillas y micorriza vesículo-arbúscula. Las dimensiones de la raicilla, el micelio y la hifa son relativas y en la misma escala.

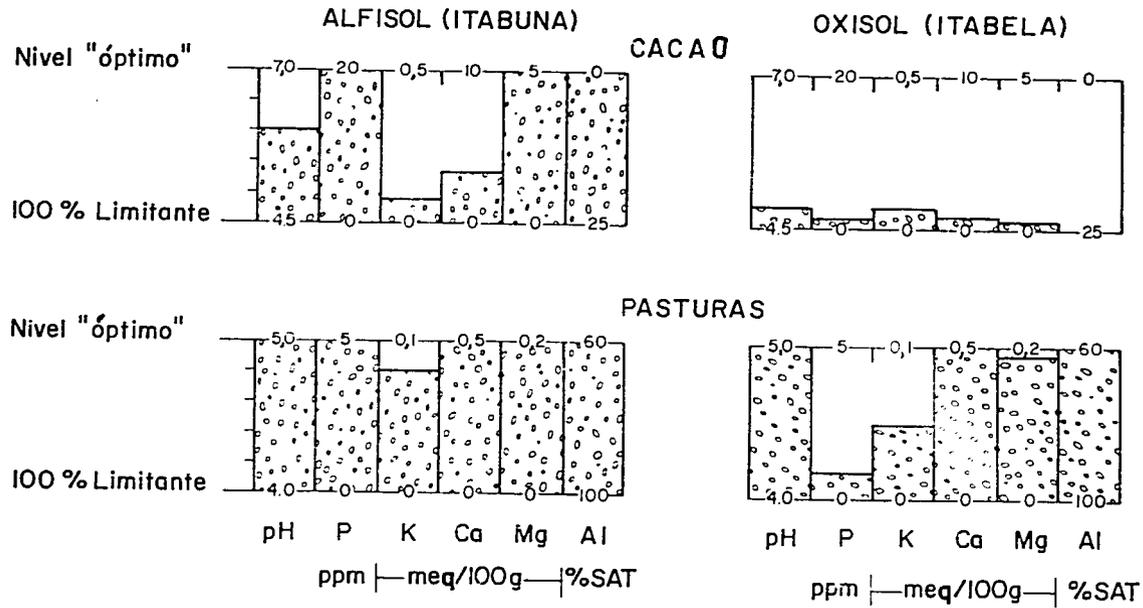


Figura 4. La fertilidad relativa de dos suelos, considerando dos cultivos contrastantes: el cacao y pasturas tropicales.

suelo, debido al sistema radicular pequeño y la demora en el desarrollo de la simbiosis con la micorriza y otros microorganismos. A medida que la plántula se desarrolla, su requerimiento va bajando por el desarrollo del sistema radicular y la formación de las simbiosis efectivas. Posteriormente, en la fase de "gran crecimiento", las especies más vigorosas en esta etapa tienen requerimientos altos de nutrientes mientras se acumula la biomasa. Cuando la fertilidad está por debajo del óptimo, esa fase se alarga mucho y la planta demora mucho más en satisfacer los requerimientos necesarios para que funcione bien. En la fase de producción bajo pastoreo los requerimientos en términos de concentraciones en la solución del suelo son mucho más bajos que en la etapa inicial, porque la planta ya tiene acumulados en la fitomasa los nutrientes requeridos, están funcionando la simbiosis y el reciclaje de nutrientes bajo un manejo que es eficiente.

Cuando las concentraciones de nutrientes en la solución del suelo son óptimas para el crecimiento de plantas, existe un potencial de lixiviación. Este potencial sería proporcional a la concentración en la solución de cada elemento. Las concentraciones requeridas por las especies forrajeras adaptadas son bajas, asegurando que las pérdidas de nutrientes por lixiviación sean mínimas. Esas bajas concentraciones requeridas se deben al reciclaje eficiente comentado antes. Además, el requerimiento de la planta en términos de tasa de flujo en un momento dado es muy bajo, comparado con cultivos anuales. El pasto es consumido durante todo el año y el rastrojo más el excremento del animal son retornados al suelo continuamente. Por lo tanto, una vez acumulados nutrientes suficientes en la biomasa de la planta y en la materia orgánica y el rastrojo fresco, el papel de la solución del suelo se reduce al mínimo, como se muestra en forma esquemática en la Figura 5.

El uso eficiente de fuentes menos solubles: menores costos

Las características edáficas del medio son muy favorables para el uso de fuentes poco solubles de nutrientes, ideales para suministrar las necesidades de la planta a través de muchos años. La acidez fuerte, junto con las concentraciones muy bajas de los diferentes nutrientes en la solución del suelo, conducen a una solubilidad adecuada de materiales como la roca fosfórica y los feldspatos de potasio, de poca utilidad en suelos de menor acidez.

El efecto de la asociación MVA en la absorción de P de diferentes fuentes en el crecimiento inicial de la planta y en la nodulación (en el caso de leguminosas) de varias especies forrajeras, en un Oxisol no esterilizado, ha sido recientemente presentado por Saif (1983). La fuente más efectiva de P fue una roca fosfórica y su efectividad aumentó en más del 50 por

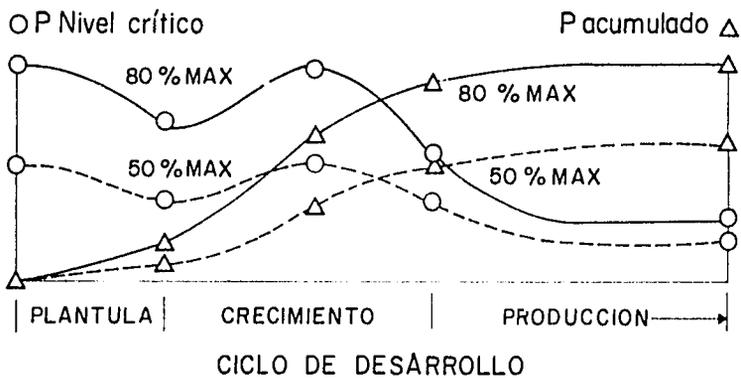


Figura 5. Cambios en los niveles críticos y el P acumulado en una especie forrajera de acuerdo con la fase en el ciclo de desarrollo (casos hipotéticos).

ciento, en términos de producción de materia seca en el campo, cuando se inoculó con micorriza.

REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

Parece una situación paradójica, pero las pérdidas de nutrientes de los pastos alcanzan un rango mínimo cuando la productividad está llegando al máximo. Eso tiene varios aspectos interesantes: a) mientras se mantiene productivo el pasto, se mantiene una cobertura completa con todas las ventajas: alta tasa de infiltración, protección contra erosión, poca escorrentía; b) las plantas vigorosas tienen sistemas radiculares eficientes, capaces de mantener en forma efectiva las simbiosis, fijando nitrógeno suficiente mediante la absorción eficiente del fósforo y otros nutrimentos, con una pérdida mínima por lixiviación, aún de los nutrimentos más móviles (potasio, nitratos); c) las pérdidas del sistema llegan a un mínimo cuando los nutrimentos extraídos en el producto constituyen el principal componente de pérdida, y las pérdidas por lixiviación, escorrentía y erosión llegan a un mínimo; d) a niveles máximos de producción se requieren concentraciones más altas en la solución del suelo y, por lo tanto, es probable que las pérdidas por lixiviación aumenten algo, especialmente las de los nutrimentos más móviles, a medida que se acerca al 100 por ciento. La Figura 6 muestra esas relaciones en forma hipotética.

SISTEMAS DE PRODUCCION USADOS EN PASTIZALES ESTABLES Y SOSTENIBLES

Muchos investigadores están muy desilusionados por la experiencia con pastos en el trópico húmedo, especialmente en zonas de bosque, y están convencidos que no son aptos para tales ecosistemas (Janzen, 1973; Fearnside, 1980; Jordan, 1982; Uhl, 1983). Es cierto que los pastos que son manejados inadecuadamente y que se encuentran degradados son susceptibles a la compactación en la superficie, dando lugar a una escorrentía excesiva acompañada por erosión a veces severa, según sea la pendiente. La baja tasa de infiltración es el resultado del sellamiento de la superficie que resulta cuando ésta no está adecuadamente cubierta, debido al pisoteo, al poco rastrojo que cae sobre la superficie y, por tanto, a una reducción severa de la actividad de la micro y macrofauna en el suelo. Debajo de la capa superficial los perfiles de la mayoría de los Ferrosoles son altamente permeables y no presentan limitaciones en cuanto a tasas de infiltración. Al perder el vigor, los pastizales son susceptibles a la invasión de malezas y al poco tiempo se vuelven muy poco productivos. Esta experiencia es demasiado común en los trópicos americanos y ha dado lugar al ambiente de pesimismo que se presenta entre muchos científicos y observadores que trabajan en la región.

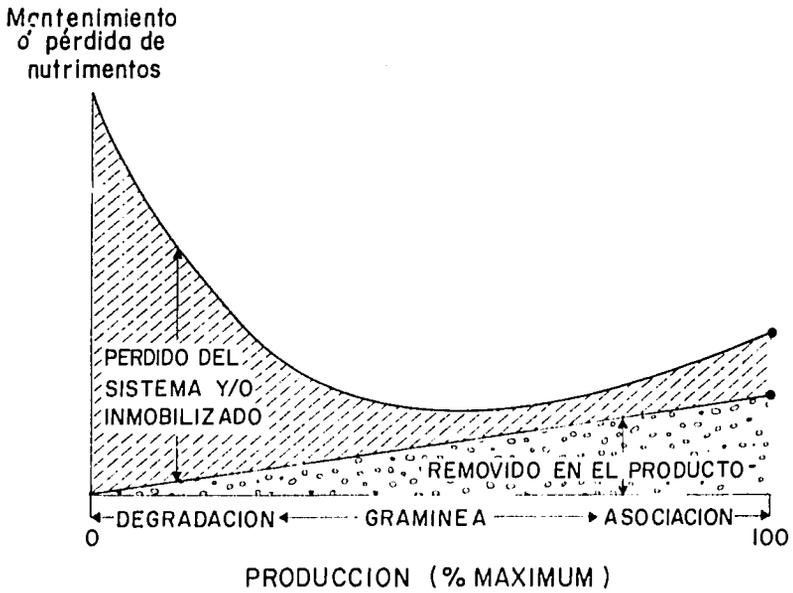


Figura 6. Los rendimientos relativos hipotéticos de nutrientes para el mantenimiento de pasturas en diferentes niveles de producción.

El contraste entre pastos degradados y pastizales basados en leguminosas y gramíneas bien manejadas es grande. Es como comparar una sabana con el bosque. Inclusive, de acuerdo con Roberts*, el pastizal tropical ideal estaría formado por varias especies de leguminosas y gramíneas con hábitos de crecimiento muy contrastantes, dando lugar a lo que él ha llamado "un minibosque pluvial".

El macroambiente del bosque tropical es obviamente diferente del macroambiente encontrado en una pastura tropical, sin embargo, es probable que no sean tan diferentes en términos de su potencial para conservar minerales y materia orgánica en el sistema. Ambas formaciones son capaces de mantener una cobertura continua y completa y proteger así el suelo del impacto directo de la lluvia y del sol. Ambos sistemas, bajo un manejo adecuado, producen una alta concentración de raíces en la superficie del suelo y un retorno continuo de detritus; éstos sufren una decomposición rápida, favoreciendo una actividad intensa de macro y micro flora y fauna. Lombrices, cucarrones, termitas, hormigas y otra fauna realizan una "labranza" del suelo mediante su gran actividad, manteniéndolo poroso y receptivo para la infiltración de agua tanto en el bosque como en la pastura, aún cuando ésta se encuentre bajo pastoreo, logrando altos niveles de producción.

Los bosques tropicales y los pastizales poseen índices de área foliar (IAF) muy similares. El rango normal de IAF en bosques es de 5 a 8 (Jordan 1982). Las asociaciones de leguminosas-gramíneas bien manejadas presentan un rango de IAF de 3 a 6. Estas cifras pueden ser sorprendentes en vista de la gran diferencia en la fitomasa que se acumula en los dos sistemas. Los bosques maduros en suelos altamente lixiviados acumulan hasta 500 toneladas por hectárea de materia seca en la fitomasa aérea. Por otro lado, las sabanas nativas difícilmente pasan de cinco toneladas por hectárea. Una buena asociación bien manejada podría acumular hasta 8 ó 10 toneladas de materia seca por hectárea, y la producción anual de forraje podría alcanzar de 25 a 30 toneladas por hectárea.

La mayoría de los árboles de los bosques tropicales americanos, incluyendo los gigantes de la selva, se caracterizan por sistemas radiculares muy superficiales, con excepción de la raíz central que ancla el árbol (Jordan 1982). Es probable que represente poca ventaja para el árbol tener raíces más profundas, debido a la concentración del proceso de reciclaje en el detritus o muy superficialmente en el suelo, a la pobreza del subsuelo y a la disponibilidad casi permanente de humedad suficiente cerca a la superficie en el ecosistema de bosque húmedo. En cambio, en el ecosistema de sabanas, las especies forrajeras son capaces de aprovechar la humedad del subsuelo durante la

* C. R. Roberts (Comunicación personal)

estación seca mediante la utilización de sus sistemas radiculares profundos. Pastos como *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes capitata* y otras especies forrajeras, exóticas y nativas, extraen la humedad hasta profundidades de más de 1,8 metros en un Oxisol en Carimagua, Colombia (CIAT, 1977, 1978, 1979).

Además del agua extraída del subsuelo, las mismas especies forrajeras acumulan calcio y magnesio en los horizontes superficiales a través del tiempo. Esto fue demostrado por asociaciones de *Andropogon gayanus* y *Panicum maximum* con *Pueraria phaseoloides* y *Stylosanthes capitata* en un experimento bajo pastoreo conducido en Carimagua (CIAT, 1982).

CONCLUSION

La experiencia confirma que existe germoplasma de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptado al trópico húmedo americano y a los suelos ácidos e infértiles que predominan en la región. Los pastizales formados de este germoplasma, bien manejados, requieren pocos insumos y son muy productivos. Además, son eficientes en la conservación del suelo y los nutrimentos. Prometen ser sistemas de producción estables y sostenibles para el trópico húmedo.

Información adicional se presenta en el Anexo a continuación de la literatura consultada.

LITERATURA CONSULTADA

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Informes anuales del Programa de Pastos Tropicales 1977, 1978, 1979, 1981, 1982 y 1983. Cali, Colombia.
- _____. Establecimiento de pastos en zonas de sabana; unidad audio-visual. Cali, Colombia, 1981.
- FEARSLIDE, P. M. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazonia Brasileira: consecuencias para a sustentabilidade de producao bovina. *Acta Amazonica* 10(1):199-132. 1980.
- JANZEN, D. H. Tropical agroecosystems. *Science* 182:1212-1219. 1973.
- JORDAN, C. F. Amazon rain forests. *American Scientist* 70:394-410. 1982.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. University of Hawaii, Research Bulletin no. 194. 1981.
- SAIF, S. R. Respuesta de plantas forrajeras tropicales a las aplicaciones de roca fosfórica y micorriza en un oxisol no esterilizado. s.n.t. Documento presentado en: Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica, Cochabamba, Bolivia, 1983. (En prensa).
- SPAIN, J. M. Establecimiento y manejo de pastos en los llanos orientales de Colombia. In Terças, L. E. y Sánchez, P. A. eds. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Cali, Colombia, CIAT, 1979. pp. 181-190.

- SPAIN, J. M. ed. Recomendaciones generales para el establecimiento y mantenimiento de pastos en la zona de Carimaqua, Llanos Orientales de Colombia. Cali, Colombia, CIAT, 1983.
- UHL, C. You can keep a good forest down. *Natural History* 92(4):71-79. 1983.

ANEXO

PRINCIPIOS BASICOS PARA EL ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE PASTOS TROPICALES

Los siguientes principios están basados en el uso de leguminosas y gramíneas adaptadas al medio y compatibles entre sí, que requieren un mínimo de modificación del suelo y aseguran la persistencia y productividad a largo plazo.

ESTABLECIMIENTO

1. La preparación del suelo debe ser la mínima posible, dejando rastros y restos de raíces sobre la superficie con el fin de protegerla, mantener la estructura y una tasa alta de infiltración. De ese modo, se reduce la pérdida de agua por escorrentía y de suelo por erosión, a la vez que se crea un ambiente favorable para la plántula a un costo mínimo.
2. Siembre superficialmente y afirme el suelo sobre la hilera. Casi todas las semillas de especies forrajeras tropicales son pequeñas y requieren muy poca cobertura, sólo la suficiente para esconder un poco la semilla de los insectos cosechadores y de los pájaros.
3. Siembre en hilera y coloque solo el fertilizante necesario para optimizar el ambiente químico para la plántula y minimizar la estimulación de malezas. Es muy importante separar lateralmente de la semilla el fertilizante que contenga nitrógeno o potasio. No coloque este tipo de fertilizante directamente por debajo de la semilla ni en contacto con ella.
4. Utilice un patrón de siembra para asegurar el buen establecimiento tanto de la leguminosa como de la gramínea; ésta última es inicialmente más importante que la leguminosa.
5. Si las condiciones del ecosistema lo permiten, considere el uso de sistemas de siembra rala para reducir aún más el costo.
6. Inocule las leguminosas con rhizobium si se consiguen inoculantes efectivos.
7. Controle las hormigas, que son especialmente dañinas en la etapa de establecimiento, mediante prácticas culturales o en sus cuevas.

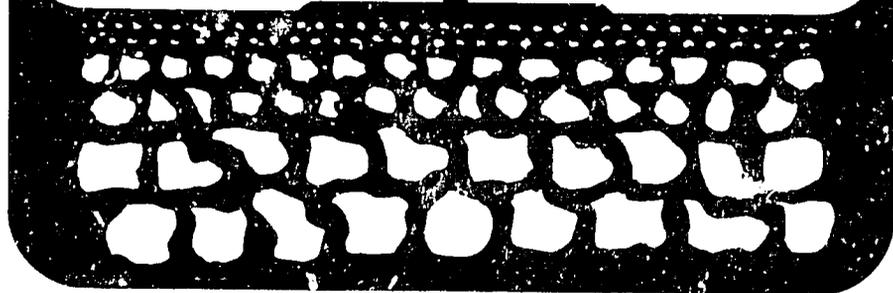
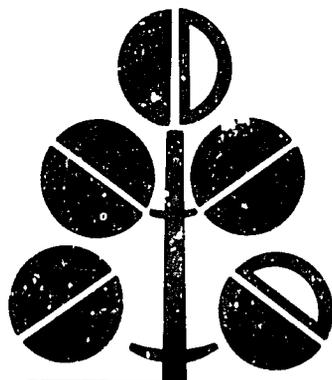
8. Siembre oportunamente. En general, mientras más temprano lo haga en la estación de lluvia, mejor.
9. Conozca su semilla y ajuste las tasas de siembra de acuerdo con su calidad.

Para mayor información sobre establecimiento, se recomienda la unidad audiovisual "Establecimiento de Pastos en Zonas de Sabana" (CIAT, 1981) y el libro "Recomendaciones generales para el establecimiento y mantenimiento de pastos en la zona de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia" (Spain, 1983).

MANTENIMIENTO

1. Comience el pastoreo temprano pero en forma flexible, para prevenir la acumulación excesiva de cualquiera de los dos componentes.
En general, es más fácil controlar mediante el pastoreo un exceso de gramínea que de leguminosa.
2. Ajuste la carga para asegurar una buena cobertura de todo el suelo por el pasto y el rastrojo que va acumulando a través del tiempo.
3. Ajuste su sistema de pastoreo para asegurar un buen balance entre gramínea y leguminosa. En suelos que son estructuralmente estables (la mayoría de los Ferralsoles), el pastoreo continuo o con períodos de descanso cortos favorece a la gramínea; los períodos más largos de descanso favorecen a la leguminosa. En ecosistemas con estaciones marcadamente secas y largas, conviene dejar que se acumule un forraje con mayor proporción de leguminosa hacia finales de la época de lluvias. Si todo el forraje es consumido durante la estación seca, es importante dejar descansar brevemente el potrero al comienzo de la siguiente estación lluviosa, cuando normalmente las fuentes alternativas de forraje están más disponibles.
4. Ajuste el sistema de producción para aprovechar al máximo las variaciones estacionales en la disponibilidad de forraje.
5. Aplique fertilizante de mantenimiento para reponer los nutrientes removidos en el producto, perdidos del sistema por lixiviación o erosión, y los que están inmovilizados en el suelo.

Parte III
ESTUDIOS DE CASO



El cultivo de frijol en Costa Rica: Clasificación y manejo de suelos

José F. Corella*

Resumen

En este artículo se describen los principales factores generales de suelos, su clasificación y aptitud para el cultivo de frijol y las condiciones físico-químicas que se requieren para el óptimo crecimiento del cultivo; así mismo se hacen algunos comentarios sobre el manejo de estos suelos con énfasis en la fertilización.

En la segunda parte se presenta una clasificación de los suelos basada en la topografía, origen y aptitud para el crecimiento adecuado del cultivo de frijol. En el mapa generalizado de suelos de Costa Rica se indican los que son aptos para el cultivo y se presenta además un cálculo de las áreas potenciales de suelos que existen en el país para el cultivo mencionado.

En la última sección se trata sobre el manejo de los suelos y algunas de las características físicas y de fertilidad que presentan los suelos aptos para el cultivo de frijol en Costa Rica, destacando los principales problemas de fertilidad. Por último, se hacen algunas recomendaciones sobre fertilización uno de esos grupos de suelos, con referencia al cultivo de frijol en Costa Rica.

Summary

In this article the author describes the soils' main general factors, classification and aptitude for common bean growing, and physical-chemical conditions that are required for the optimum growth of this crop; at the same time some comments are made about the management of these soils, emphasizing fertilization.

The second part of this work presents a soil classification

* Ing. Agrónomo. Dirección de Investigaciones Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.

based on topography, origin and aptitude for adequate growth of common bean.

The generalized soils map of Costa Rica indicates those soils which are suitable for this crop and also gives an estimate of potential areas that exist in the country for the above-mentioned crop.

The last section deals with soil management and some of the physical and fertility characteristics presented by soils suitable for common bean growing in Costa Rica, emphasizing principal fertility problems.

In conclusion, the author gives some recommendations concerning fertilization of one of these groups of soils, with reference to common bean cropping in Costa Rica.

INTRODUCCION

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), constituye el segundo entre los cultivos alimenticios de mayor consumo en Centroamérica así como en varios países de Suramérica y constituye la principal fuente de proteína en la dieta de gran parte de la población.

El frijol ocupa apenas el 0,4 por ciento del área potencial cultivable de América Tropical y su rendimiento promedio es de 0,65 toneladas por hectárea. Su bajo rendimiento se debe en gran parte a limitantes nutricionales de los suelos en que se siembra y al bajo nivel tecnológico utilizado en el cultivo.

El frijol se siembra en muchos tipos de suelos en América Latina con diversos problemas nutricionales. En América Central y el occidente de América del Sur, se produce por lo general en la zona montañosa en donde predominan los Andepts (suelos de cenizas volcánicas).

En regiones situadas entre cordilleras, el frijol se siembra en valles que se caracterizan por tener suelos aluviales de alta fertilidad. En muchas partes de Venezuela y Brasil la producción de frijol se lleva a cabo en Oxisoles y Ultisoles de baja fertilidad, más bien ácidos.

Con el presente trabajo se intenta dar una visión de los principales problemas de suelos que se presentan al cultivo de frijol en Costa Rica y brindar además algunas recomendaciones sobre el manejo de los mismos.

FACTORES GENERALES DE LOS SUELOS

En Costa Rica el frijol se cultiva en diferentes tipos de suelos con diversas deficiencias o toxicidades nutricionales que pueden limitar el desarrollo de la planta y su rendimiento. En Costa Rica el frijol se produce en la zona montañosa, en donde predominan los suelos de origen volcánico (Andepts); también en la zona de piedemonte (Tropepts, Humults), en

suelos aluviales (Tropepts, Ustolls, Udolls) y en otra gran diversidad de suelos (Humults). Las deficiencias de fósforo y nitrógeno son las más frecuentes, aunque también las carencias de elementos menores y la toxicidad de aluminio y manganeso, que pueden restringir considerablemente los rendimientos en ciertas áreas.

La mayoría de los autores coinciden en indicar que el cultivo del frijol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica. En relación con la textura del suelo también se coincide en que las más adecuadas son las texturas medias a moderadamente pesadas.

El frijol requiere suelos con buena aireación y drenaje, ya que es un cultivo que no tolera suelos compactos, poca aireación y acumulaciones de agua.

El pH óptimo para producir frijol fluctúa entre 6,5 a 7,5; dentro de este límite la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera un pH hasta de 5,5 aunque debajo de ese límite presenta generalmente síntomas de toxicidad por aluminio, por manganeso o por ambos elementos. Cabe destacar que Costa Rica tiene grandes extensiones de terreno (53,1% de los suelos) con un pH inferior a 6,5.

El exceso de sales de sodio disminuye la asimilación de nutrimentos por la planta; además, dispersa los minerales arcillosos del suelo, entorpeciendo por tanto el drenaje. El frijol tolera un porcentaje máximo de saturación de sodio de 8 a 10 por ciento y una conductividad eléctrica hasta de 1 mmhos/cm; por encima de estos niveles los rendimientos disminuyen significativamente.

CLASIFICACION Y APTITUD DE LOS SUELOS PARA EL CULTIVO DE FRIJOL EN COSTA RICA.

Los suelos de las zonas frijoleras de Costa Rica presentan grandes diferencias en los caracteres físico-químicos y por tanto en su manejo.

En la Figura 1 se presenta el mapa generalizado de suelos compilado por el Ing. Alexis Vásquez M., sobre el cual se ha superpuesto el mapa ecológico del cultivo de frijol en Costa Rica y el mapa de las principales zonas productoras de frijol en el país.

De las zonas que cumplen los requerimientos ecológicos para la producción de frijol se eliminaron los suelos mal drenados (Saprist, Hemist, Aquepts, Aquepts), de texturas pesadas (Usterts, Uderts) y los suelos de poco desarrollo (Orthents).

Por último se calculó el área a los suelos seleccionados y se elaboró el Cuadro 1, utilizando como base la descripción del mapa generalizado de suelos de Costa Rica hecho por Vásquez; en el Cuadro 1, además del área, se presentan otros aspectos como

SIMBOLOGIA Y LEGENDA

RELIEVE PLANO	A-1	Suelos aluviales, bien drenados (Udolls, Ustolls, Tropepts)
	A-2	Suelos aluviales moderadamente drenados (Tropepts, Aquepts)
	A-3	Suelos aluviales, mal drenados (Aquepts)
	A-4	Suelos aluviales muy mal drenados (Aquepts)
	A-5	Suelos pantanosos (Aquepts)
	A-6	Suelos aluviales, excesivamente drenados (Psamments)
	A-7	Suelos de origen fluvio-lacustre, de texturas muy pesadas (Usterts-Uderts)
	A-8	Suelos orgánicos, mal drenados (Saprist-Hemist)
	B-1	Suelos coluvio-aluviales, ligeramente ondulados (Tropepts)

RELIEVE ONDULADO	B-2	Suelos volcánicos de relieve suavemente ondulado (Andepts)
	B-3	Suelos formados a partir de tobas volcánicas suavemente ondulados a planos (Tropepts)
	B-4	Suelos coluvio-aluviales, muy meteorizados suavemente ondulados (Ustults, Tropepts)
	B-5	Suelos desarrollados sobre terrazas antiguas disectadas, de relieve suavemente colinado (Humults, Udults)
	RELIEVE MUY ONDULADO A ONDULADO	C-1
C-2		Suelos residuales, de relieve colinado (Tropepts-Humults)
RELIEVE COLINADO O MONTAÑOSO	D-1	Suelos volcánicos, en relieve montañoso (Andepts, Humods)
	D-2	Suelos residuales, de relieve muy escarpado (Humults, Ustults, Tropepts)
	D-3	Suelos muy erodados y/o poco profundos, en relieve montañoso (Orthents)

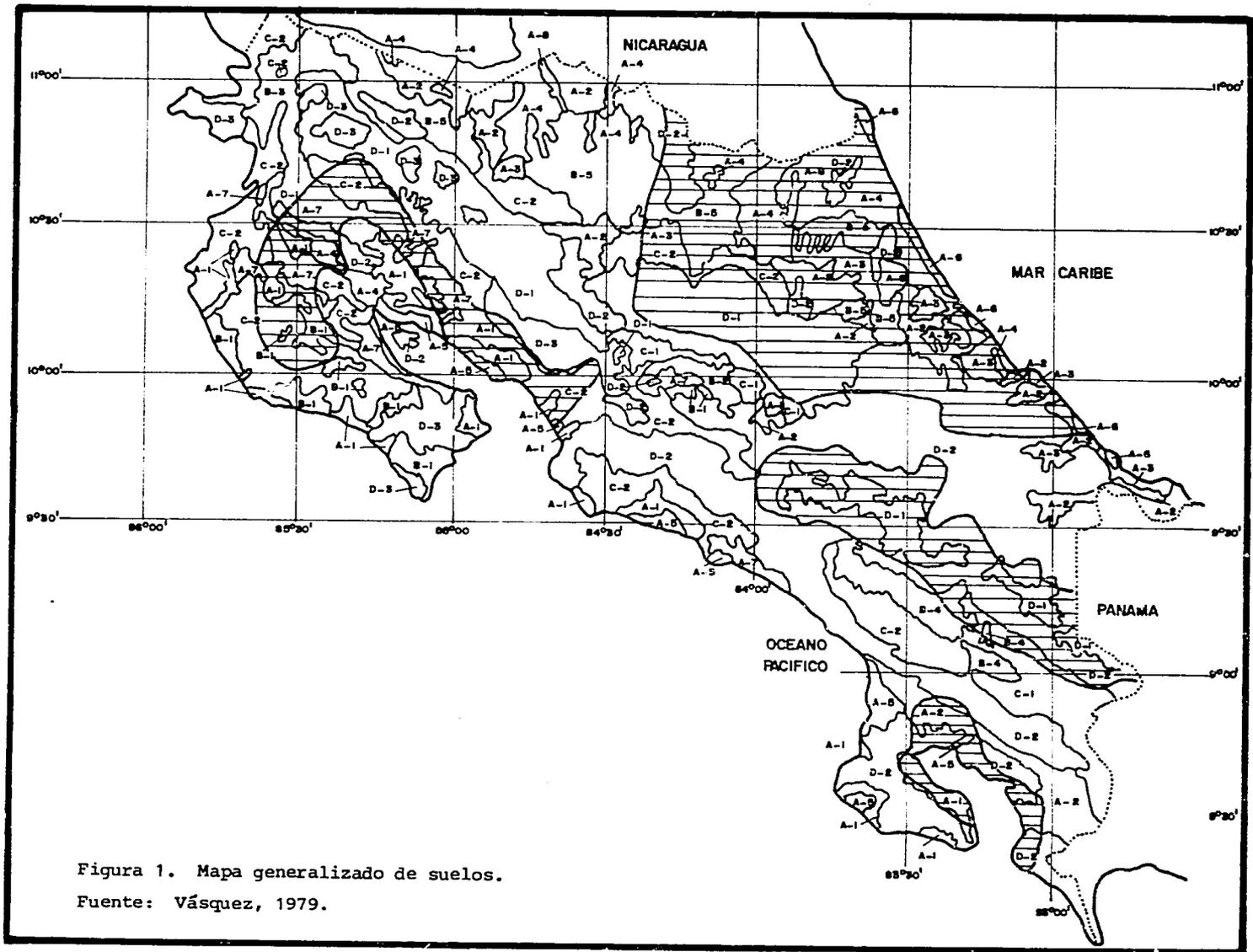


Figura 1. Mapa generalizado de suelos.

Fuente: Vásquez, 1979.

Cuadro 1. Area potencial de suelos con aptitud para el cultivo de frijol común en las diferentes zonas de Costa Rica*.

Tipo y clase de suelo	Pendiente %	Fertilidad dcl suelo	Aptitud para el cultivo	Pacífico Norte km ²	Pacífico Sur km ²	Valle Central km ²	Zona Norte km ²	Zona Atlántica km ²	Area total km ²
Aluvial bien drenado (Udolls, Ustolls, Tropepts) Clase II	0-3 %	Alta	Apto.	716,80	614,40	12,80	--	--	1344,0
Aluvial moderadamente drenados (Tropepts) Clase II-III	0-3 %	de media a alta	Apto.	----	716,80	25,60	1100,80	53,90	1897,10
Coluvio-aluvial (Tropepts) Clase III	3-10 %	de media a alta	Apto.	110,080	----	89,60	---	---	199,68
Volcánicos (Andepts) Clase II	3-15 %	media	Apto	----	----	307,20	----	----	307,20
Volcánico, formado a partir de tobas volcánicas (Tropepts) Clase VI	3-15 %	baja	Mod apta	522,0	----	----	122,0	----	644,0
Coluvio-aluvial antiguo (Ustulsts, Tropepts. Clase III-VI	3-15 %	baja	Mod apta	----	896,0	----	----	----	896,0
Formado en terrazas antiguas, erodadas (Humulsts, Ustulsts) Clase VI	3-15 %	baja	Mod apto	----	-----	-----	2 355,20	----	2355,20

Continúa ...

Continuación Cuadro 1. Area potencial de suelos con aptitud para el cultivo de frijol

Tipo y clase de suelo	Pendiente %	Fertilidad del suelo	Aptitud para el cultivo	Pacífico Norte km ²	Pacífico Sur km ²	Valle Central km ²	Zona Norte km ²	Zona Atlántica km ²	Area total km ²
Volcánico (Andepts) Clase III	15-30 %	media	Mod. apta	----	1100,80	332,80	---	----	1433,60
Residual (Humults, Ustults) Clase VI	30-80 %	baja	poco apta	2476,0	1171,0	403,0	663,0	----	4683,0
Volcánica (Andepts) Clase VI	30-80 %	de media a baja	poco apta	122,0	----	115,0	757,0	41,0	1015,0
Residual (Ustults, Humults) Clase VI	40-80 %	baja	poco apta	----	992,0	1727,0	204,0	550,0	2187,0
Total km ²				3946,88	5491,0	1727,0	5152,0	644,9	16 962,0

* Con las variedades en uso en 1983.

aptitud para el cultivo, fertilidad del suelo y pendiente.

A continuación se presenta una clasificación de los suelos en relación con su topografía, origen y su aptitud para el cultivo.

Suelos de relieve plano (0 a 3 % de pendiente)

Suelos aluviales bien drenados. Estos suelos son profundos, oscuros, fértiles, planos, ricos en materia orgánica, friables y de textura media. Entre ellos se encuentran los Mollisoles (Udolls, Ustolls). Son excelentes para el cultivo del frijol.

Suelos aluviales moderadamente drenados. Son de color pardo, arcillosos, planos, moderadamente fértiles y susceptibles a inundarse ocasionalmente. El cultivo se adapta bien a estos suelos a menos que se presenten problemas de drenaje. Se clasifican como Inceptisoles (Tropepts, Aquepts).

Suelos de relieve ondulado

Suelos de origen coluvio-aluvial. Son de relieve ligeramente ondulado, bien drenados, profundos, de texturas medias a moderadamente pesadas, moderadamente fértiles, de colores parduscos.

Se clasifican como Inceptisoles (Tropepts). Presentan pendientes del 3 al 10 por ciento. Son aptos para el cultivo de granos básicos.

Suelos formados a partir de cenizas volcánicas. Son de relieve suavemente ondulado, bien drenados, profundos, de colores oscuros, ricos en materia orgánica, de texturas medias, friables, moderadamente fértiles. Se clasifican como Inceptisoles (Andepts). Tienen pendientes del 3 al 15 por ciento. El frijol se adapta bien a estos suelos.

Suelos formados a partir de tobas volcánicas. Son suelos de relieve plano a suavemente ondulado, de moderadamente a poco profundos, de colores parduscos, de texturas medias a moderadamente livianas, con bueno a excelente drenaje, pero poco fértiles. Poseen pendientes del 3 al 15 por ciento. Son medianamente aptos para el cultivo de frijol, ya que requieren un manejo intensivo en aspectos de fertilización. Se clasifican como Inceptisoles (Tropepts).

Suelos formados de materiales Coluvio-aluvial antiguos. Son de relieve suavemente ondulado. Se presentan en áreas de piedemonte disectadas longitudinalmente, muy meteorizados. Son bien drenados, profundos, de color rojo, de textura arcillosa, poco fértiles. Presentan pendientes del 3 al 15 por ciento.

Moderadamente aptos para el cultivo de frijol, ya que necesitan un manejo cuidadoso en la aplicación de enmiendas y de fertilización. Se clasifican como Ultisoles (Udults) e Inceptisoles (Tropepts).

Suelos desarrollados sobre terrazas antiguas erodadas. Presentan un relieve desde suavemente ondulado hasta lomeríos bajos; con textura pesada y poco fértiles. Son profundos, de drenaje externo ligeramente excesivo, de color rojizo; con pendientes del 2 al 20 por ciento. Son moderadamente aptos para el cultivo de frijol, necesitan un manejo intensivo en los aspectos de abonado y enmiendas. Se clasifican como Ultisoles (Humults y Udults).

Suelos de relieve muy ondulado a colinado.

Suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas. Son de relieve muy ondulado. Profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica, de colores oscuros, de texturas medias, friables, moderadamente fértiles. Presentan pendientes de 115 a 130 por ciento; son moderadamente aptos para el frijol. Se clasifican como Inceptisoles (Andepts).

Suelos residuales, de relieve colinado. Son suelos moderadamente profundos, muy erodados, de color pardo rojizo de texturas medias a pesadas, poco fértiles. Son de drenaje externo excesivo. Tienen pendientes del 15 al 40 por ciento. El cultivo del frijol sólo se recomienda sembrarlo bajo el sistema de tapado; de lo contrario se necesitarían obras de conservación de suelos de alto costo. Además estos suelos necesitan manejo cuidadoso en aspectos de fertilización. Se clasifican como Inceptisoles (Tropepts) y Alfisoles (Ustalfs).

Suelos de relieve muy colinados a montañoso

Suelos formados a partir de cenizas volcánicas. Son de relieves montañosos. Oscuros, profundos, ricos en materia orgánica, de texturas medias, moderadamente fértiles. Son de excelente drenaje. Presentan pendientes del 30 al 80 por ciento o más. El cultivo del frijol debe sembrarse bajo sistemas de tapado, de lo contrario se deben efectuar obras de conservación de suelos. Se clasifican como Inceptisoles (Andepts) y Espodosoles (Humods).

Suelos residuales. Son de relieve muy escarpado, de profundos a superficiales, con excesivo drenaje interno. Son de colores rojizo, texturas pesadas, muy poco fértiles y presentan fuertes síntomas de erosión. Tienen pendientes del 40 al 80 por ciento o más. De uso restringido en el frijol, la siembra

de este cultivo se debe hacer solo con el sistema de tapado; de no ser así, se deben realizar obras costosas de conservación de suelos. Además, se deben de aplicar las enmiendas y prácticas adecuadas de abonado. Se clasifican como Ultisoles (Udults y Ustults) e Inceptisoles (Tropepts).

MANEJO DE SUELOS

En esta sección se hacen algunas observaciones sobre el manejo de suelos en Costa Rica; también se comentan las principales características físicas de algunos de los suelos antes mencionados. Como se podrá observar, se da mayor énfasis a los aspectos de fertilidad de suelos por ser éstos los más limitantes para la producción de frijol.

No hay que olvidar que el potencial de producción del cultivo de frijol depende de varios factores: a) el potencial genético del cultivar sembrado; b) la productividad del suelo, que es el factor del cual se analizan ciertos aspectos en este trabajo; c) las condiciones climáticas; y d) el nivel tecnológico aplicado por parte del agricultor.

En tanto todos los factores anteriores sean satisfechos o no, se espera una mayor o menor productividad del cultivo. Por esto es conveniente resaltar que el suelo es sólo un factor en el cultivo, y que no se pueden esperar altos rendimientos con sólo subsanar este aspecto, si se descuidan los demás factores de producción.

Características físicas de los suelos

Las buenas propiedades físicas de los suelos son responsables del adecuado transporte de aire, agua y sustancias solubles a través del suelo.

Dentro de los suelos de Costa Rica los Andepts presentan excelentes condiciones físicas. Muchos Ultisoles y Alfisoles son susceptibles a la erosión debido a las pendientes en que se encuentran. Otros suelos con características físicas menos deseables son los Aquepts, Psamment, Orthent, entre los principales.

Estructura. Los diferentes suelos presentan mucha variación en la estructura; los Ultisoles y Alfisoles con revestimientos de sesquióxidos presentan una estructura muy buena, debido a que las partículas primarias están unidas en gránulos muy estables.

Su alta estabilidad se debe al alto contenido de arcilla y a su cementación o revestimiento con óxidos amorfos de Fe y Al. Otros aspectos importantes en la estabilidad de la estructura de los Ultisoles y Alfisoles, son su alto contenido de materia orgánica y la plasticidad de las arcillas, que les permite retener humedad.

Los *Andepts* tienen una estructura muy estable, su alto contenido de materia orgánica está íntimamente asociada con la alofana y la mezcla amorfa de óxidos de sílice y aluminio. Los *Andepts* generalmente tienen una densidad aparente baja, debido a su alto contenido de materia orgánica y a la alta porosidad.

Los *Mollisoles* son suelos que presentan una excelente estructura, lo que les facilita la penetración radical, retención de humedad y el buen drenaje.

Los *Tropepts* presentan una buena estructura, aunque no tan estable como la de los anteriores. Ofrecen resistencia al adecuado desarrollo radicular de algunos cultivos y su estructura varía de bloosa subangular bien desarrollada a poco desarrollada.

Por último están los suelos que presentan una estructura de regular a deficiente; algunos de ellos se encuentran entre los *Tropepts*, los *Aquepts*, los *Histosoles*, los *Psamment*, *Orthents*, y los *Aquepts*.

Retención de humedad. Es la capacidad de los suelos de retener agua para permitir el adecuado crecimiento de los cultivos.

Los *Andepts* poseen características únicas de retención de humedad, pues retienen considerablemente más agua a tensiones bajas que los otros suelos, debido a su mayor porosidad y al menor tamaño de los agregados estables; los *Mollisoles* también tienen una gran capacidad de retención de humedad debido a su excelente estructura granular.

Los *Ultisoles* y los *Alfisolos* con revestimientos de sesquióxidos parecen tener muy buenas propiedades de retención de humedad.

El resto de suelos presentan valores de retención de humedad muy variable, que va de muy buena a pésima (*Orthent*, *Psamment*).

Características de fertilidad de los suelos

Los diferentes suelos antes descritos se pueden clasificar en cuatro grupos, de acuerdo con el nivel de disponibilidad de nutrimentos aprovechables por la planta.

Grupo A. El primer grupo está formado por los suelos aluviales bien drenados (*Udolls*, *Ustolls* y *Tropepts*), suelos aluviales moderadamente drenados (*Tropepts*) y los suelos coluvio-aluviales ligeramente ondulados (*Tropepts*).

En estos suelos la disponibilidad de nutrimentos es variable; en los *Udolls* se presentan acumulaciones de materia orgánica en el horizonte superficial, el contenido de bases es

alto a medio; se consideran los suelos más fértiles del mundo. Otros suelos, como los Ustolls, generalmente presentan altos contenidos de materia orgánica y alta saturación de bases; en algunos de ellos se presenta baja disponibilidad de fósforo, alto contenido de calcio, deficiencia de manganeso y la inmovilización de cobre y zinc.

Los Tropepts presentan algunas veces contenidos insuficientes de fosfatos y zinc, aunque no se puede hacer una generalización al respecto.

Grupo B. El segundo grupo está formado por los suelos originados de cenizas volcánicas (Andepts). Estos suelos se desarrollan a partir de depósitos de cenizas volcánicas andesíticas o basálticas, con alto contenido de minerales meteorizables; presentan la formación de ácidos amorfos hidratados, que determinan problemas nutricionales como la alta fijación de fosfatos, boratos y molibdatos, quedando estos elementos poco disponibles para las plantas. Presentan también deficiencias de zinc.

El promedio de magnesio sobre el calcio puede presentarse debido a la descomposición de silicatos ferrimagnesianos de cenizas basálticas.

Grupo C. Este grupo está formado por los suelos coluvioaluviales muy meteorizados, suavemente ondulados (Ustults, Tropepts), por los suelos desarrollados sobre terrazas antiguas disectadas de relieve suavemente colinado (Humults, Udults) y por los suelos residuales de relieve colinado y muy escarpado (Tropepts, Humults, Ustults).

Los principales problemas nutricionales de estos suelos se deben a la baja capacidad de retención de cationes y a la elevada fijación de fosfato por los sesquióxidos de Fe y Al libres y Al componente arcilloso.

En síntesis, esos suelos presentan los siguientes problemas:

- Deficiencia de bases (Ca, Mg, K) e incapacidad para retener bases cuando se aplican como fertilizantes.
- Presencia de altas cantidades de aluminio intercambiable, elemento que es tóxico para muchas plantas y muy activo en la fijación de fosfatos.
- Presencia de manganeso libre, que es tóxico para la gran mayoría de las plantas.
- El pH es bajo (5,5)
- Fijación de fosfatos por sesquióxidos minerales
- Deficiencia de molibdeno; especialmente importante para el crecimiento de leguminosas.
- Deficiencias ocasionales de zinc.

Grupo D. El último grupo es el de los suelos formados a partir de tobas volcánicas, de relieve suavemente ondulado a plano (Tropepts). Estos suelos presentan una baja capacidad de retención de cationes, además son de contenidos insuficientes de fósforo, potasio, calcio, magnesio y zinc.

En el Cuadro 2 se presentan de manera sinóptica los principales problemas de fertilidad de suelos en Costa Rica; además se indica en qué órdenes de suelos se presentan.

Como se observa en dicho Cuadro, el comentario se hace para los principales macro y micronutrientes de las plantas cultivadas.

Recomendaciones de fertilización

Los requerimientos de fertilizantes para el cultivo de frijol se determinan preferiblemente a través de ensayos de campo en suelos representativos de cada región productora.

Los suelos de Costa Rica se pueden clasificar en cuatro grupos, de acuerdo con su fertilidad. A continuación se dan recomendaciones generales abonamiento para cada uno de ellos:

Suelos de baja fertilidad. Los suelos de este grupo se caracterizan por su bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico y el bajo contenido de bases (Ca+Mg+K < 5 meq/100 g de suelo); algunos muestran pH ácido y contenidos deficientes de fósforo.

Para estos suelos se recomiendan 4 ó 5 quintales por hectárea de 10-30-10 ó 12-24-12 a la siembra y 2 quintales por hectárea de nutrán a las 3 ó 4 semanas de siembra.

Suelos de fertilidad media. En este grupo se incluyen los suelos que presentan medianos contenidos de materia orgánica y fósforo. La suma de bases de aproximadamente de 5 a 10 meq/100 g de suelo; el pH mayor de 5,5 y la capacidad de intercambio catiónico media. Los niveles de abonamiento recomendados son los siguientes:

Dos quintales por hectárea a la siembra con alguna de las siguientes fórmulas:

20-7-12-3-1,2

8-5-15

15-9-15-2

17-4-20-5

Dos quintales por hectárea de nutrán a las 3 ó 4 semanas.

Suelos con problema de acidez. Estos suelos son de fertilidad baja, con un alto contenido de aluminio, de manganeso o de ambos elementos simultáneamente, pH ácido y alta fijación de fosfatos. Basándose en lo anterior, es conveniente aplicar la misma recomendación para los suelos de baja fertilidad pero, además, aplicar de 1,5 a 5 toneladas de Carbonato de Calcio, incorporado al suelo de 22 a 30 días antes de la siembra.

Suelos volcánicos. Estos suelos son de fertilidad media, pero presentan una alta fijación de fosfatos y algunos muestran deficiencias de zinc y boro. Debido a la alta capacidad de fijación se recomienda aplicar de 3 a 4 quintales por hectárea de 10-30-10 ó 12-24-12 a la siembra, y luego a las 3 ó 4 semanas dos quintales por hectárea de nutrán.

Otros aspectos de la fertilización del frijol

Fertilización foliar. En este campo se ha encontrado una respuesta positiva a la aplicación foliar de urea y de micronutrientes; en general se recomienda que la solución de urea no pase del uno por ciento y la de micronutrientes entre 0,5 a 1 por ciento; concentraciones mayores pueden causar pérdidas de área foliar.

Frijol tapado. En este sistema de cultivo se ha investigado poco hasta el momento; los resultados experimentales indican que se obtienen buenos rendimientos con la aplicación al voleo de 2 a 3 quintales por hectárea de 10-30-10 ó 12-24-12, a la siembra o a dos semanas de ésta.

Abonos orgánicos. El uso de estiércol de aves de corral en dosis de 4 a 6 toneladas por hectárea dió excelentes resultados; en suelos de baja fertilidad también se han obtenido buenos rendimientos con la adición de dos quintales por hectárea de 10-30-10 ó 12-24-12 a tres toneladas por hectárea de estiércol. También la incorporación de la rabiza, como abono verde, disminuye considerablemente el uso de nitrógeno (0,5 quintales/ha); por lo que se recomienda este tipo de prácticas para bajar costos.

NOTA: Multiplicar por 46 para pasar de quintales por hectárea a kg/ha.

Cuadro 2. Principales problemas de fertilidad en los suelos de Costa Rica.

Elemento	Tipo de suelo
Nitrógeno	Se considera que este nutrimento es deficiente en la mayoría de los suelos tropicales, en especial en suelos con bajo contenido de materia orgánica y en suelos ácidos (Ultisoles), con niveles tóxicos de Aluminio y Manganeso.
Fósforo	Es deficitario en todos los Ustalls, Humults y Andepts; también es deficiente en algunos Tropepts.
Potasio	Es deficiente en Ultisoles o en suelos con alto contenido de magnesio y arcillas 2:1 (Vertisoles).
Calcio	Su deficiencia se manifiesta en suelos ácidos (Ultisoles).
Magnesio	Su deficiencia se presenta en suelos de poca fertilidad y bajo contenido de bases; en suelos volcánicos con altos tenores de calcio y potasio, también en suelos fertilizados con cantidades excesivas de potasio y calcio por largos períodos de tiempo.
Azufre	Su contenido es insuficiente en suelos de poca fertilidad, en especial los Ultisoles.
Hierro	Su deficiencia se presenta en suelos orgánicos o en suelos con pH alto y presencia de carbonatos libres.
Zinc	Su deficiencia se presenta en suelos con pH alto; en suelos ácidos que han recibido altas cantidades de Cal y fósforo. También se presenta en Andepts y algunos Tropepts.
Manganeso	Su deficiencia se presenta en suelos orgánicos. En suelos minerales con pH alto. También se presenta en suelos ácidos sobre encalados. Su toxicidad se presenta en suelos ácidos o de cenizas volcánicas poco drenados y en suelos hidromórficos.
Cobre	Es deficiente en suelos pantanosos, orgánicos o muy arenosos. En Costa Rica la toxicidad se presenta en suelos que han sido sometidos a aplicaciones de productos cúpricos por períodos prolongados.
Boro	Su deficiencia se presenta en suelos aluviales con pH alto, contenido bajo de Boro-total, textura arenosa, bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de hierro y aluminio también en suelos volcánicos.

Continuación Cuadro 2. Principales problemas de fertilidad

Elemento	Tipo de suelos
Molibdeno	Su deficiencia se presenta en suelos volcánicos.
Aluminio	Su toxicidad se presenta en Ultisoles e Inceptisoles ácidos.

LITERATURA CONSULTADA

- AGUIRRE, J. y SALAS, J. Zonificación del cultivo de frijol en Centroamérica y Panamá. Turrialba (Costa Rica) 15(4):300-306. 1965.
- CARRONA, C., FLOR, C., MORALES, F. y PASTOR, M. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. 2 ed. Cali, Colombia, CIAT, 1982. 184 p.
- CORRELLA, J. Efecto de diferentes dosis de fertilizante (al suelo foliar), sobre el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un Typic Eutrocept de Costa Rica. s.n.t.
Documento presentado en: XXVIII Reunión Anual del PCCMCA, San José, Costa Rica, 1982.
- _____. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a la fertilización nitrogenada y fosfórica en el Typic Eutrocept de Costa Rica. s.n.t.
Documento presentado en: XXVIII Reunión Anual del PCCMCA, San José, Costa Rica, 1982.
- _____. Efecto de diferentes dosis de 10-30-10 al suelo y fuentes de abonado foliar en el rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) s.n.t.
Documento presentado en: V Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica, 1982. v. 1, 176 p.
- _____. Aspectos de fertilización del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica. s.n.t. 22 p.
Documento presentado en: Segundo Curso Intensivo de Capacitación del Frijol, San José, Costa Rica, 1983. (MAG/UCR/CIAT/FAO/IICA).
- _____. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno y fósforo en cinco ensayos de frijol en diversas localidades en el Cantón de Upala. s.n.t.
Documento presentado en: XXIX Reunión Anual del PCCMCA, Panamá, 1983.
- COSTA RICA. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. Algunos indicadores socioeconómicos por cantones. San José, 1975. 50 p.
- LEON, L. Características químicas y de fertilidad de los suelos tropicales de América Latina. Cali, Colombia, CIAT, 1980. 15 p.
Documento presentado en: Curso de Adiestramiento sobre Investigación de Eficiencia de Fertilizantes en los Trópicos, Cali, Colombia, 1980.

- MONTOYA, J., GARCIA, J. e ICAZA, J. Metodología para la zonificación ecológica de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Centroamérica. In Reunión Anual del PCCMCA, 17a., Panamá, 1971. /Actas de la mesa de frijol/. Guatemala, IICA, Zona Norte. Publicación Miscelánea no. 100. 1971. pp. 119-134.
- SANCHEZ, P. Suelos del trópico: características y manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA, 1981 634 p. (IICA: Serie de Libros y Materiales Educativos no. 48).
- SCHWARTZ, H. F. y GALVEZ, G. Problemas de producción del frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. Cali, Colombia, CIAT, 1980. 424 p.
- SPAIN, J. Ventajas y limitaciones de los suelos en los trópicos húmedos. s.n.t. 20 p.
Documento presentado en: Curso de Adiestramiento sobre Investigación de Eficiencia de Fertilizantes en los Trópicos, Cali, Colombia, 1980.
- VASQUEZ, M. Mapa generalizado de suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG/Dirección de Investigaciones Agrícolas/Unidad de Suelos, 1979. 15 p.

Distribución de cultivos en relación con subgrupos de suelos: Estudio de caso, Honduras

Richard Hawkins y Eduardo Vargas V.*

Resumen

El conocimiento de las condiciones en que se siembran diferentes sistemas de cultivos se ve como una necesidad para: a) establecer prioridades para la investigación con fines de mejorar los sistemas de producción, y b) definir dominios de recomendación para tecnología desarrollada. Este artículo muestra un método de manejar información de cultivos y de suelo para 'caracterizar' los sistemas de cultivos en cuanto a su ambiente edafológico. Para este análisis se usó el Sistema Comprensivo para el Inventario y Evaluación de Datos de Recursos (CRIES), superponiendo mapas de distribución de cultivos (por municipio) y de clasificación de suelos (según Soil Taxonomy), para definir la extensión de cada cultivo principal de acuerdo con los subgrupos de suelos en Honduras.

Los resultados muestran dos tipos de sistemas de cultivo principales: los dedicados a la producción de alimentos básicos para consumo interno de la finca, y aquellos dedicados al mercado de exportación. En general los cultivos para consumo interno se encuentran en todo tipo de suelo, grandes extensiones de los cuales (como los lithic Ostorhents) presentan serios problemas para el cultivo, mientras que los cultivos de exportación están concentrados en los suelos de mayor potencial.

Summary

Knowledge of the conditions in which different cropping systems are planted is regarded as a necessity in order to: (a) establish priorities for research with the purpose of improving

* Fisiólogo de Cultivos, Ph. D y Analista Programador, respectivamente. Departamento de Producción Vegetal y Centro de Cómputo, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

production systems, and (b) define the limits of recommendation for developed technology. This article presents a method for handling crop and soil information for characterization of cropping systems with regard to their edaphic environment.

This analysis used the Comprehensive Resource Inventory and Evaluation System, overlaying cropping systems distribution maps (by municipality) and soil classification maps (according to Soil Taxonomy) for defining the extension of each main crop in accordance with the soil subgroup in Honduras.

The results show two main types of cropping systems: those intended for production of basic food for local consumption on the farm, and those intended for the export market.

In general, crops for local consumption are spread externally across all types of soil, large extensions of which (such as the lithic Ustorthents) present serious problems for the crops, while the export crops are concentrated in soils of greater potential.

INTRODUCCION

La investigación con el fin de mejorar sistemas de producción agrícola requiere conocimiento de las condiciones en que operan esos sistemas de producción. Tal conocimiento permite la identificación de factores limitantes en la producción, el enfoque de la investigación y la selección de sitios representativos para llevarla a cabo. Además, la caracterización de las condiciones en que se realiza la investigación permite la definición del área donde se puedan aplicar los resultados. Esta área de aplicabilidad de los resultados puede incluir el área situada alrededor del sitio experimental (área objetivo primario), y también otras áreas similares fuera de la zona de interés original (áreas objetivos secundarios) (Den y Young, 1981; Beinroth *et al*, 1980). Esta transferencia de conocimiento o tecnología puede ayudar a evitar la duplicación y la investigación, y aumentar así la relación beneficio/costo; es ese un factor importante cuando se comparan las grandes extensiones de los trópicos, poco mencionadas por la investigación, y los pocos recursos disponibles para rectificar la situación existente.

Las condiciones pertinentes a la generación y transferencia de tecnología incluyen factores físico-biológicos y socio-económicos. Los primeros determinan la producción que se puede obtener, y los segundos la rentabilidad o deseabilidad de tal tecnología. El ambiente físico se puede describir a través del suelo y el clima; una apreciación de éstos es fundamental en el proceso de caracterización antes mencionado.

Durante años existieron varios sistemas de clasificación de suelos; los principales han sido descritos por Sánchez (1976). Por su comprensividad y objetividad, el sistema de clasificación descrito en el Manual de Taxonomía de Suelos (USDA, 1975), está siendo aceptado cada vez más como un lenguaje internacional para

describir suelos. Esa obra además de describir propiedades físicas y químicas de los suelos, incluye como criterios de clasificación la temperatura del suelo y el régimen de lluvia, y facilita así una gran parte de la información requerida para estimar el potencial de producción de algún cultivo en un suelo definido (Johnson, 1980).

La caracterización del ambiente en que se practican diferentes sistemas de cultivos implica la síntesis de dos tipos de datos: de cultivos y del ambiente. En un área relativamente pequeña, como el área objetivo de un programa de investigación y desarrollo de sistemas de producción, normalmente se utilizan mapas de suelos de la región, si existen, y datos secundarios (p. ej. censos agropecuarios), encuestas formales u observación directa (sondeo) para destacar los sistemas de cultivo más importantes del área. Muchas veces los dos tipos de datos simplemente se combinan a nivel del área, y se supone que los cultivos más comunes se siembran en los suelos más comunes. Esta suposición está facilitada en parte por la homogeneidad del área del proyecto, lo cual normalmente es un criterio para la selección o definición del área a estudiar. Para hacer el análisis más preciso, muchas veces se puede subdividir el área principal en dos o tres áreas más pequeñas, y en consecuencia más homogéneas, y luego describir los sistemas de producción de cada área (Zandstra, *et al.*, 1981).

A una escala más extensiva (a nivel de país o continente, por ejemplo) poco se ha hecho para caracterizar los cultivos predominantes de acuerdo con el tipo de suelo en que se encuentran. Sánchez y Cochrane (1980) describieron en términos generales los sistemas de producción en el trópico americano, en forma de clima y suelo a nivel de orden.

En años recientes, el uso de computadoras ha facilitado procesar grandes cantidades de información. Una aplicación de esto ha sido el manejo de datos geográficos. El trabajo descrito en esta presentación representa un intento de caracterizar sistemas de cultivo en cuanto a suelo, a nivel de país, utilizando información geográfica computarizada. Los objetivos principales del trabajo son: a) mostrar una metodología para caracterizar sistemas de producción en áreas extensas; y b) describir los sistemas de cultivo en Honduras, relacionados con la clasificación del suelo según Soil Taxonomy (USDA, 1975).

METODOLOGIA

La información de suelos se tomó de la recopilación hecha por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El mapa, a escala 1:1'000 000, fue preparado con base en la publicación de FAO (1969) sobre los suelos de Honduras, con referencia a transparencias de Landsat. El mapa del Servicio de Conservación de Suelos representa el estudio más actualizado a nivel de país, aunque ya existen mapas

más precisos y actualizados para la región Sur y para el Valle de Comayagua, preparados por el Programa de Catastro.

La información sobre el uso de tierra y cultivos se obtuvo del último Censo Agropecuario Nacional, que registra datos a nivel de municipio para todo el territorio hondureño. Este último censo se llevó a cabo en 1974 (Honduras, 1978).

La superposición de la información edafológica y agronómica se hizo utilizando el Sistema Comprensivo para el Inventario y Evaluación de Datos de Recursos (CRIES)*. El CRIES, elaborado en el Departamento de Desarrollo de Recursos en la Universidad del Estado de Michigan, EE.UU., consiste en un paquete de programas para crear y analizar bancos de datos geográficos con base en información de mapas. La información de recursos de la región centroamericana ha sido recopilada por el proyecto PIADIC (Programa de Información Agropecuaria del Istmo Centroamericano), con sede en el IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), San José, y ha sido descrito por Garro (1982). La transcripción de esos datos fue hecha con base en células de un kilómetro cuadrado.

Para estimar el área de cultivo en cada suelo se calculó la densidad de cada cultivo en cada municipio, dividiendo el área de cultivo por el área total del municipio. Luego se superpusieron el mapa de suelos y el mapa de divisiones municipales para crear un mosaico de combinaciones, y para cada unidad resultante se calculó el área de cultivo. Finalmente se ordenaron las unidades por tipo de suelo y se sumó el área total del cultivo.

RESULTADOS: PRINCIPALES SUELOS DE HONDURAS

De acuerdo con el mapa redactado por el Servicio de Conservación de Suelos, los órdenes de suelo en Honduras son Inceptisoles (34% del territorio nacional); Entisoles (33%), Ultisoles (22%), Mollisoles (11%) y Alfisoles (2%). Aproximadamente 72 por ciento de la extensión del país está compuesta por los seis subgrupos siguientes:

Lithic Ustorthents (21% de la extensión nacional)

Estos suelos son representados en gran parte por la serie Ojojona de Simmons, pero incluyen también las series Coyolar, Coray y Cocona. Son derivados de rocas ígneas y acídicas y de rocas metamórficas, y se encuentran en terreno accidentado o montañoso con perfiles pedregosos.

El suelo superficial, hasta una profundidad de unos 10 cm,

* Sigla de su nombre en inglés: Comprehensive Research Inventory and Evaluation System (nota del editor).

es franco arenoso muy fino a franco limoso, pardo grisáceo-oscuro, friable. La reacción es ligeramente ácida con un pH de aproximadamente 6,3. El subsuelo hasta una profundidad de 20 ó 30 cm es franco limoso a franco arcilloso, friable, pardo amarillento. La reacción es fuerte o medianamente ácida de un pH de 5,5 aproximadamente. El espesor hasta la roca madre viva varía grandemente, pues en muchos lugares ésta es variable, pero hay pequeñas áreas donde dicho espesor es de un metro.

Los suelos Lithic Ustorthent en Honduras generalmente se encuentran a alturas mayores de 500 m y tienen una temperatura media anual entre 14°C y 24°C (la temperatura media mensual no varía más de 4°C).

Los suelos están localizados en áreas donde los datos del promedio de precipitación mensual indican una estación lluviosa bien definida de unos 5 a 7 meses, por lo cual han sido definidos como Ustorthents. Sin embargo, es posible que en muchos años no se disponga de agua suficiente para el crecimiento de cultivos por más de 90 días acumulativos, debido a la irregularidad de lluvia de año a año y la poca retención de agua de estos suelos (como muchas de las clasificaciones climáticas, el sistema de Soil Taxonomy no incluye estipulación para regiones de lluvia muy variable entre diferentes años).

Los factores más limitantes para la explotación de los suelos Lithic Ustorthents en Honduras son la poca retención de agua y el alto peligro de erosión. Por estas razones el suelo generalmente pertenece a la clase VII (con inclusiones de V - VIII) de capacidad agrológica, o apto principalmente para bosques o pastos extensivos.

Typic Tropohumults (19% de la extensión nacional)

Estos suelos se encuentran en terrenos montañosos o accidentados y son derivados principalmente de rocas ígneas y metamórficas. Incluyen algunos suelos derivados de coluvión en áreas con pendientes más ligeras. En la clasificación de Simmons los suelos pertenecen principalmente a la serie Tomolá y, en menor grado, a la Naranjito.

El suelo superficial, hasta una profundidad de unos 10 ó 20 cm, es franco-limoso o franco-arcilloso-limoso, friable, pardo amarillento a pardo oscuro. La reacción es fuertemente ácida, con pH de 5,0 aproximadamente. El subsuelo, hasta una profundidad de unos 60 cm es franco arcilloso a arcilloso, friable, pardo rojizo a pardo amarillento, y en algunos lugares tiene fragmentos de roca. La reacción, con un pH de 5,0 es fuertemente ácida. Debajo hay roca meteorizada cuya composición varía de esquiste a gneiss, con algunas inclusiones de mármol y cuarcita. En ciertas partes el suelo es poco profundo y, especialmente cuando la roca madre es gneiss, la textura del suelo superficial es franco-arenosa. En algunas partes los suelos son lícitos.

Estos suelos se encuentran en el norte del país, donde existe un clima húmedo, el régimen de disponibilidad de agua según Soil Taxonomy es principalmente "udic" llegando a una transición con "ustic" en algunas partes. El régimen de temperatura es "isohyperthermic"; es decir, con temperatura media anual de 22°C o mayor, con variación mensual menor a 5°C.

Por su pendiente, el factor limitante principal a la explotación de estos suelos es el peligro de erosión; pertenecen a las clases IV-VII de capacidad agrológica.

Lithic Dystropepts (11% de la superficie nacional)

Estos suelos también se encuentran con relieve principalmente montañoso, pero con algunas pocas áreas de inclinación menos fuerte en alturas menores, derivados de roca ígnea o metamórfica. En la clasificación de Simmons los suelos pertenecen a la serie Jacaleapa y, en menor grado, a la serie Orica.

Los suelos Jacaleapa tienen un suelo superficial hasta una profundidad de unos 15 cm, franco arenoso muy fino a franco limoso friable, pardo oscuro a pardo muy oscuro, con pH de 5 a 5,5. El subsuelo, donde ha llegado a formarse, alcanza una profundidad de unos 25 cm, es franco-arcilloso, amarillo rojizo, con pH de 5,5 a 6, pero en la mayor parte del área de este suelo los fragmentos de roca constituyen más del 75 por ciento de la masa. Debajo hay una roca viva que en la mayor parte de los lugares está rota o fragmentada, desde pizarra y areniza metamórficas hasta gneiss o roca volcánica.

Los suelos Orica tienen un suelo superficial hasta una profundidad de 10 cm, franco-arenoso suelto, con grava y micáceo, gris pardusco y pH de 4,5 a 5,0. Debajo y hasta una profundidad de unos 25 cm se encuentra un suelo franco-arenoso suelto, rojizo claro, con pH 4,5 a 5,0 con grava y micáceo, que constituye frecuentemente más del 50 por ciento de la masa.

Los suelos en este subgrupo tienen régimen de lluvia tipo "ustic" y se clasifican como Lithic Dystropepts y no Lithic Ustropepts, porque el último requiere una saturación de bases de 50 por ciento en adelante, lo cual es poco probable en estos suelos.

Las limitaciones más notorias de estos suelos son su poca fertilidad y el alto peligro de erosión. Pertenecen a la clase de capacidad agrológica de VII - VIII.

Lithic Haplustoll (9% de la extensión nacional)

Estos suelos son formados sobre caliza o mármol en gran parte dolíticos. Tienen relieve escarpado o accidentado y son frecuentes los afloramientos rocosos y los precipicios.

El suelo superficial, hasta una profundidad de 20 a 30 cm, es una arcilla pardo-oscuro negra, dura en seco y adherente y

plástica en mojado. La reacción es neutra con un pH de 7 a 7,5. En algunas áreas la roca desnuda constituye más del 50 por ciento de la superficie. Hay algunos sitios donde el suelo es algo más espeso y se ha formado un subsuelo arcilloso pardorrojizo. En general estos suelos se parecen a los Lithic Rendolls que se encuentran en áreas más húmedas.

Estos suelos tienen una fertilidad elevada, pero alto peligro de erosión. Están clasificados como de clase IV - VIII según su capacidad de uso.

Typic Ustropept (8% de la extensión nacional)

Estos suelos incluyen dos grupos principales:

1. La mayoría de los suelos clasificados como Typic Ustropepts son derivados de aluvi6n viejo, en terrazas. La clasificaci6n se us6 como unidad para muchos valles en el lado occidental del pa6s, donde existe el r6gimen "ustic". En muchos casos los valles o depresiones han recibido grandes acumulaciones de las montañas que los rodean. Las formas de tierra resultantes consisten en tres partes, cuya proporci6n varía de valle a valle: Ustorthents, líticos o cascajos en los bordes en terrenos ondulados o accidentados; Ustropepts o Ustic Dystropepts, o una combinaci6n de los dos, en la parte intermedia y más extensa del valle entre el coluvi6n y las llanuras aluviales propias; y Typic Ustifluvents en la llanura aluvial propia. También bajo esta clasificaci6n se incluyeron algunos suelos en las llanuras aluviales situadas en la costa Pacífica, que contienen Typic Ustropepts y Vertic Ustropepts.
2. Una mayor parte de los suelos clasificados como Typic Ustropepts son derivados de rocas ígneas o metamórficas en tierras montañosas. Están asociados con los Lithic Dystropepts descritos arriba, pero son más profundos. Por la heterogeneidad, es difícil discutir en detalle sus capacidades y limitaciones. Los Typic Ustropepts en los valles son muchas veces los suelos más cultivados aunque una explotaci6n óptima requiere estudios más a nivel micro que el considerado aquí.

Tropic Fluvaquents (5% de la extensión nacional)

Estos suelos comprenden llanuras aluviales en el norte del pa6s.

La textura del suelo superficial, con profundidad de hasta 30 cm, es franco-arcilloso-limoso. Estos suelos son fértiles y aptos para el cultivo intensivo, una vez establecido el avenamiento adecuado. La clase de capacidad agrol6gica es la IV y, con buen avenamiento, I.

CULTIVOS PRINCIPALES Y SU LOCALIZACION EN CUANTO A SUELO

Pastos

Los pastos ocupan 13 275 km², o sea 50 por ciento de la superficie total explotada. De esta área, 8663 km² se explotan en forma de pasto cultivado, 3019 km² como pasto natural y 1593 km² como pasto mejorado. En general los pastos se encuentran en todo tipo de suelo, sin ninguna concentración en algún suelo específico (ver Cuadros 1 a 3); es decir, que la mayoría de los pastos están localizados en los suelos más comunes. Hay una tendencia hacia mayor concentración en los Lithic Ustorthents (especialmente en los pastos naturales) y menor en los Typic Tropohumults, pero no es muy pronunciada.

Los problemas asociados con el uso de estos suelos para pasto están principalmente relacionados con su baja capacidad de apacentamiento; en el caso de los Lithic Dystropepts por muy poca fertilidad, y en el caso de los Lithic Ustorthents por su baja producción en la época seca, que dura unos seis meses. Un problema en las áreas de época seca pronunciada (Lithic Ustorthents y Lithic Dystropepts) es el uso de fuego para mantener el pasto; esta práctica muchas veces deja el suelo desnudo al comienzo de las lluvias, cuando caen las lluvias más fuertes del año, y pueden provocar erosión elevada. En los climas más húmedos (Typic Tropohumult) hay producción durante el año, pero es más difícil controlar la maleza cuando no se usa fuego.

Granos básicos

Los granos básicos más importantes son el maíz (3178 km²), frijol (701 km²), sorgo (587 km²) y, en menor grado, arroz (146 km²).

El maíz y frijol están distribuidos por todo el país, situación que refleja su importancia en la dieta tradicional. La presencia de frijol muchas veces está vinculada con el maíz, por sembrar los dos cultivos asociados o sembrar el frijol en relevo después del maíz en postrera. Al igual que en el caso del pasto, hay una ligera tendencia para los Lithic Ustorthents para cultivar maíz y frijol. Más del 50 por ciento de la extensión de maíz y frijol está en los tres subgrupos líticos: Lithic Ustorthent, Lithic Dystropept y Lithic Haplustoll (ver Cuadros 4 y 5). La limitación más obvia de estos suelos es su poca profundidad y capacidad de retención de agua, especialmente en los Lithic Ustorthents, en los cuales el régimen de lluvia es muy errático. La fertilidad de los Lithic Dystropept es poca, pero la de los Lithic Haplustoll es elevada, lo que constituye un incentivo para cultivar este suelo. En casi todos los suelos donde se cultiva maíz y frijol existen pendientes severas, lo cual implica un peligro severo de erosión. Este peligro es

Cuadro 1. Areas de cultivo en pastos naturales por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	4,70	0,01	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	59,94	0,04	0,01
Ultic Haplustalf	161	7,87	0,04	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	107,23	0,02	0,03
Typic Hydraquent	3 185	59,35	0,01	0,01
Aquic Tropofluent	121	4,09	0,03	0,00
Typic Ustifluent	1 427	23,46	0,04	0,02
Aquic Ustifluent	242	6,56	0,02	0,00
Lithic Ustorhenth	23 384	1 034,23	0,04	0,34
Psamments	783	6,66	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	17,65	0,03	0,00
Typic Distrandept	3 462	157,48	0,04	0,05
Lithic Eutropept	3 617	141,86	0,03	0,04
Typic Ustropept	8 936	243,52	0,02	0,08
Ustic Dystropept	2 738	58,42	0,02	0,01
Aquic Dystropept	1 806	2,69	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	6,97	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	257,92	0,02	0,08
Lithic Rendoll	1 848	41,26	0,02	0,01
Lithic Haplustoll	10 093	261,31	0,02	0,05
Umbric Tropaquult	1 797	2,73	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	317,89	0,01	0,10
Ustic Tropohumult	1 705	119,78	0,07	0,03
Typic Tropofluent	2 498	25,69	0,01	0,00
	112 469	3 019,26		

Cuadro 2. Areas de cultivo en pastos naturales mejorados por tipos de suelo en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	8,68	0,03	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	25,80	0,02	0,01
Ultic Haplustalf	161	3,02	0,01	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	34,84	0,01	0,02
Typic Hydraquent	3 185	20,56	0,00	0,01
Aquic Tropofluvent	121	0,45	0,00	0,00
Typic Ustifluvent	1 427	28,54	0,02	0,01
Aquic Ustifluvent	242	8,21	0,03	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	476,69	0,02	0,29
Psamments	783	0,81	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	12,42	0,02	0,00
Typic Dystrandept	3 462	68,37	0,01	0,04
Lithic Eutropept	3 617	10,80	0,00	0,00
Typic Ustropept	8 936	172,78	0,01	0,10
Ustic Dystropept	2 788	49,42	0,01	0,03
Aquic Dystropept	1 806	0,06	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0,12	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	270,83	0,02	0,15
Lithic Rendoll	1 848	25,44	0,01	0,01
Lithic Haplustoll	10 093	205,75	0,02	0,12
Umbric Tropaquult	1 797	0,05	0,00	0,12
Typic Tropohumult	10 819	116,59	0,00	0,07
Ustic Tropohumult	1 705	50,72	0,02	0,03
Typic Tropofluvent	2 498	2,34	0,00	0,00
	112 459	1 593,29		

Cuadro 3. Areas de cultivo en pastos cultivados por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	33,21	0,12	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	222,45	0,18	0,02
Ultic Haplustalf	161	17,39	0,10	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	308,65	0,05	0,03
Typic Hydraquent	3 185	209,09	0,06	0,02
Aquic Tropofluvent	121	16,74	0,13	0,00
Typic Ustifluent	1 427	307,01	0,21	0,03
Aquic Ustifluent	241	30,09	0,12	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	2 425,21	0,10	0,27
Psamment	783	23,44	0,02	0,00
Aeric Tropaquept	499	61,60	0,12	0,00
Typic Dystrandept	3 462	255,50	0,07	0,02
Lithic Eutropept	3 617	322,80	0,08	0,03
Typic Ustropept	8 936	882,84	0,09	0,10
Ustic Dystropept	2 788	198,51	0,07	0,02
Aquic Dystropept	1 806	1,05	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	5,01	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	1 028,81	0,08	0,11
Lithic Rendoll	1 848	152,68	0,08	0,01
Lithic Haplustoll	10 093	761,35	0,07	0,08
Umbric Tropaquult	1 797	1,16	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	985,37	0,04	0,11
Ustic Tropohumult	1 705	335,52	0,19	0,33
Typic Tropofluvent	2 498	77,50	0,03	0,00
	112 459	8 662,92		

Cuadro 4. Areas de cultivo en maíz por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	POPCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	9,7'	0,03	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	59,91	0,04	0,01
Ultic Haplustalf	151	11,12	0,06	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	105,57	0,61	0,03
Typic Hydraquent	3 185	72,88	0,02	0,02
Aquic Tropofluent	121	3,43	0,02	0,00
Typic Ustifluent	1 427	76,53	0,05	0,02
Aquic Ustifluent	242	11,89	0,04	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	1 059,85	0,04	0,22
Psamments	783	5,40	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	24,85	0,04	0,00
Typic Dystrandept	3 462	165,98	0,04	0,04
Lithic Eutropept	3 617	80,08	0,02	0,02
Typic Ustropept	8 936	295,35	0,03	0,09
Ustic Dystropept	2 788	88,78	0,00	0,00
Aquic Dystropept	1 806	0,81	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	1,87	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 327	323,03	0,02	0,10
Lithic Rendoll	1 848	49,53	0,02	0,01
Lithic Haplustoll	10 093	306,03	0,02	0,09
Umbric Tropaquult	1 797	0,78	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	290,31	0,01	0,09
Ustic Tropohumult	1 706	121,42	0,07	0,03
Typic Tropofluent	2 498	22,2i	0,00	0,00
	112 469	3 178,36		

Cuadro 5. Areas de cultivo en frijol por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	1,544	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	8,104	0,00	0,01
Ultic Haplustalf	161	4,469	0,02	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	12,545	0,00	0,01
Typic Hydraquent	3 185	4,426	0,00	0,00
Aquic Tropofluvent	121	0,325	0,00	0,00
Typic Ustifluvent	1 427	6,780	0,00	0,00
Aquic Ustifluvent	242	0,803	0,00	0,00
Lithic Ustorthernt	23 384	237,983	0,01	0,33
Psamments	783	0,618	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	6,582	0,01	0,00
Typic Dystrandept	3 462	37,712	0,01	0,05
Lithic Eutropept	3 617	14,195	0,00	0,02
Typic Ustropept	8 936	71,598	0,00	0,10
Ustic Dystropept	2 788	24,817	0,00	0,00
Aquic Dystropept	1 806	0,545	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	1,061	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	107,433	0,00	0,15
Lithic Rendoll	1 848	5,348	0,00	0,00
Lithic Haplustoll	10 093	78,403	0,00	0,11
Umbric Tropaquult	1 797	0,526	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	42,714	0,00	0,06
Ustic Tropohumult	1 705	29,273	0,01	0,04
Typic Tropofluvent	2 493	3,469	0,00	0,00
	112 469	701,277		

especialmente elevado al comienzo de las lluvias, debido a la práctica de quemar los residuos del cultivo anterior, o el monte cortado durante la época seca, que deja el suelo desnudo.

En el caso del sorgo, es interesante notar que un 70 por ciento de la superficie sembrada con este cultivo está en suelos Lithic Ustorthent (Cuadro 6). La razón para esta alta concentración del cultivo en este suelo es la resistencia a la sequía que tiene ese cultivo. Los sorgos que se cultivan en los Lithic Ustorthents son de tipo criollo, fotoperiódicos, y normalmente están sembrados como intercultivo con el maíz.

Los sistemas de maíz, frijol y sorgo muchas veces involucran una época de siembra seguida por una época de descanso, práctica que facilita el control de malezas.

Al igual que en el caso de maíz y frijol, el sorgo se puede considerar como un cultivo de subsistencia; la mayoría de los agricultores no venden nada de la producción (Díaz, 1982). Es dudoso que estos cultivos puedan ser rentables, dado los suelos descritos en que actualmente se cultivan. Además el uso de estos suelos para cultivos anuales no es sostenible por la erosión; al menos sin obras de conservación, que no justifican su inversión en el caso de granos básicos con los precios actuales.

En comparación con los granos ya descritos, el área de arroz es mucho menor. Tampoco es común ver el arroz sembrado en ladera, lo cual sí sucede con los otros granos. Gran parte del área de arroz está localizada en el norte del país, donde la lluvia es más confiable; esto se nota en la mayor concentración relativa de este cultivo sobre los Tropic Fluvaquents y Lithic Eutropepts (Cuadro 7). Dado que es un cultivo que muchas veces se encuentra en las pequeñas extensiones de terreno plano en los valles, es posible que la resolución no sea adecuada para caracterizarlo bien.

Café

El café ocupa unos 1003 km² del territorio de Honduras, es decir, es el cultivo más extensivo después del maíz.

Al igual que el maíz, el café se encuentra principalmente en las laderas con suelos de tipo Lithic Ustorthent, Lithic Haplustoll y Lithic Dystropept (Cuadro 8). Dado que es un cultivo perenne, el café representa un mejor uso de la tierra que los cultivos anuales desde el punto de vista del peligro de erosión. Otro factor que ayuda a conservar los suelos y también reduce la necesidad de fertilizantes es la presencia común de árboles de sombra. Igual que en los granos básicos, será difícil "tecnificar" el cultivo (menos sombra, más insumo), dados los suelos poco profundos que predominan (Según datos no publicados del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), se estima que un 34 por ciento del cultivo en Honduras se puede considerar como área tecnificada).

Cuadro 6. Areas de cultivo en sorgo por tipo de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	0,004	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	0,262	0,00	0,00
Ultic Haplustalf	161	11,157	0,06	0,01
Tropic Fluvaquent	5 335	0,226	0,00	0,00
Typic Hydraquent	3 185	29,200	0,00	0,04
Aquic Tropofluent	121	0,004	0,00	0,00
Typic Ustifluent	1 427	15,596	0,01	0,02
Aquic Ustifluent	242	1,013	0,00	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	408,998	0,01	0,69
Psamments	783	0,009	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	6,215	0,01	0,01
Typic Dystrandept	3 462	14,213	0,00	0,02
Lithic Eutropept	3 617	0,181	0,00	0,00
Typic Ustropept	8 936	67,968	0,00	0,11
U-ctic Dystropept	2 788	15,055	0,00	0,02
Aquic Dystropept	1 806	0,000	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0,000	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	9,481	0,00	0,00
Lithic Rendell	1 848	0,097	0,00	0,00
Lithic Haplustoll	10 093	5,913	0,00	0,01
Umbric Tropaquult	1 797	0,000	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	1,585	0,00	0,00
Ustic Tropohumult	1 705	0,152	0,00	0,00
Typic Tropofluent	2 498	0,028	0,00	0,00
	112 469	587,350		

Cuadro 7. Areas de cultivo en arroz por tipo de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	1,157	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	1,834	0,00	0,01
Ultic Haplustalf	161	0,503	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	12,838	0,00	0,08
Typic Hydraquent	3 185	7,110	0,00	0,04
Aquic Tropofluvent	121	0,197	0,00	0,00
Typic Ustifluent	1 427	3,692	0,00	0,02
Aquic Ustifluent	242	0,891	0,00	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	30,942	0,00	0,21
Psamments	783	0,764	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	0,315	0,00	0,02
Typic Dystrandept	3 462	3,086	0,00	0,02
Lithic Eutropept	3 617	11,555	0,00	0,07
Typic Ustropept	8 936	9,517	0,00	0,06
Ustic Dystropept	2 806	2,914	0,00	0,01
Aquic Dystropept	1 806	0,862	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	2,157	0,00	0,01
Lithic Dystropept	12 337	8,708	0,00	0,05
Lithic Rendoll	1 848	2,090	0,00	0,01
Lithic Haplustell	10 093	9,171	0,00	0,06
Umbric Tropaquult	1 797	0,874	0,00	0,20
Typic Tropohumult	20 819	29,908	0,00	0,20
Ustic Tropohumult	1 705	3,006	0,00	0,02
Typic Tropofluvent	2 498	2,874	0,00	0,01
	112 469	146,962		

Cuadro 8. Areas de cultivo en café por tipos de suelo en Honduras.

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO (ha)	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	5,31	0,02	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	23,63	0,01	0,02
Ultic Haplustalf	151	0,64	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	12,04	0,00	0,01
Typic Hydraquent	3 185	2,70	0,00	0,00
Aquic Tropofluent	121	0,03	0,00	0,00
Typic Ustifluent	1 427	0,35	0,00	0,00
Aquic Ustifluent	242	1,89	0,00	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	269,80	0,01	3,25
Psamments	783	0,17	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	3,92	0,00	0,00
Typic Dystrandept	3 462	72,81	0,02	0,07
Lithic Eutropept	3 617	4,27	0,00	0,00
Typic Ustropept	8 936	84,08	0,00	0,00
Ustic Dystropept	2 788	34,87	0,01	0,03
Aquic Dystropept	1 806	0,04	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0,14	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	156,01	0,01	0,15
Lithic Rendoll	1 848	16,76	0,00	0,01
Lithic Haplustoll	10 093	189,19	0,01	0,18
Umbric Tropaquult	1 797	0,05	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	57,99	0,00	0,05
Ustic Tropohumult	1 705	56,83	0,03	0,06
Typic Tropofluent	2 498	1,06	0,00	0,00
	112 459	1 003,48		

Caña

La caña ocupa unos 256 km² en Honduras, y aunque se encuentra difundida por todo el país, existen algunas concentraciones muy importantes. Por ejemplo, hay una explotación en el valle del río Ulua (municipio de San Pedro Sula) que tiene 24 km² de caña, otra en San Marcos (Santa Bárbara) con 25 km² del cultivo.

Esas concentraciones del cultivo hace impreciso el análisis (Cuadro 9), que está basado en el supuesto de que el cultivo está distribuido uniformemente por todo el municipio. En los tres casos mencionados, es probable que las extensiones del cultivo estén localizadas en áreas de buen suelo dentro del municipio; suelos Typic Tropofluvent en San Pedro Sula, Typic Ustifluvent en San Marcos y Typic Ustrocept o Typic Ustifluvent en Marcovia. Estos suelos aluviales son profundos, bien drenados y de alta fertilidad, muy aptos para la caña. Es interesante notar que esas ocho fincas representan el 30 por ciento de la extensión del cultivo en el país, y el 61 por ciento de la producción (Honduras, 1974).

Además de esas ocho fincas grandes, hay 17 608 otras más pequeñas, que también reportaron tener caña en 1974. En muchos casos ocupan los suelos menos productivos, como los Lithic Ustorthents, y tienen un rendimiento promedio de 18 t/ha (comparado con 71 t/ha en las fincas grandes). Es probable que el cultivo en estos suelos sea poco tecnificado, y mucha de la producción se destina a la fabricación de tapa de dulce para comercio local, y no para azúcar explotable.

Banano, plátano y otros guineos

Estos tres grupos de cultivos ocupan 188, 75 y 27 km² respectivamente; los bananos y plátanos en la región húmeda atlántica y los otros guineos más difundidos por todo el país.

El banano es principalmente un cultivo de exportación y altamente tecnificado. Unas 98 fincas (de un total de 5379) de tamaño mayor de 200 hectáreas corresponden al 75 por ciento del área del cultivo y 97 por ciento de la producción. Esas grandes fincas están localizadas en los municipios de Sabá, Sonaguera y Tocoa (del departamento Colón); Chioima (Cortés), y El Progreso y Olanchito (Yoró). Una sola finca en El Progreso, con 3333 hectáreas, cubre el 18 por ciento del área del cultivo y el 25 por ciento de la producción. El estudio de estos municipios muestra que tienen áreas de suelos Tropic Fluvaquent y Typic Tropofluvent; es en estos suelos aluviales, profundos, fértiles en llanura, donde existen las explotaciones de banano. Así, en el análisis mostrado en el Cuadro 10 se sobrestima la importancia de los otros suelos que también ocupan grandes áreas de estos municipios bananeros.

Cuadro 9. Areas de cultivo de caña por tipos de suelos en Honduras.

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO (ha)	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	254	1 048	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	4 460	0,00	0,01
Ultic Haplustalf	161	0 758	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	7 592	0,00	0,02
Typic Hydraquent	3 185	12 315	0,00	0,04
Aquic Tropofluvent	121	0 042	0,00	0,00
Typic Ustifluvent	1 427	23 127	0,01	0,08
Aquic Ustifluvent	242	0 085	0,00	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	69 721	0,00	0,25
Psamments	783	0 139	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	0 280	0,00	0,00
Typic Dystrandept	3 462	17 637	0,00	0,06
Lithic Eutropept	3 517	2 287	0,00	0,00
Typic Ustropept	8 936	29 586	0,00	0,11
Ustic Dystropept	2 788	5 666	0,00	0,02
Aquic Dystropept	1 806	0 206	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0 488	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	16 336	0,00	0,06
Lithic Rendoll	1 848	4 683	0,00	0,01
Lithic Hapludoll	10 093	29 423	0,00	0,11
Umbric Tropaquult	1 797	0 205	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	24 401	0,00	0,09
Ustic Tropohumult	1 705	9 168	0,00	0,03
Typic Tropofluvent	2 498	0 574	0,00	0,00
	112 459	259 429		

Cuadro 10. Areas de cultivo de banano por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO (ha)	AREA DE CULTIVO (ha)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	0,413	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	0,361	0,00	0,00
Ultic Haplustalf	151	0,055	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	25,274	0,60	0,13
Typic Hydraquent	3 185	0,952	0,00	0,00
Aquic Tropofluvent	121	0,451	0,00	0,00
Typic Ustifluent	1 427	21,493	0,01	0,11
Aquic Ustifluent	242	0,129	0,00	0,00
Lithic Usterthent	23 384	5,194	0,00	0,03
Psamments	783	0,754	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	0,195	0,00	0,00
Typic Dystrandept	3 452	0,917	0,00	0,00
Lithic Eutropept	3 617	30,240	0,00	0,16
Typic Ustropept	8 936	2,144	0,60	0,01
Ustic Dystropept	2 788	0,372	0,00	0,00
Aquic Dystropept	1 806	0,657	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	1,172	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	11,269	0,00	0,00
Lithic Rendoll	1 848	10,021	0,00	0,00
Lithic Haplustoll	10 093	4,885	0,00	0,02
Umbric Tropaquult	1 797	0,628	0,00	0,00
Typic Tropolumult	20 819	49,283	0,90	0,26
Ustic Tropolumult	1 705	0,931	0,00	0,00
Typic Tropofluent	2 498	11,538	0,00	0,06
	112 469	158,328		

El plátano es tradicionalmente un cultivo para consumo nacional, aunque en años recientes se ha visto un incremento en la exportación a mercados internacionales. Aunque la producción es generalmente en fincas de tamaño de 5 a 50 hectáreas, está concentrado todavía en pocos municipios; principalmente en Puerto Cortés (Cortés), El Negrito y El Progreso (Yoró). Igual que en el caso de banano, es probable que estas extensiones de plátano estén localizadas en suelos Tropic Fluvaquent, los otros suelos mostrados en el Cuadro 11 son de menor importancia que la calculada.

La clase de "otros guineos" se encuentra por todo el país, y no solamente en la región norte, como el banano y el plátano. Aunque no está bien definido en el censo agropecuario, se supone que "otros guineos" incluyen principalmente los tipos *Musa spp.*, que se utiliza principalmente para consumo dentro de la finca o para comercialización local y limitada. El genotipo de este guineo es del grupo ABB, y le otorga una resistencia a la sequía y condiciones adversas, comparado con el banano y el plátano (Simmons, 1966). Es esta resistencia la que explica la presencia predominante del cultivo en los suelos Lithic Ustorthent y Lithic Haplustalf (Cuadro 12). El cultivo está prácticamente ausente en los suelos como Tropic Fluvaquent y Typic Tropofluvent, donde se puede cultivar el referido plátano. A pesar de la resistencia de estos guineos es interesante notar que el rendimiento promedio reportado es de tres toneladas por hectárea, comparado con el de 43 toneladas por hectárea del banano.

DISCUSION

Existen en Honduras dos tipos de sistemas de cultivo principales: los dedicados a la producción de alimento básico para consumo interno de la finca y aquellos dedicados al mercado de exportación.

Los sistemas mencionados en primer lugar se basan en los granos básicos: maíz, frijol y sorgo. El maíz, especialmente, se cultiva en todo el país en los lugares donde hay población, en todo tipo de clima y suelo.

Para el cultivo distribuido uniformemente como el maíz, el análisis descrito en esta presentación probablemente refleja bien la localización del cultivo en cuanto al tipo de suelo.

Los cultivos de exportación, por ejemplo la caña de azúcar y el banano, son altamente tecnificados y se encuentran en pocas fincas. Por la alta concentración de estos cultivos en plantaciones compactas, muchas veces en las áreas relativamente pequeñas de suelo mejor, el análisis descrito aquí no caracteriza bien los suelos del cultivo a nivel nacional. Por otro lado, sin embargo, las grandes extensiones del cultivo son fáciles de localizar geográficamente y así se puede prever el suelo donde existen.

Cuadro 11. Areas de cultivo de plátano por tipos de suelos en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (ha)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	0,1153	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	0,1084	0,00	0,00
Ultic Haplustalf	161	0,0223	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	17,9745	0,00	0,23
Typic Hydraquent	3 185	1,3799	0,00	0,01
Aquic Tropofluvent	121	0,2517	0,00	0,00
Typic Ustifluvent	1 427	7,1581	0,00	0,09
Aquic Ustifluvent	242	2,4969	0,01	0,03
Lithic Ustorthent	23 384	6,4254	0,00	0,08
Psamments	783	0,6739	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	0,0549	0,00	0,00
Typic Dystrandept	3 462	0,9087	0,00	0,01
Lithic Eutropept	3 517	4,2605	0,00	0,05
Typic Ustropept	8 936	1,3125	0,00	0,01
Ustic Dystropept	2 788	0,3271	0,00	0,00
Aquic Dystropept	1 806	0,2646	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0,4869	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12 337	6,8511	0,00	0,09
Lithic Rendoll	1 848	3,0296	0,00	0,04
Lithic Haplustoll	10 093	1,7839	0,00	0,02
Umbric Tropaquult	1 797	0,2541	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	17,3158	0,00	0,23
Ustic Tropohumult	1 706	0,1825	0,00	0,00
Typic Tropofluvent	2 498	1,2861	0,00	0,01
	112 469	74,9347		

Cuadro 12. Areas de cultivo de guineo por tipos de suelo en Honduras

TIPO DE SUELO	AREA DE SUELO ha	AREA DE CULTIVO (%)	PORCENTAJE DE SUELO	PORCENTAJE DE CULTIVO
Lithic Tropudalf	264	0,2080	0,00	0,00
Lithic Haplustalf	1 228	0,4905	0,00	0,01
Ultic Haplustalf	161	0,1856	0,00	0,00
Tropic Fluvaquent	5 335	0,6619	0,00	0,00
Typic Hydraquent	3 185	0,5245	0,00	0,01
Aquic Tropofluent	121	0,0112	0,00	0,00
Typic Ustifluent	1 427	0,3139	0,00	0,01
Aquic Ustifluent	242	0,0480	0,00	0,00
Lithic Ustorthent	23 384	10,7856	0,00	0,39
Psamments	783	0,0482	0,00	0,00
Aeric Tropaquept	499	0,1063	0,00	0,00
Typic Dystrandept	3 462	2,1792	0,00	0,08
Lithic Eutropept	3 617	0,3825	0,00	0,01
Typic Ustropept	8 936	2,2085	0,00	0,08
Ustic Dystropept	2 788	0,6985	0,00	0,02
Aquic Dystropept	1 806	0,1478	0,00	0,00
Oxic Dystropept	4 134	0,1896	0,00	0,00
Lithic Dystropept	12337	1,6154	0,00	0,05
Lithic Rendoll	1 848	0,2007	0,00	0,00
Lithic Haplustoll	10 093	3,2763	0,00	0,12
Umbric Tropaquult	1 797	0,1351	0,00	0,00
Typic Tropohumult	20 819	1,5751	0,00	0,05
Ustic Tropohumult	1 705	1,0547	0,00	0,03
Typic Tropofluent	2 498	0,1921	0,00	0,00
	112 469	27,1297		

Los dos factores que limitan la exactitud del análisis son la precisión en la localización del cultivo (hecha aquí a nivel de municipio) y la fidelidad de la información cartográfica de suelos. Utilizando mapas de uso de tierra y de suelos más actualizados y de mayor escala que los usados aquí, un estudio del departamento de Choluteca realizado por la Universidad del Estado de Michigan (datos no publicados) mostró que la caña se sembró principalmente en dos asociaciones del suelo. Fluventic Haplustoll/Aquic Haplustoll (60% del área) y Typic Udifluent (23% del área). Estos suelos son los que fueron clasificados como Typic Ustropepts o Typic Ustifluvents por el Servicio de Conservación de Suelos de EE. UU.

Lo que sí muestra el análisis es la baja calidad de recursos de suelo en general que tiene Honduras. De acuerdo con un estudio hecho por la SIECA/AID (1969), aproximadamente el 28 por ciento de la superficie del país corresponde a llanuras (con pendientes menores de 10%): 18 por ciento a cerros (pendientes de 10 al 30%) y 54 por ciento a montaña (pendientes mayores de 30%). De ese 28 por ciento de llanura, alrededor de ocho por ciento consiste en Aquic Dystropepts, Oxic Dystropepts y Typic Hydraquents, que no son aptos para la agricultura. Así se puede estimar que un 20 por ciento del país es plano y apto para cultivar; esta área incluye los suelos Tropic Fluvaquent, Typic Tropofluent, Typic Ustifluent, Aeritropaquept, Typic Ustropept. Algunos otros suelos en ladera continen áreas aptas para cultivos perennes (como café), pero requieren medidas de conservación de suelo para uso sostenido con cultivos anuales; estos suelos son los Ultic Haplustalf, Lithic Eutropept, Typic Tropohumult y Uscitropohumult.

Actualmente, algunos de los peores suelos son utilizados para sembrar granos básicos. Esos suelos, los Lithic Ustorthent, Lithic Dystropept y Lithic Haplustoll, tradicionalmente se han explotado con sistemas de producción migratorios o con rotaciones que involucran épocas largas de descanso: en síntesis una agricultura de subsistencia. Como un uso más intensivo, situación que se está dando debido a la presión demográfica y la conversión de muchos terrenos en pastizales, trae consigo una disminución en fertilidad y un aumento en la erosión. La falta de comunicaciones en estas zonas montañosas impide el uso de insumos o la producción de cultivos comerciales.

Honduras se está enfrentando, así, con dos necesidades para el desarrollo agrícola. Para aumentar la producción de cultivos alimenticios será necesario promover su siembra en suelos mejores que los actualmente usados para este propósito, y para mejorar la vida de los agricultores que actualmente siembran granos básicos será necesario ubicarlos en terrenos mejores o promover cultivos de alto valor junto con la conservación del suelo. De otra manera, es difícil que el país pueda producir alimento suficiente para la demanda nacional, o que mejore la vida del campesino.

LITERATURA CONSULTADA

- BEINROTH, F. H., UEHARA, G., SILVA, J. A., ARNOLD, R.W. and CADY, F. B. Agrotechnology transfer in the tropics based on Soil Taxonomy. *Advances in Agronomy* 33:302-339. 1980.
- DENT, D. and YOUNG, A. Soil survey and land evaluation. London, George Allen and Unwin, 1981. 278 p.
- DIAZ DONAIRE, R. Caracterización y relaciones ambiente-manejo en sistemas de frijol y sorgo asociados con maíz en Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCT/CATIE, 1982. 118p.
- GARRO, A. Desarrollo de un sistema de información geográfica del Istmo Centroamericano. San José, Costa Rica, IICA, 1982. 70 p.
- HONDURAS. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSOS. Censo nacional agropecuario 1974. Tegucigalpa, 1978. p. irr.
- JOHNSON, W. M. Soil-related constraints, soil properties, and Soil Taxonomy: a terminology for exchange of scientific information. In International Rice Research Institute. Soil-related constraints to food production in the tropics. Los Baños, Laguna, Philippines, 1980. pp. 41-54.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). Informe al Gobierno de Honduras sobre los suelos de Honduras. Roma, 1969. 97 p.
- SANCHEZ, P. A. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley & Sons, 1976. 616 p.
- _____ y COCHRANE, T. T. Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America. In International Rice Research Institute. Soil-related constraints to food production in the tropics. Los Baños Laguna, Philippines, 1980. pp. 107-140.
- SECRETARIA DE INTEGRACION CENTROAMERICANA (SIFCA) Y LA AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (USAID). Honduras: Inventario nacional de recursos. Washington, D. C., 1966. p. irr.
- SIMMONS, N. W. Bananas. New York, Longman, 1966. 512 p.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D. C., 1975. 754 p.
- ZANDSTRA, H. G., PRICE, E. C., LITSINGER, J.A. and MORRIS, R. A. A methodology for on-farm cropping systems research. Los Baños, Laguna, Philippines, IRRI, 1981. 149 p.

Manejo de suelos del altiplano central de Guatemala

Donald L. Kass*

Resumen

Los suelos localizados a elevaciones mayores de 1000 metros equivalen a un tercio de la superficie total de Guatemala. Cerca de la mitad de estos suelos provienen de ceniza volcánica.

Más de los dos tercios de los suelos derivados de ceniza volcánica (alrededor de 1'460 000 hectáreas) son profundos, pero solamente 130 651 hectáreas se encuentran en pendientes menores del 10 por ciento. Estos son de los mejores suelos de Guatemala y se encuentran en los alrededores de áreas muy pobladas, tales como las ciudades de Guatemala, Quetzaltenango y San Marcos. La alta capacidad de retención de agua de estos suelos permite que los agricultores los utilicen para producir cultivos durante más de ocho meses al año, en áreas donde la precipitación pluvial puede ser menor a los 1000 mm anuales. En este trabajo se discuten algunas de las prácticas tradicionales para conservar agua en estos suelos.

Algunos de estos suelos volcánicos y profundos, localizados en pendientes del 10 al 25 por ciento son también muy utilizados para agricultura, ya que con frecuencia el agua es un factor menos limitante que en los suelos de los valles. Sin embargo, con frecuencia se necesitan prácticas especiales para evitar daño por heladas.

La presión demográfica en el área del Altiplano ha resultado en que algunos de los suelos menos profundos y menos fértiles se utilizan en la producción de cultivos alimenticios, como consecuencia, una considerable parte del suelo se ha perdido debido a la erosión.

* Agrónomo, Ph D., Especialista en Sistemas de cultivo. Departamento de Producción Vegetal, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Summary

Soils located at elevations above 1000 m account for one third of the total land area in Guatemala. About half of these are derived from volcanic material. More than two thirds of the soils derived from volcanic ash (about 1,460,000 hectares) are deep, but only 130,651 hectares occupy slopes less than 10%. These are among the best soils in Guatemala and are found around such heavily populated areas as the cities of Guatemala, Quetzaltenango, and San Marcos. Their high water-holding capacity enables them to be used for growing crops more than eight months of the year in areas where rainfall may be less than 1000 mm annually. Various traditional practices for conserving water in these soils are discussed.

Some of the deep volcanic soils occupying slopes of 10-25% are also widely used for agriculture since water is often less limiting than in valley soils, but special practices to avoid frost damage are often necessary. Population pressure has frequently caused some of the shallower, less fertile soils to be used for the production of food crops, with considerable soil loss due to erosion as a consequence.

SUELOS DEL ALTIPLANO

Los primeros centros de población en el altiplano de Guatemala fueron las áreas planas, donde se encontraban suelos profundos, formados sobre depósitos de ceniza volcánica depositados por la acción del viento y el agua en las áreas situadas entre los volcanes. La deficiencia de agua y la mayor cantidad de heladas que caracterizaron a estos denominados valles fueron compensadas en cierta medida por las buenas características físicas de esos suelos y su capacidad para retener humedad, permitiendo la producción de maíz y frijol de subsistencia durante más de 500 años.

La extensión de esas áreas representa solo un cinco por ciento del altiplano. Los aumentos en la población, la necesidad de agua para riego, el deseo de evitar las heladas y la competencia para el uso urbano de esas áreas han motivado el establecimiento de cultivos anuales y hortalizas en suelos menos profundos, ocupando pendientes fuertes y frecuentemente derivadas de materiales no volcánicos.

Con frecuencia dichos suelos son pedregosos o tienen capas duras a menos de 50 cm de la superficie; requieren, en consecuencia, prácticas de manejo que no resultan fáciles a los agricultores de recursos limitados. Sin embargo, la presión de una población creciente y la demanda de hortalizas y frutas de clima templado debe conducir a un mayor aprovechamiento de esos suelos con características físicas menos deseables. Hasta la fecha, la mayor parte de la investigación agrícola se ha concentrado en los suelos que presentan menos problemas de manejo.

Las áreas con elevaciones superiores a los 1000 m constituyen más de un tercio del área de Guatemala (Simmons *et al.*, 1959), la mayor extensión con clima templado en América Central (Cuadro 1). También hay superficies considerables a altitudes superiores a los 2000 m, que permiten el cultivo de granos (trigo, habas, garbanzos, lentejas, cebada), hortalizas (ajo, arvejas, alcachofas, repollito de Bruselas, nabocol, espárrago y espinaca legítima) y frutales (ciruelas, melocotón, manzana, membrillo y pera) que no se pueden cultivar en otros países de América Central (Kass, 1982). Es común referirse a esta área como altiplano, que implica un área de relieve casi plano a elevaciones altas; sin embargo, el Cuadro 1 indica que solamente el cinco por ciento del área con elevaciones superiores a los 1000 m, o sea unos 2000 km², tiene pendientes inferiores al 10 por ciento. La división tradicional del altiplano en tres zonas (occidental, central y oriental) es puramente política y no incluye áreas de alta elevación al norte del altiplano tradicional (World Bank, 1978).

El concepto tradicional de altiplano implica con frecuencia suelos derivados de materia volcánica pero, como indica el Cuadro 1, sólo la mitad del área situada a más de 1000 m de altura tiene suelos derivados de materiales volcánicos. Las áreas al norte del altiplano, principalmente derivadas de cerros de caliza, contienen también suelos derivados de material volcánico, como la serie Carcham que está asociada también con suelos derivados de material no volcánico (Simmons *et al.*, 1959). Se ha señalado que en áreas de clima más seco que el altiplano de Guatemala, los suelos derivados de material volcánico tienen menos propiedades que los suelos derivados de materiales no volcánicos (Forsythe *et al.*, 1969).

Se mostrará mediante un ejemplo, cómo la división del altiplano en zonas confunde relaciones importantes entre los suelos. Tomando la primera categoría de suelos en el Cuadro 1, suelos derivados de material volcánico que ocupan relieves planos (el concepto más tradicional de un suelo del altiplano), se puede comprobar en el Cuadro 2 que solamente seis series de suelos en toda la República de Guatemala, que ocupan una extensión de solo 130 651 hectáreas, corresponden a esta categoría. Pero es preciso analizar dónde están localizadas: la serie Guatemala se encuentra alrededor de la Ciudad de Guatemala y también en el valle de Chimaltenango; la Carchá se encuentra en áreas planas dentro de los cerros de caliza e incluye la ciudad de Cobán; la Comapa se encuentra alrededor de las ciudades de Quetzaltenango y San Marcos; la serie Tecpan se extiende a lo largo de la carretera interamericana entre Chimaltenango y Tecpan, mientras que la serie Soloma se encuentra alrededor de la ciudad de Huehuetenango, en un área donde la mayor parte de los suelos no son de origen volcánico.

Las seis series que se han indicado están localizadas donde se encuentran las mayores concentraciones urbanas del

Cuadro 1. Suelos en la República de Guatemala localizados a elevaciones superiores a los 1000 metros sobre el nivel del mar.

	Total	Area (hectáreas)	
		Con limitaciones serias de manejo	Sin limitaciones serias de manejo
I. DERIVADOS DE MATERIAL VOLCANICO			
A. Profundos (más de 1 m de suelo)			
1. Planos (pendientes menores de 10%)	130 657	30 516	100 135
2. Ondulados (pendientes de 10 a 25%)	825 413	231 253	593 960
3. Escarpados (pendientes mayores de 25%)	504 520	504 520	0
Total	1'460 384	766 289	694 095
B. No profundos (material cementado a menos de 1 m)			
1. Planos	72 184	72 184	0
2. Ondulados	219 553	219 553	0
3. Escarpados	259 254	259 254	0
Total	550 991	550 991	0
II. DERIVADOS DE MATERIAL NO VOLCANICO (Caliza, esquisto, etc.)			
A. Profundos			
1. Planos	0	0	0
2. Ondulados	317 531	3 775	313 776
3. Escarpados	325 937	325 937	0
Total	643 468	329 712	313 776
B. No profundos (rocas a menos de 50 cm de la superficie)			

Continúa ...

Continuación Cuadro 1. Suelos en la República de Guatemala

	Total	Area (hectáreas)	
		Con limitaciones serias de manejo	Sin limitaciones serias de manejo
1. Planos	0	0	0
2. Ondulados	391 121	0	34 121
3. Escarpados	1'381 694	1'381 694	0
Total	1'420 815	1'381 694	39 121
TOTAL PLANO	202 835	102 700	100 135
TOTAL ONDULADO	1'401 418	454 581	946 857
TOTAL ESCARPADO	2'471 405	2'471 405	0
TOTAL	4'075 658	3'028 866	1'048 992

Fuente: Simmons *et al.*, 1959.

Cuadro 2. Limitaciones principales de suelos volcánicos profundos en el altiplano de Guatemala

Limitación	Area (hectáreas)	Series
A. Relieve plano, pendiente menor de 10%	130 651	-
1. Arcilloso, drenaje restringido	82 870	Guatemala, Carchá, Comapa
2. Superficie sujeta a compactación	14 957	Quetzaltenango
3. Sin limitaciones	32 615	Soloma, Tecpán
B. Relieve ondulado, pendientes de 10-25%	825 213	
1. Pedregosidad	139 606	Culma, Pinula, Yepocapa, Barbarena
2. Muy erosivo	100 577	Sinaché, Guatemala pendiente, Alzatate, Atulapa
3. Heladas	253 373	Camancha, Totonicapán, Balanjuyu
4. Capa dura a menos de 1 m	165 796	Quiché
5. Sin limitaciones	165 861	Cauqué, Moran, Osuna Tolimán
C. Relieve escarpado, pendientes mayores de 25%	504 520	
1. Poca retención de humedad	185 717	Alotenango, Cimas volcánicas, Palín, Patzicía, Patzité

Continúa ...

Cont. Cuadro 2. Limitaciones principales de suelos

Limitación	Area (hectáreas)	Series
2. Pendientes muy fuertes	318 803	Camancha quebrada, Ayarza, Calanté, Cuilapa, Chuctal, Frajanes, Mata- quescuintla, Moca, Moyuta, Tahuaini, Quetzaltenango quebrada Guatemala quebrada

Fuente: Simmons, *et al.*, 1959.

altiplano, que ocupan sitios correspondientes a centros de población de la civilización precolombina. La tendencia de la población indígena a ocupar áreas planas de rellenos de material volcánico ha sido señalada por el autor en un estudio de alternativas para el valle de Chimaltenango (Kass, 1982). La importancia del tipo de suelo en la localización de centros urbanos y también la irrelevancia de zonificaciones tradicionales del altiplano, está demostrada más gráficamente por la localización de las ciudades de Huehuetenango y Jalapa, a más de 200 km de distancia entre sí, aunque ocupan la misma serie de suelo-Chixocol (Simmons *et al.*, 1959), un suelo no muy profundo, de origen volcánico, que ocupa relieves planos.

En el presente trabajo se consideran las 79 series de suelos que Simmons *et al.* (*op. cit.*) indican como localizadas a más de 1000 metros de altura en la República de Guatemala. Según las descripciones de esos autores, hemos dividido estos suelos en cuatro grupos: a) volcánicos profundos; b) volcánicos no profundos; c) no volcánicos profundos y d) no volcánicos no profundos. Las series que pertenecen a cada grupo están desarrolladas en los Cuadros 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Hemos dividido cada grupo en tres clases de relieves: a) planos, con pendientes menores de 10 por ciento b) ondulados, con pendientes entre 10 y 25 por ciento y c) inclinados, con más de 25 por ciento de pendiente. Hemos visto que la pendiente es un factor muy importante en el uso que se da a cada serie de suelo. Otras limitaciones de las series dentro de cada grupo también serán discutidas.

SUELOS PROFUNDOS DERIVADOS DE MATERIAL VOLCANICO

Planos (130 651 hectáreas)

Como se adelantó en la introducción, las seis series de suelos señalados han sido favorables para la agricultura desde los tiempos de los Mayas. Una limitación seria es que los valles que estos suelos ocupan son frecuentemente más secos y más susceptibles a las heladas que las áreas más altas, de relieve más escarpado, que los rodean. Esta limitación no existe solo en las series Quetzaltenango, donde pasa un río, y la Carchá, que ocupa una región más húmeda.

En el caso de la Carchá, la humedad ha favorecido un desarrollo más típico de un suelo volcánico y presenta muchas propiedades de un Hydrandept, inclusive en su densidad aparente inferior a 1 (Simmons *et al.*, 1959). Simmons también menciona limitaciones de drenaje y dificultades para la mecanización. Las series Guatemala y Comapa también tienen drenaje restringido, aunque la capacidad alta de retener humedad de la serie Guatemala es utilizada por algunos agricultores en el valle de Chimaltenango que pueden cultivar garbanzos en la época seca en estos suelos, pero no en la serie Tecpan que se encuentra al

sur en el mismo valle. La sequía impone restricciones serias en el uso del suelo Comapa para cultivos anuales (Op. cit.). Los tres suelos de textura más leve se cuentan entre los más intensamente cultivados en Guatemala. La serie Tecpan demuestra una capacidad de fijación de fósforo sorprendentemente baja (Fassbender, 1969; Rice *et al.*, 1983). Simmons (1959) clasifica la capacidad de abastecer humedad de la serie Tecpan como regular, pero el autor ha realizado experimentos en suelos de esta serie, que tenían más de seis centímetros de agua disponibles para plantas, tres después del fin de la época lluviosa (Kass, 1982).

La práctica de los agricultores tradicionales del altiplano de realizar siembras de maíz, frijol o habas, dos o tres meses antes del inicio de las lluvias, depositando la semilla hasta 25 cm abajo de la superficie del suelo donde encuentra humedad, ha sido documentado (Kass y Chew, 1980; Rice *et al.*, 1983). Esta práctica se realiza no solamente en los suelos de relieve plano sino también en los suelos volcánicos profundos que ocupan pendientes onduladas, como sucede en Cauque, Totonicapán, Quiché, Camancha y Balanyjuyu. Con el fin de conservar la humedad, los agricultores preparan estos suelos lo más pronto posible después de la cosecha, utilizando tractores, bueyes o azadones, dejando después subir la humedad por capilaridad. Desdichadamente el autor no conoce estudios de la humedad del suelo en este período. En el valle de Chimaltenango, donde predominan suelos de las series Tecpan y Guatemala, y donde la mayor parte del área se dedica a maíz (sembrado en febrero) asociado con frijol alrededor (sembrado en junio), la preparación del área entre surcos donde se realizará la siembra el año siguiente se realiza en octubre, cuando el frijol y la caña del maíz están todavía en el campo.

Los suelos de Quetzaltenango y Soloma ocupan altitudes superiores a 2200 m, lo que impone una limitación para la producción de ciertos cultivos (Simmons *et al.*, 1959). Esos autores también mencionan la tendencia de formar una capa dura en la serie Quetzaltenango, cuando se deja sin cobertura. Forsythe *et al.* (1969) señalan que los suelos derivados de ceniza volcánica frecuentemente forman capas cementadas por sílice cuando se desarrollan en climas más secos. Hay un poco más de información sobre el manejo de estos suelos que en el caso de otros más extensivos, de acceso más difícil. Los suelos de las series Guatemala, Quetzaltenango y Tecpan son de acceso fácil desde centros urbanos, la carretera interamericana y estaciones experimentales.

Si bien su intensidad de cultivo tal vez justifica esta atención, estas tres series ocupan solamente 70 000 hectáreas, o sea menos del 2 por ciento del área superior a los 1000 m, y gran parte de esa superficie ya se ha perdido para la agricultura debido al crecimiento urbano.

Ondulados (825 213 hectáreas)

La mayor extensión de estos suelos les da una importancia agrícola superior que la de los suelos planos, que son más productivos y en general han recibido más atención de los investigadores. Más de la mitad de este grupo de suelos no tiene limitaciones serias y está ampliamente utilizado para la producción de café, maíz, frijol y hortalizas.

La mayor retención de humedad, la mayor disponibilidad de agua para riego y el menor peligro de heladas han favorecido el uso de las series Cauque y Moran para la producción de hortalizas alrededor de la ciudad de Guatemala (Kass, 1982), mientras que se encuentra poca producción de hortalizas sobre la serie Guatemala, donde el agua es más escasa y el peligro de heladas es mayor. En otras series como la Culma, Pinula, Yepocapa, Sinaché, Alzatate y Atulapa, el peligro de erosión y la pedregosidad impone limitaciones serias (Simmons *et al.*, 1959). Los suelos Comancha, Totonicapán y Balanjuyu ocupan grandes extensiones (253 373 hectáreas), a alturas superiores de 2300 m en el altiplano central y occidental, y son muy utilizados para la producción de maíz, habas, trigo y papas, además del pastoreo de ovejas.

El Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (ICTA), ha realizado diversos experimentos sobre fertilización de maíz, papas y trigo en suelos de la serie Totonicapán, y tiene recomendaciones para el uso de fertilizantes minerales y orgánicos. El suelo Quiché es uno de los más extensos en Guatemala (165 796 hectáreas) y es muy utilizado para el cultivo del maíz. Tiene el inconveniente de una capa dura de ceniza volcánica cementada, de 70 a 100 cm de profundidad, que impide el drenaje y aumenta la susceptibilidad a la erosión. Casi todas las series de suelos profundos de origen volcánico que tiene relieve ondulado son de textura franca o franca arcillosa. Solamente el Tolimán que no es muy extensivo tiene textura más leve. Esto aumenta un poco la susceptibilidad de estos suelos a la erosión.

Escarpados (504 520 hectáreas)

Las principales limitaciones de estos suelos son la poca retención de humedad (series Alotenango, Cimas Volcánicas, Palín, Patzún y Parzité) y las pendientes muy fuertes que pueden ser superiores a 50 por ciento (Camancha quebrada, Ayarze, Calanté, Cuilapa, Chuctal, Fraijanes, Mataquescuintla, Moca, Moyuta, Tahuaini, Quetzaltenango quebrada, Guatemala quebrada). Sin embargo, las presiones de la población y la profundidad de los suelos han conducido a su empleo para la producción de maíz, normalmente en un sistema de agricultura móvil, o trigo, utilizando un sistema de terrazas estrechas. Con el fin de mantener su productividad, hay que tomar medidas

específicas para controlar la erosión (Simmons *et al.*, 1959).

SUELOS NO PROFUNDOS DERIVADOS DE MATERIA VOLCANICA

Planos (72 184 hectáreas)

Estos suelos no son muy extensos (Cuadro 3). El mal drenaje y la pedregosidad constituyen limitaciones serias en las cuatro series (Ansay, Chixocol, Guija, Mita) que ocupan terrenos planos. La serie Mita se caracteriza por una arcilla muy plástica, parecida a la montmorillonita; en consecuencia se pone muy dura en la época seca, que es bastante prolongada en las áreas donde ocurre. A pesar de ser difícil de arar con implementos de tracción animal y de tener serios problemas de drenaje, la serie Chixocol es el sitio donde se ubican dos centros urbanos importantes del altiplano: Huehuetenango y Jalapa. La serie Guija es la más extensa de este grupo, pero tiene lava volcánica a poca profundidad, ocupa lugares secos y tiene poca capacidad de retener la humedad.

Ondulados (219 553 hectáreas)

Estos suelos tienen una textura mucho más leve que los que ocupan relieve plano. La serie más extensa, la Jalapa, es muy susceptible a sequías y erosión, y es poco utilizada para la producción de cultivos. La serie Ostuncalco tiene características semejantes, pero ocupa pendientes un poco menos pronunciadas a alturas mayores, donde la evaporación es menor. Debido al hecho de que ocupan áreas donde la presión demográfica es más alta, son utilizadas para la producción de maíz y trigo a pesar de que se encuentra ceniza volcánica a 50 cm de la superficie. Sin embargo, la ceniza no es muy cementada y ha sido mezclada con el suelo superficial (Simmons *et al.*, 1969)

Escarpados (259 254 hectáreas)

Todos estos suelos son demasiado inclinados para cultivos; además, difícilmente tienen una capa de suelo de más de 50 cm de profundidad. La serie Zacualpa (40 668 hectáreas) es bastante extensa en áreas densamente pobladas del altiplano.

SUELOS PROFUNDOS DERIVADOS DE MATERIALES NO VOLCANICOS

Suelos de relieve plano (cero hectáreas)

Según Simmons *et al.* (1959), ninguna serie de suelos de origen no volcánico que ocupe elevaciones superiores a los 1000 metros sobre el nivel del mar se caracteriza por ocupar pendientes menores al 10 por ciento (Cuadro 4).

Cuadro 3. Limitaciones principales de los suelos volcánicos no profundos en el altiplano de Guatemala.

Limitaciones	Area (hectáreas)	Serie
A. Relieve plano, pendiente menor de 10%	72 184	-
1. Mal drenaje	19 644	Ansay, Chixocol
2. Piedras a 20-40 cm de la superficie (también tiene drenaje restringido)	52 540	Guija, Mita
B. Relieve ondulado, pendientes de 10 a 25%	219 553	
1. Ceniza volcánica cementada o lava a menos de 50 cm de la superficie	172 163	Jalapa, Pacaya
2. Peligro de heladas; poca retención de humedad	47 390	Ostuncalco
C. Relieve escarpado, pendientes mayores de 25%	259 254	
1. Pedregosidad	164 550	Atlitlán, Lava volcánica, Mongoy
2. Poca retención de humedad, pendientes fuertes	74 704	Jilotepeque, Suchitan, Zacualpa

Fuente: Simmons *et al.*, 1959.

Cuadro 4. Limitaciones principales de los suelos profundos derivados de materiales no volcánicos en el altiplano de Guatemala.

Limitaciones	Area (hectáreas)	Serie
A. Relieve plano, pendientes menores de 10%	0	-
B. Relieve ondulado; pendientes de 10 a 25%	317 531	
1. Caliza cerca de la superficie	3 775	Poaquil
2. Susceptibilidad moderada a la erosión	313 776	Altombran, Civija
C. Relieve escarpado, pendientes mayores de 25%	325 937	-
1. Arcillosos, muy susceptibles a la erosión	182 043	Amay, Ixcanac
2. Pendientes fuertes	143 894	Talquesal, Marajuma

Fuente: Simmons *et al.*, 1959

Suelos de relieve ondulado (317 351 hectáreas)

Estos suelos se localizan en su mayoría en la parte norte del altiplano. La serie Civija, la más extensa, se desarrolló sobre esquisto, pero ocupa un área no muy poblada. Las series Cobán y Jacaltenango, ambas desarrolladas sobre cenizas, son intensamente utilizadas. La Cobán es utilizada principalmente para la producción de café, mientras la Jacaltenango que se encuentra en el noroeste de Huehuetenango es utilizada sobre todo para la producción de maíz y trigo. La serie Jacaltenango presenta un relieve tipo "karst". Esta serie y la Altombran, que se encuentra en el altiplano oriental a alturas menores, ya se encuentran bastante erosionadas. La Altombran se utiliza para la producción de sorgo, algodón y tabaco. En lugares más húmedos se utiliza para la producción de café. La serie Poaquil es poco extensiva en el altiplano central, donde se asocia con suelos de origen volcánico. Ya está bastante erosionada aunque es utilizada para la producción de maíz, trigo, frijol y papas.

Suelos de relieve escarpado (325 937 hectáreas)

La mayor parte de estos suelos ocupan áreas montañosas no muy pobladas. La serie Ixcanae, que ocupa solo 16 859 hectáreas es la única explotada intensamente para la producción de alimentos. Ocupa elevaciones entre 2100 y 2700 metros sobre el nivel del mar, pero puede brindar una cosecha de maíz o trigo por año. Sin embargo, esos suelos están bastante erosionados.

SUELOS NO PROFUNDOS NO DERIVADOS DE MATERIALES VOLCANICOS

Suelos de relieve plano (cero hectáreas)

Simmons *et al* (1959) no mencionan ninguna serie de suelos que pertenezca a esta categoría (Cuadro 5).

Suelos de relieve ondulado (19 121 hectáreas)

Solamente la serie Zacapa se incluye en esta categoría. Los suelos de esta serie no son utilizados para la producción de cultivos anuales. La pendiente promedio es de 20 por ciento aunque hay muchos lugares donde las pendientes llegan al 50 por ciento.

Suelos de relieve escarpado (1'381 694 hectáreas)

Esta división incluye más de un tercio de los suelos localizados a más de 1000 m de altura. Casi todos esos suelos están localizados en la parte norte del altiplano, en los departamentos de Quiché, Huehuetenango, Alta Verapaz, Guatemala y

Cuadro 5. Limitaciones principales de los suelos no profundos, derivados de materiales no volcánicos, en el Altiplano de Guatemala.

Limitaciones	Area (hectáreas)	Serie
A. Relieve plano, pendientes menores de 10%	0	
B. Relieve ondulado, pendientes de 10 a 25%	39 121	
1. Incluye unas áreas de pendientes más fuertes	39 121	Zacapa
C. Relieve escarpado, pendientes mayores de 25%. Rocas, caliza o esquisto a menos de 50 cm de la superficie, pendientes fuertes	1 381 694	Acatán, Coatán, Cunen, Chinautla, Chixoy, Chol, Churranchó, Jigua, Nenton, Oquen, Quixal, Quixtán, Sacapulas, Sacapulas erosionado, Sansaré, Sholanima, Tamahu, Toquia.

Fuente: Simmons *et al.*, 1959

Baja Verapaz. Cuatro series de estos suelos (Chol, Cigua, Sansaré, Sholanima) ocupan unas 374 708 hectáreas, en pendientes demasiado fuertes, con piedras muy cerca de la superficie, lo que impide los cultivos. Ninguna de estas series está desarrollada sobre piedra caliza.

Las series Toquia, Quixtan y Chixoy, desarrolladas sobre caliza, ocupan unas 396 109 hectáreas, presentan un relieve muy fuerte como para ser utilizados en cultivos. La serie Toquia, que ocupa áreas muy altas, es utilizada principalmente para el pastoreo de ovejas. Las series Toquia y Quixtan presentan una topografía "karst" bastante desarrolladas. En las series Quixtan y Chixoy se incluyen suelos más profundos, como la serie Cobán, que se utiliza para la producción de maíz y café.

Las otras series ocupan unas 610 877 hectáreas; son o han sido utilizadas para la producción de maíz y otros cultivos, pero en el caso de las series Acatan y Sacapulas la erosión ya ha causado el abandono de casi toda el área para la producción de maíz. Las series Churranchó y Chinautla ocupan 41 397 hectáreas en el departamento de Guatemala, donde son utilizadas para el cultivo de maíz, frijol y sorgo, como tienen poca retención de humedad, las siembras se realizan al inicio de la lluvia y no unos meses antes, como es común en el altiplano central.

Dos suelos que ocupan terrenos con topografía "karst", las series Coatán y Nenton, incluyen unas 140 708 hectáreas y son muy utilizados para la producción de maíz en el departamento de Huehuetenango. La fertilidad alta debe compensar los inconvenientes de un suelo no muy profundo y las pendientes bastante fuertes. Tres series menos extensas de suelos no profundos, desarrollados sobre rocas no calizas utilizadas para la producción de cultivos, son las Cunén, Oquen y Quixal, que ocupan unas 20 953 hectáreas en los departamentos de Huehuetenango y Quiché. A pesar del relieve pronunciado y las rocas cercanas a la superficie, las series Cunén y Oquen son utilizadas para la producción de maíz; son un poco más profundas que los suelos que las rodean. La serie Quixal es derivada de piedra arenisca y se utiliza para la producción de tabaco (Simmons *et al.*, 1959).

El suelo Tamahu es derivado de roca caliza y es uno de los suelos más extensos de Guatemala; ocupa unas 778 539 hectáreas, principalmente en el departamento de Alta Verapaz, pero también se extiende hasta Baja Verapaz e Izabal. A pesar de un relieve "karst" bastante escarpado que llega a pendientes de más del 100 por ciento, ese suelo es bastante utilizado para la producción de café y maíz. En algunos lugares hasta el 50 por ciento de la superficie es rocosa.

En conclusión, una gran parte de los suelos derivados de material no volcánico, que ocupan pendientes escarpadas, son utilizados para la producción de alimentos a pesar del peligro de erosión que ya ha destruido el suelo en algunos sitios. Las presiones de la población, la alta fertilidad de los suelos

derivados de caliza, y un clima adecuado para la producción de café, son los factores que han superado la pedregosidad y las pendientes muy escarpadas.

Dos grupos de suelos que no hemos considerado son las áreas fragosas, que ocupan unas 25 173 hectáreas, principalmente en el altiplano central, y los valles no diferenciados, que ocupan unas 173 257 hectáreas. Los valles incluyen muchas áreas a alturas menores de 1000 metros. El único lugar en el altiplano donde son significativos es alrededor de la ciudad de Antigua Guatemala, donde ocupan unas 5000 hectáreas y son utilizados para la producción de café y maíz.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado que el concepto más común del suelo del altiplano, o sea un suelo derivado de ceniza volcánica, profundo, que ocupa un relieve casi plano, es aplicable al tres por ciento del área en alturas superiores a los 1000 metros. Mucho más extensos en el altiplano son los suelos de relieve ondulado, de origen volcánico y profundos, que ocupan unas 825 213 hectáreas o sea un 20 por ciento del área en alturas superiores a 1000 metros.

Desafortunadamente, los suelos planos han recibido la mayor parte de la atención de los investigadores; en todo caso, la investigación sobre el manejo de suelo, aún en el caso de los planos y profundos de origen volcánico, ha sido poca. Es probable, sin embargo, que las prácticas de manejo más comunes del altiplano -entre las cuales el aprovechamiento de humedad residual para realizar las siembras antes del comienzo de las lluvias es la característica más sobresaliente- fueron desarrolladas en los suelos planos y extendidas a los suelos más ondulados cuando las presiones de la población demandaban la utilización de esta área. Hemos visto, sin embargo, que los suelos de relieve ondulado pueden ofrecer ventajas sobre los suelos de los valles, que normalmente son más secos y tienen mayor peligro de heladas. En el altiplano central, la serie Cauque, que ocupa pendientes, tiene humedad suficiente para ciertos cultivos casi todo el año, pero hay áreas de suelo Tecpán ocupando áreas planas alrededor de Comalapa, donde los agricultores no pueden sembrar antes del comienzo de las lluvias (Kass, 1982b). El hecho de que casi todo el altiplano de Guatemala tenga un clima húmedo-seco ha influido no sólo en el desarrollo de los suelos, sino también en las prácticas agrícolas.

Un período seco de más de seis meses, combinado con temperaturas relativamente bajas, ha producido propiedades diferentes de los Andepts desarrollados en climas húmedos (Forsythe *et al.*, 1969; Rice *et al.*, 1983). Las temperaturas bajas y en algunos casos la nubosidad extiende el ciclo de maíz y frijol, que normalmente requiere más de seis meses de lluvia para madurar.

Los suelos con mayor retención de humedad y las pendientes conformaron un ambiente donde los cultivos que tienen un ciclo de ocho a nueve meses pueden ser cultivados sin peligro de heladas. Es interesante comprobar que todos los cultivos resistentes a heladas, como el haba, la arveja, el garbanzo, la lenteja y los frutales, fueron introducidos después de la época de la conquista.

LITERATURA CONSULTADA

- DUARTE, R. W., HILDEBRAND, P. E. y RUANO, A. S. Tecnología y estructura socioeconómica del minifundio del occidente de Chimaltenango. Guatemala, ICTA, 1976. 79 p. (mimeograf.).
- FASSBENDER, H. W. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1969. Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp 1-10.
- KASS, D. C. , y CHEW, F. Efecto de cultivos y niveles de fertilización sobre rendimiento de maíz en el Altiplano Central de Guatemala. In Reunión Anual del PCCMCA, 26a., Guatemala, 1980. Memoria. Guatemala, ICTA, 1980. v. 4, pp SP201/1-11.
- KASS, D. C. Aumento de la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción tradicional del Valle de Chimaltenango, Guatemala. In Reunión Anual del PCCMCA, 27a., Santo Domingo, República Dominicana, 1981. Memoria. Santo Domingo, República Dominicana, Secretaría de Estado de Agricultura, 1981. v. 1, pp. Sc21/1-9. También en: Ciencia y Tecnología Agropecuaria (Guatemala) 1(1):31-45. 1982.
- _____. Vegetables suitable for association with subsistence maize and beans in the highlands of Guatemala. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 22 p. + 4 fig.
- Document presented in: Congreso Anual de la Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas, Campinas, Sao Pablo, Brasil, 1981.
- RICE, O. W., BURGOS, C.F. and KIMBLE, J. M. Classification of two pairs of tephra derived soils by ICOMAND proposal and soil taxonomy. Agronomy Abstracts 1983:191. 1983.
- SIMMONS, C. S., TRANO, J. M. y PINTO, Z. J. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura, 1959. 996 p.
- WORLD BANK. Guatemala: economic and social position and prospects. Washington, D.C., 1978. 181 p.

El ambiente físico y el arroz de secano en El Bayano, Panamá

Jorge Jonás*

Resumen

El arroz de secano es un cultivo importante en Panamá, tanto por el área cultivada total como por la producción de grano y los rendimientos del cultivo. Además de sus contribuciones al Producto Interno Bruto del sector agropecuario nacional, el cultivo de arroz es importante porque los agricultores de subsistencia son responsables de cerca del 60 por ciento del área cultivada y porque ese grupo de productores se encuentra en ambientes desfavorables con una tecnología de producción rudimentaria.

Con base en esos aspectos generales, en este artículo el autor se concentra en el análisis de las características agroclimáticas, de suelos y de tecnología del cultivo en el área de El Bayano, hacia el este de la ciudad de Panamá. En la segunda parte del artículo se describen brevemente las principales características de cuatro grandes unidades de suelos en las que se cultiva el arroz de secano: tierras onduladas y ligeramente onduladas; planicies fluviales, y planicies fluviales inundables. Para cada caso se hacen indicaciones sobre el tipo de tecnología y manejo del cultivo.

En la parte final del artículo, el autor hace referencia a las innovaciones agronómicas y tecnológicas del cultivo, especialmente en cuanto a variedades, fertilización y combate de malezas e insectos. Aspectos que se consideran como los limitantes más importantes de la producción de arroz de secano, particularmente en cuanto a sus relaciones con las características del suelo y su manejo.

* Coordinador de Suelos y Recursos Naturales, IDIAP, Panamá.

Summary

Upland rice is an important crop in Panama, not only because of the total area cultivated but also because of grain production and crop yields.

In addition to its contributions to the Gross Internal Product of the national agricultural sector, rice growing is important for the reason that subsistence farmers are responsible for approximately 60 percent of the cultivated area, and because this group of producers is located in an unfavorable environment with rudimentary production technology.

Based on these general aspects, in this article the author concentrates on the analysis of agroclimatic characteristics, soils, and cropping technology in the El Bayano area, east of the city of Panama. In the second part of the article, there is a brief description of the main aspects of four large soil units where upland rice is planted. These units are the following: undulated land, slightly undulated land, fluvial plains, and flood- ing fluvial plains. In each case the author gives some indica- tions about the type of technology and management of the crop.

In the final section, the author refers to the agronomic and technological innovations of this crop, especially in regard to varieties, fertilization, and weed and insect control. These aspects are considered important determinants for upland rice pro- duction, particularly when related to soil characteristics and management.

ANTECEDENTES

La economía panameña se caracteriza por una alta especiali- zación hacia la producción de servicios (63 % del PIB en 1980). El sector agropecuario sólo aporta aproximadamente un 15 por ciento al PIB nacional, aunque el 47 por ciento de la población, incluyendo a las provincias de Panamá y Colón, tiene como principal medio de vida la agricultura.

Como se observa en el Cuadro 1, el aporte del sector agrí- cola al Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario es alto para la mayoría de las provincias de Panamá, y el valor de la produc- ción de arroz es de gran importancia para las provincias de Coclé, Chiriquí y Los Santos.

El área total cultivada de arroz para el año agrícola 1979- 1980 fue de 98 500 hectáreas, correspondiendo al arroz de seca- no un poco más del 98 por ciento (Cuadro 2). La producción de grano es más de 30 veces mayor para arroz de secano en compara- ción con el de riego, pero el rendimiento es más del doble en el segundo sistema de cultivo si se compara con el primero.

La estructura de población de los individuos que inciden en la producción de arroz se presenta en el Cuadro 3. Las diferen- cias en factores físicos y manejo de cultivos están implícitos.

Cuadro 1. Importancia del cultivo de arroz en las economías regionales de Panamá, 1979.

Descripción	Total República	Bocas del Toro	Cocle	Colón	Chiriquí	Darién	Herrera	Los Santos	Panamá	Veraguas
Aporte del sector agropecuario al PIB (%)	14,2	72,5	30,1	4,1	47,6	59,1	35,3	61,5	3,3	41,4
Aporte del sub-sector agrícola al PIB Agropecuario (%)	77,8	99,5	81,8	89,9	86,6	83,5	60,2	68,5	47,3	75,8
Valor de la producción agrícola (en miles de balboas)	88 625,9	9 355,2	10 271,0	4 379,0	30 041,0	1 722,6	5 967,8	6 806,0	8 835,5	11 247,8
Valor de la producción de arroz (% del total agrícola)	20,8	2,6	25,2	6,7	28,3	14,6	15,7	29,9	17,0	18,2

Fuente: Mippe, 1981.

Cuadro 2. Area, producción y rendimiento de arroz en grano en la República de Panamá (1979-1980).

Indicador	Secano	Riego	Total
Area (000 ha)	97,0	1,5	98,5
Producción (000t)	155,6	5,3	160,9
Rendimiento (t/ha)	1,6	3,5	1,5

Fuente: Informe de la Cuarta Conferencia del IRTP para América Latina, 1981.

Cuadro 3. Estructura de la producción de arroz en la República de Panamá, 1979-1980.

Tipo	Explotaciones		Superficie		Producción	
	Número	%	(hectáreas)	qq	%	
Campesino de subsistencia	55 000	94,4	56 000	1'150 000	32,5	
Pequeños productores	1 000	1,8	6 000	235 000	6,6	
Productores asociativos	100	0,2	7 100	354 000	10,0	
Medianos y grandes productores	900	1,6	29 400	1'800 000	50,9	
Total	57 000	100,0	98 500	3'539 000	100,0	

Fuente: Dirección Estadística y Censo, 1980. Estimaciones del apelopz y otros. Panamá.

Los agricultores de subsistencia son responsables de cerca del 60 por ciento del área cultivada, pero su incidencia en la producción es aproximadamente un tercio del total. También se desprende del Cuadro 3 que este grupo de productores se encuentra en ambientes desfavorables, con una tecnología local de producción rudimentaria. Se aprecia además que el grupo de medianos y grandes productores incide en el mercado tradicional con un 50 por ciento de la producción, aunque sólo explota el 30 por ciento de la superficie cultivada, de la cual 1,5 por ciento se encuentra bajo riego.

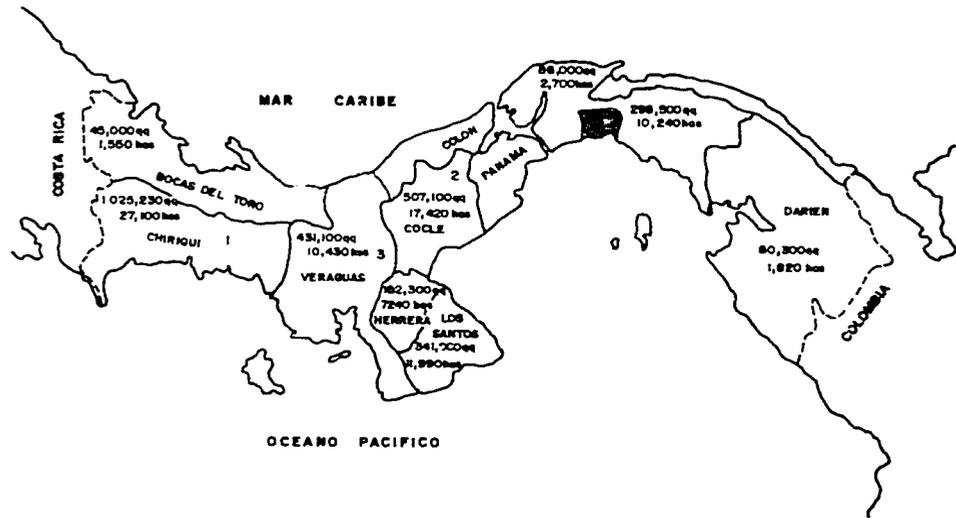


Figura 1. Distribución geográfica de la producción de arroz en la República de Panamá. Año 1979-80.

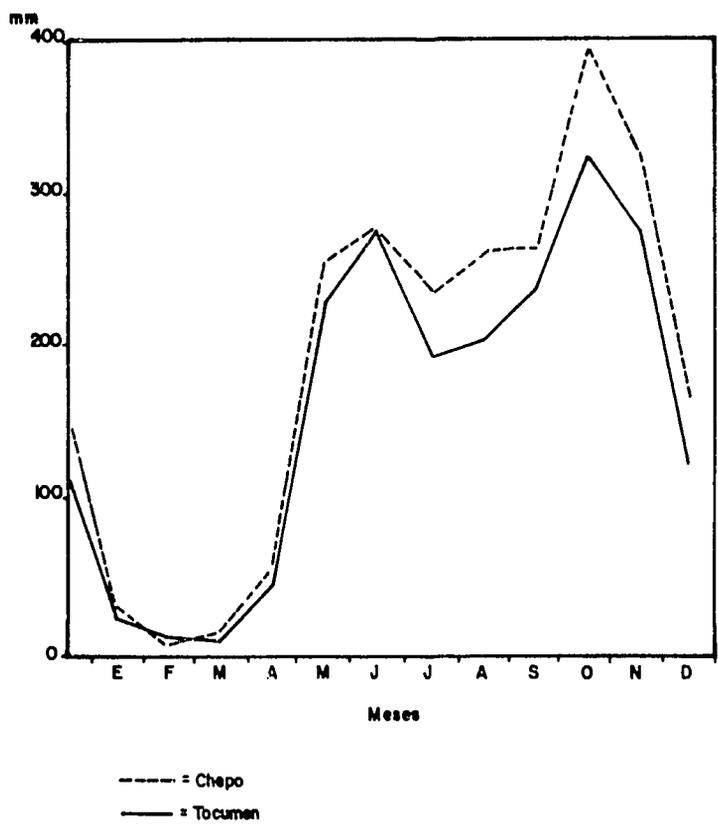


Figura 2. Precipitación media mensual en Tocumen y Chepo.

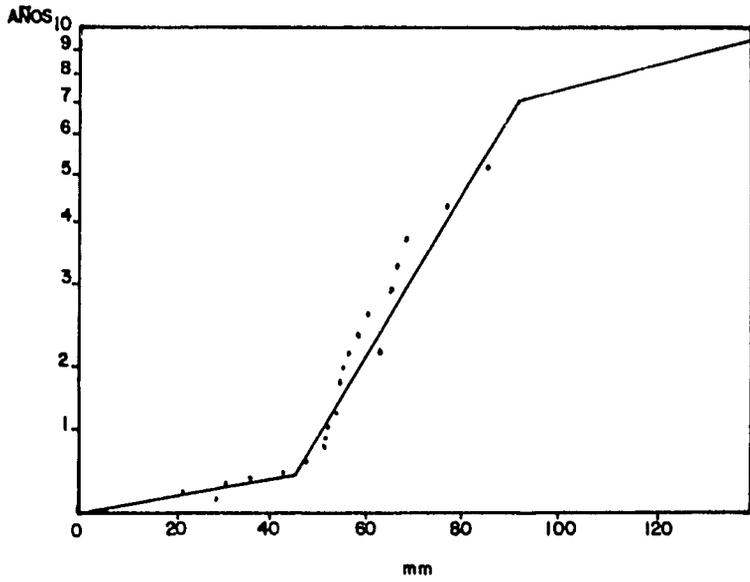


Figura 3. Período de retorno vs precipitación máxima (3 días).

EL AREA DEL BAYANO

El área en estudio se inicia 12 km al este de la ciudad de Panamá. Como lindero occidental se encuentra el río Tocumen y al oriente el río Mamoni, y parte del Bayano; hacia el norte, la divisoria continental, y hacia el sur el Océano Pacífico (Figura 1).

Se observa que el patrón de la distribución de la precipitación media mensual presentan cuatro meses secos (menos de 100 mm/mes) y siete húmedos (más de 200 mm/mes) (Figura 2). El comienzo de las lluvias ocurre tarde en el mes de abril o a principios de mayo, y su ritmo decrece durante la primera quincena de diciembre. En períodos de retorno para Chepo, utilizando registros de 20 años para precipitación máxima total en tres días, en el período de transición seco-húmedo (15 de abril al 15 de mayo) ocurrirán en dos a tres años como promedio 50 mm de lluvias en tres días consecutivos (Figura 3). Se espera que se presenten inundaciones en las planicies fluviales activas durante los meses de setiembre a noviembre, productos de causes interrumpidos y angostos en la gran mayoría de los ríos del área.

Otros parámetros atmosféricos registrados se presentan en el Cuadro 4. La temperatura media mensual es muy constante durante el año. La humedad relativa varía 18 puntos al comparar la estación seca con la lluviosa. Durante la época lluviosa las horas de luz son aproximadamente 50 por ciento de la duración del día en comparación con la estación seca. Los calores máximos y mínimos mensuales ocurren en los meses de febrero y junio, respectivamente. Existe una significativa diferencia en cuanto a la velocidad del viento entre estaciones. La estación seca se caracteriza por vientos del noreste y en la lluviosa prevalece lo contrario. Esta última caracteriza los movimientos orográficos presentes durante la época lluviosa. La demanda atmosférica es alta durante los meses de enero a abril, ocurriendo una inversión abrupta en el mes de mayo. El mes de diciembre puede considerarse como de transición en términos de balance hídrico.

EL RECURSO TIERRA Y EL ARROZ DE SECANO

Seis grandes unidades de mapeo se pueden identificar en la región en estudio. Solo algunas de ellas son de relativa importancia para el cultivo de arroz de secano.

Tierras onduladas y ligeramente onduladas

Comprenden un patrón complejo de colinas angostas y bajas, y lomas anchas con laderas uniformes, ambas separadas por cañadas, profundas las primeras y poco profundas las siguientes. Ocurren en estas unidades suelos pardo oscuros arcillosos, desarrollados de rocas básicas poco lixiviadas (desarrollo vértico)

y suelos rojos, ácidos, franco o arcillosos. Según su posición son poco profundos (20 a 100 cm) o profundos (más de 100 cm).

Aproximadamente el 5 por ciento del área es cultivada con arroz de secano en forma rudimentaria. Este consiste en el desmonte manual y quemas realizadas en la época seca. La siembra a espeque al comienzo de las lluvias se realiza distanciada para facilitar el deshierbe manual. Esta última operación ocupa casi el 40 por ciento de los costos de producción. Las variedades utilizadas son de porte alto, grano largo y los rendimientos fluctúan entre 1,0 a 1,5 toneladas por hectárea.

Cuadro 4. Valores promedio de temperatura, humedad, sol, viento y evaporación en Tocumen, Panamá.

Mes	Temperatura del aire (° C) ^{1/}	Humedad relativa ^{2/} (%)	Horas de sol ^{2/}	Velocidad media del viento (m/seg) ^{1/}	Evaporación en tanque ^{2/} (mm/día)
Enero	25,0	76	6,8	2,0	5,3
Febrero	25,7	70	8,0	2,7	5,1
Marzo	26,3	70	6,7	2,6	5,4
Abril	26,8	71	6,2	2,3	6,3
Mayo	26,2	82	4,4	1,7	4,6
Junio	25,5	87	3,3	1,6	4,1
Julio	26,0	85	3,5	1,7	4,4
Agosto	25,3	86	3,6	1,6	4,3
Setiembre	25,1	88	4,0	1,6	4,0
Octubre	25,0	88	3,7	1,6	3,9
Noviembre	25,6	85	4,4	1,5	4,1
Diciembre	25,9	76	5,0	1,9	4,6

^{1/} Temperatura y viento: 25 años

^{2/} Humedad, sol y evaporación: 13 años

Fuente: IRHE, 1982.

Planicies fluviales

La llanura fluvial, con menos de uno por ciento de pendiente, incluye suelos arcillosos finos, franco arenosos a arcillo limosos, todos de drenaje imperfecto (Fluvaquent). El cultivo de arroz de secano en esta área es mecanizado y se puede considerar que el uso de capital es intensivo. La siembra se realiza en seco o húmedo, y el manejo subsiguiente se basa en tecnología desarrollada en el área en los últimos ocho años, o en adaptaciones agronómicas de ambientes similares. Dos fechas de

siembra son características: de abril a mayo y de julio a agosto. Se obtienen rendimientos de entre 3 a 4,2 toneladas por hectárea en promedio.

Planicies fluviales inundables

La llanura fluvial es arcillosa fina, de drenaje muy pobre y suelos ácidos (pH 4 a 5). El subsuelo es de color neutro muy ácido (70 cm de profundidad) cuando seco (Sulfic Fluvaquent), y los suelos son pobremente drenados, de arcilla fina (Fluvaquent). Igual que en la unidad de mapeo anterior, el cultivo de arroz de secano es mecanizado.

INNOVACIONES AGRONOMICAS Y TECNOLOGICAS

Los aspectos prácticos de las innovaciones tecnológicas para el cultivo de arroz de secano se deben en gran medida al esfuerzo espontáneo de los agricultores de la región. Las áreas cultivadas incluyen aquellas en las cuales existe riesgo e incertidumbre por daños debidos a inundaciones y sequía. El cultivo de arroz de secano en la región siempre ha estado expuesto a riesgo, debido a problemas de ataque de enfermedades y plagas de insectos. El potencial para que ocurran pérdidas serias se ha visto incrementado al verse forzados los agricultores a producir más debido a los crecientes costos, utilizando variedades de alto rendimiento a expensas de la diversidad genética. Igual que los factores anteriores, el uso más intensivo de las tierras del área ha ayudado a aumentar la presión de epidemias por enfermedades o insectos.

Los factores limitantes más importantes de la producción de arroz de secano, cuya necesidad de investigación es alta para la región de Bayano, son: a) variedades, b) fertilizantes, c) malezas, y d) insectos.

El dominio de aplicación de las recomendaciones desarrolladas hasta el presente corresponden en términos físicos a las tierras de origen fluvial. El cultivo de arroz de secano es mecanizado y existe un posible escape a los problemas de déficit de humedad, por ser los suelos de una permeabilidad baja y rápido el ascenso del nivel de agua freática, después del comienzo de las lluvias. Con excepción de los aluviones recientes cerca de los ríos Hondo, Chinchebre, y Zanja Jagua, el resto de las áreas acumulan agua en la superficie del terreno.

Variedades

El programa de mejoramiento genético del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), está orientado a obtener materiales de alto rendimiento con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, especialmente al fuego causado por

Piricularia oryzae. El programa ha generado variedades como Anayansi y Damaris, después de evaluaciones de poblaciones segregantes y líneas avanzadas, desarrolladas por IDIAP y venidas del exterior. Recientemente Oryzica 1 y Metica 2, venidas del programa cooperativo IDIAP-CIAT, se comportan en forma sobresaliente.

Fertilizantes

Aunque existen conocimientos sobre el uso de fertilizantes en el área, no había evidencia que indicara la magnitud de la respuesta en el cultivo de arroz. Desde 1977 hasta el presente se han obtenido cuantificaciones sobre la respuesta a los fertilizantes (Figura 4). Como aproximación a la expresión de la ley natural se tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = 2\,232,9 + 33,7N - 0,3 N^2 + 9,5 P - 0,1 P^2$$

Donde: Y = rendimiento estimado

N = nitrógeno

P = fósforo con base en la fórmula P₂O₅

En términos de la oportunidad en la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la evidencia encontrada permite rechazar la hipótesis de que existe diferencia en respuesta al fraccionamiento de nitrógeno para las condiciones del sistema de arroz de secano existente.

Malezas

Este factor es uno de los más importantes en la región del Bayano. Los mejores resultados en el control químico se han logrado con dos aplicaciones de Propanil. La primera entre 8 a 12 días después de la siembra, y la segunda a los 20 a 25 días de la siembra, más 0,5 kg por hectárea de 2-4-D.

Insectos

Se ha establecido un modelo de supervisión fitosanitaria como resultado de estudios de dinámica de población de plagas en el cultivo de arroz de secano. Con relación a la plaga más atacada con control químico, se ha determinado que no es necesario su control en las siembras tempranas en el área de interés y que en las siembras tardías es preciso un control eventual y dirigido.

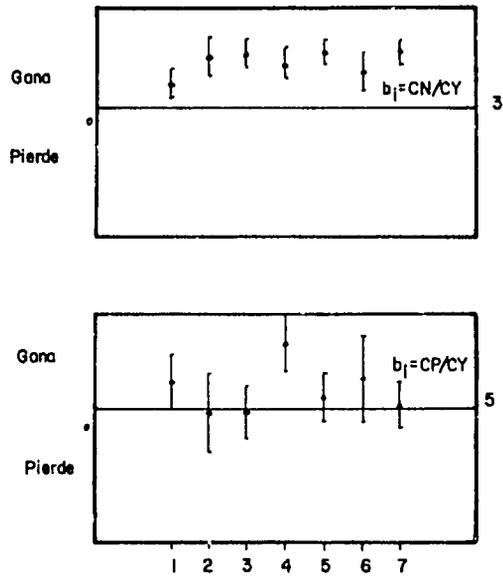


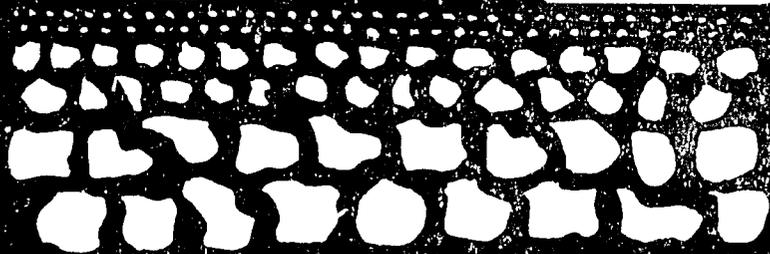
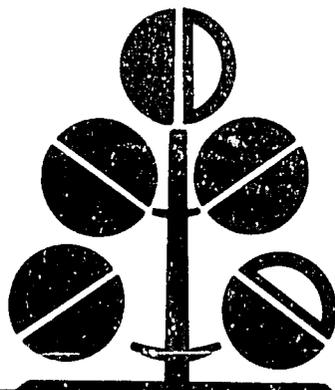
Figura 4. Nivel crítico para los estimadores de N y P.

LITERATURA CONSULTADA

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Informe de la Cuarta Conferencia del IRPT para América Latina. CIAT, Cali, Colombia, 1981.
- ESPINOZA, E. Sistemas de producción de arroz de secano en América Central. s.n.t.
Documento presentado en: V Conferencia IRTP para América Latina, Cali, Colombia, 1983.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION AGROPECUARIA DE PANAMA (IDIAP). Informe Anual 1980-1981. Panamá, 1982. (Manuscrito).
- _____. Memoria Anual 1982. Panamá, República de Panamá, 1983.
- _____. Investigación en arroz; resumen de los logros y avances más importantes obtenidos por el IDIAP. Panamá, República de Panamá, 1983.
- INSTITUTO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y ELECTRIFICACION (IRHE). Precipitación mensual por año en la República Dominicana (1980-1982). Panamá, República de Panamá, 1982.
- LOPEZ, H. M., CUELLAR, F., ESTRADA y LASSO, R. Impacto de las políticas sectoriales en el cambio tecnológico en el sector agropecuario. Panamá, Ministerio de Planificación y Política Económica, 1983.
- PANAMA. DIRECCION DE ESTADISTICA Y CENSOS. Situación económica; producción de arroz, maíz y frijol (1950-1980). Panamá, 1980.
- _____. Estadísticas provinciales. Panamá, 1981.
- PERDOMO, A. J. Modelo de supervisión fitosanitaria como respuesta al uso indiscriminado de plaguicidas. Panamá, República de Panamá, IDIAP. 1982.

Parte IV
APLICACIONES PRACTICAS:
Guía de campo

Alfredo Alvarado, Ph. D.
María Inés Mora, Ing. Agr.



El ambiente físico Costarricense

CLIMA

En general el clima costarricense se ve afectado por la posición geográfica (latitud y longitud), la continentalidad (montañas y orografía), corrientes marinas y vientos.

Las zonas climáticas más importantes de Costa Rica se pueden definir en el sistema de Koeppen como: tropical lluviosa (Afw", Afw', Anw' y Aw'i), templado húmeda (Cfa) y templado lluviosa (Cw'a). El clima Afw" es típico de la región atlántica norte, en donde no se presenta verano. Los suelos principales de la zona son mal drenados y se clasifican en Histosoles (suelos orgánicos) e Inceptisoles (antiguos Latosoles y Planosoles).

La zona de Palmar Sur presenta un clima Afw', que no es tan húmedo como el anterior; la cantidad de lluvia favorece el desbordamiento estacional de los ríos, de cuyos depósitos se forman suelos aluviales con alto potencial agrícola. Estos suelos, en su mayoría Inceptisoles, son muy recientes y no presentan gran desarrollo debido a su constante rejuvenecimiento por sedimento aluvial.

El clima Anw' se encuentra en San Isidro de El General. La lluvia es abundante, existe un verano corto y en esta zona, de drenaje libre, ocurre acumulación de arcilla. Dada la cantidad de lluvia, la mayoría de las bases (Cl, Mg, K y Na) se lavan y la reacción del suelo es ácida (pH 5,0); aquí dominan los Ultisoles (antiguos Latosoles).

VEGETACION

En términos generales la vegetación natural de Costa Rica se divide en el pantano (palmas y mangle); el bosque denso de hoja ancha verde (bosque húmedo, piso tropical); el bosque desido abierto y sabanas (bosque seco, piso tropical); el bosque templado (piso Montano Bajo a Premontano); el bosque de roble siempre verde (bosque frío y húmedo, piso Montano y el páramo (piso Subalpino).

El bosque denso de hoja ancha es el más variado; bajo este tipo de vegetación se pueden encontrar muchos tipos de sustratos, aunque hay una tendencia a que se encuentren sobre suelos rojos y pobres (Latosoles, Inceptisoles y Ultisoles). La Influencia de

este tipo de vegetación sobre las propiedades del agua de lluvia y del suelo fueron estudiadas y se hallaron variaciones en la composición y el pH del agua en diversas partes del ecosistema (variaciones del pH de 3,5 a 7,6).

El bosque desiduo y de sabana domina la región de Guanacaste. Este tipo de vegetación afecta el desarrollo del suelo en forma diferente a la anterior, principalmente porque su acción es estacional.

En la época de verano los árboles y los pastos pierden su follaje (lo dejan caer o se secan), adicionando gran cantidad de materia orgánica a la superficie del suelo. Este fenómeno se complementa con su mineralización violenta al entrar la época lluviosa y con la formación de un tipo de humus muy diferente al de otras zonas vegetales. Se afecta así la morfología del perfil (horizontes más delgados y con menos materia orgánica) y la disponibilidad de nutrimentos a través del año.

El bosque de roble siempre verde domina la región de Talamanca. Es importante en la génesis de los suelos pues favorece la podsolización (pérdida de hierro y aluminio, con acumulaciones de sílice) y forma de Podsoles enanos.

En adición, a menudo se encuentra bajo ellos una capa delgada de óxido de hierro endurecida (horizonte plácido) que es un impedimento para el crecimiento radical y la infiltración del agua.

El bosque templado no afecta mucho la formación de suelos porque se encuentra en áreas de vulcanismo activo, fenómeno que enmascara su influencia. Además, ésta es el área cafetalera del país, en la cual la vegetación original ha sido eliminada casi por completo.

El páramo es importante pues produce una vegetación de tipo xerofítico, alta en sílice y de difícil descomposición. A partir de este material orgánico se forman los Histosoles en las partes más altas de Costa Rica.

Por el contrario, el pantano se encuentra en los sitios más bajos del territorio y favorece la formación de un suelo muy particular conocido como "cat clay" (Sulfaquent) con colores gris verdosos y mucha vistosidad.

GEOLOGIA Y MORFOLOGIA

En términos generales se puede decir que Costa Rica se divide en dos zonas: 1) Plano-onduladas y 2) Ondulado-montañas. Esta división se hace con fines explicativos, puesto que la variación del relieve en el país es una de las más complicadas posibles. En las giras de campo de este foro se visitaron dos zonas "planas" (Guanacaste y el valle del General) y dos zonas "montañas" (el Volcán Irazú y el Cerro de la Muerte).

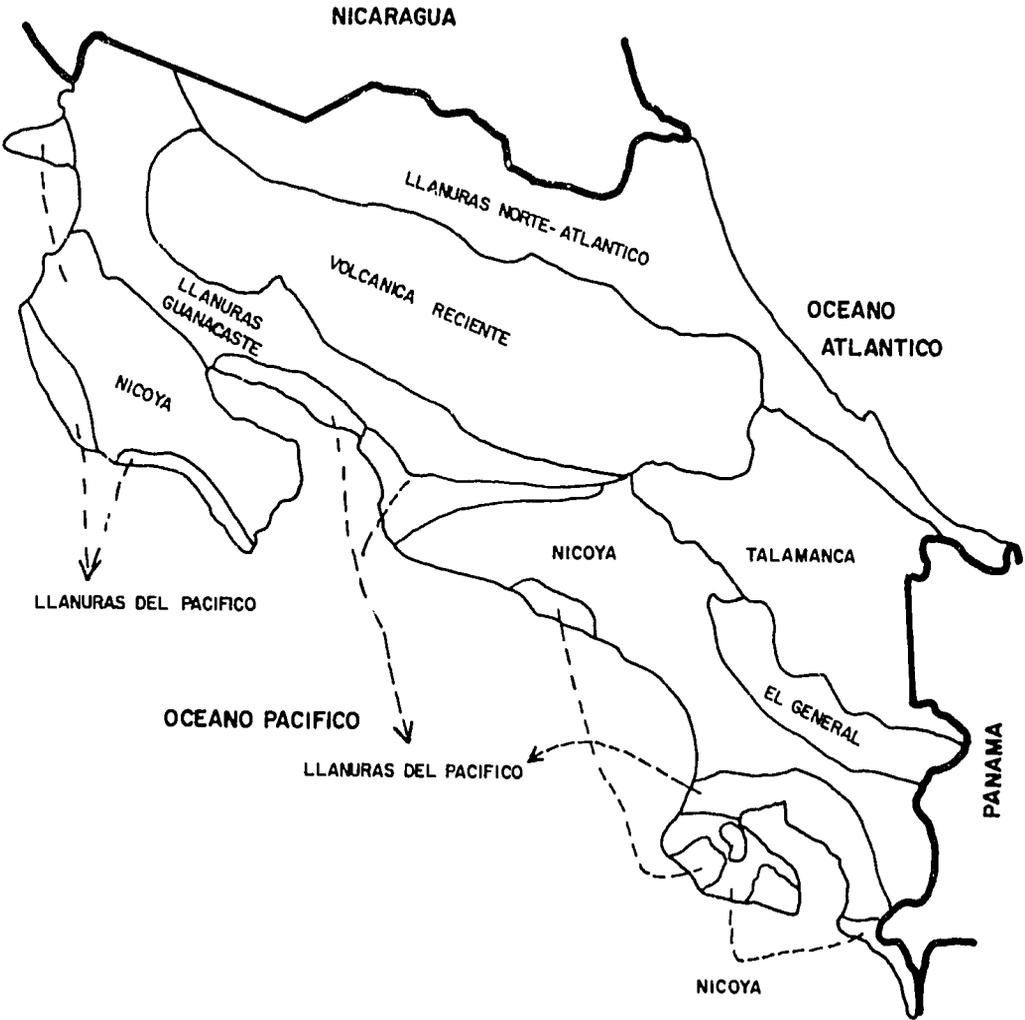


Figura 1. Relieve de Costa Rica

Zonas Plano-onduladas

Llanura Norte-Atlántica. Esta área se extiende desde los flancos orientales de las cordilleras Central y de Guanacaste, hasta el río San Juan y el mar Caribe. Por el sur se prolonga hasta el contacto con las rocas plegadas, sedimentarias de la vertiente Caribe de la Cordillera de Talamanca.

Dicha llanura es el resultado de un intenso aluvionar. El material es predominante de origen volcánico. Presenta una superficie plana y en algunos sitios es ligeramente ondulada. Esta ondulación es ocasionada en gran parte por un paleo relieve que corresponde con tobas y corrientes de lodo en mayor grado de meteorización que las rocas superficiales, y que tienen por efectos de erosión la forma de lomeríos bajos, sobre los cuales se depositaron materiales aluviales recientes.

Algunos abanicos aluviales que pertenecen a esta área se describen como ejemplos a continuación:

Abanico aluvial de Santa Clara. Se localiza en el norte del país, a unos 5 km al oeste de Ciudad Quesada. Este abanico ha sido formado por los ríos La Esperanza, San Lorenzo, Pavas, La Balsa, Santa Rita, La Vieja, Ron Ron, Peje y Quebrada Grande.

La superficie del abanico está cortada por numerosos cauces, de poca profundidad, espacios interfluviales de unos 100 m de ancho, planos y muy poca pendiente.

Abanico aluvial del río Chirripó-Sucio. Se localiza al norte del país, al pie del macizo del Barba y del Irazú. Su vértice se encuentra a unos dos kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Parrita y Sucio. Su largo se estima en 14 km y su máximo ancho en 16 km. Su superficie es plana excepto donde es cortada por los ríos.

Abanico aluvial del río Toro Amarillo. Se encuentra cubriendo la población de Guápiles, en la llanura atlántica. Su vértice está a unos 10 km al sur de Guápiles. Su mayor longitud es de 16 km y su máxima anchura de 14 km. Su superficie es plana y los ríos que la cortan tienen laderas casi verticales.

Valle del río Sixavela. Se localiza cerca de la frontera con Panamá, del lado atlántico. Su superficie es plana, casi horizontal pero con muchos canales abandonados. Es un relleno aluvial del tipo de llanura de inundación.

Abanico del río Reventazón. Se localiza a 10 km al oeste de Siquirres. El vértice de este abanico se ubica a unos 6 km al suroeste de la estación del ferrocarril llamada Junta. Su superficie es plana y poco disectada por cauces.

Llanura de Guanacaste. Se localiza en la provincia de Guanacaste. La unidad se inicia a unos 8 km al norte de Guardia y se extiende hacia el sur por 60 km hasta llegar al Golfo de Nicoya. Su máxima elevación es de 50 msnm, por lo tanto su pendiente es de 0,08 por ciento. En ella se inscribe uno de los principales ríos del país, el Tempisque. Se describe como una vasta depresión, rellena por aluviones. Es una de las regiones agrícolas más prosperas del país, tanto por su clima (dos estaciones: una seca y una lluviosa de cinco meses) como por sus suelos fértiles, producto de los limos fluvio-lacustres y por las cenizas y material fragmentario volcánico.

El General. Se localiza formando un relleno en el área conocida como valle de El General. En conjunto constituye una coalescencia de abanicos, que se extiende hasta la frontera con Panamá. Su vértice se encuentra en cada abanico al pie de la Cordillera de Talamanca. En la superficie del abanico hay canales abandonados, pero los espacios interfluviales son anchos. Desde el río Pedregosa hasta la confluencia con el Coto Brus, el valle mide 70 km y de ahí a la frontera hay 40 km más. Los abanicos tienen una longitud promedio de 10 km desde su vértice hasta el río General. El material formador de estos abanicos proviene de la Cordillera de Talamanca y está representado por fragmentos blocosos de granito, granodiorita, gabro, andesita y basalto.

Llanura del Pacífico. Se encuentra en la costa del Pacífico. Su formación se debe al producto de los aluviones actuales y a los sedimentos fluviales depositados por el sistema hídrico del país. Es una zona de colonización en áreas marítimas por una asociación vegetal conocida como Manglar que caracteriza al nivel intertidal de los litorales lagunares, así como las zonas deltaicas.

Zonas Ondulado-Montañas

Volcánica reciente. Se origina a partir de la Cordillera de Tilarán y los cerros del grupo Aguacate. Se trata de un vulcanismo joven, muy activo y predominantemente andesítico que constituye grandes edificios volcánicos, cuyos máximos imponentes son el Irazú, Turrialba, el Poás y el Rincón de la Vieja.

Cordillera de Talamanca. Es el eje central del país, el cual prácticamente originó Costa Rica, cerrando la unión existente entre el Caribe y el Pacífico. Comienza con una fase volcánica de tipo marino, alcanzando una altura de casi 4000 metros sobre el nivel del mar. Sobre las cumbres más elevadas en esta Cordillera se encuentra el Cerro Chirripó, con una altura de 3819 metros.

Nicoya-Santa Elena. La estructura en estas zonas se compone tanto de rocas sedimentarias como volcánicas. Se trata de un modelo muy gastado, plegado en varias partes y muy fracturado. En la península de Nicoya se encuentran valles profundos que adoptan varias formas (V). Las costas sur y este de dicha península están edificadas sobre calizas, principalmente de tipo arrecifal, cuyos remanentes conforman las pequeñas islas del Golfo de Nicoya. Algunas calizas del área presentan fenómenos de karsificación. La península de Santa Elena constituye la mayor parte del área de la zona. La fuerte erosión ha formado gran cantidad de divisorias con características muy similares, dada la homogeneidad de la roca peridotítica que la constituye. Las divisorias son angostas.

Características de las zonas visitadas

Volcán Irazú

En la sección oriental de la Meseta Central (62 900 ha), hay 13 300 hectáreas de suelos formados en gran parte en cenizas volcánicas; 10 000 hectáreas de suelos con alguna parte del perfil formada en ceniza y 8800 hectáreas de suelos formados de materiales mezclados (casi todos transportados por agua) que contienen ceniza (Knox y Maldonado, 1969). En la sección occidental (130 400 ha) hay 38 400 hectáreas de suelos formados en gran parte a partir de ceniza, 600 hectáreas con alguna parte del perfil formada a partir de ceniza y 24 300 hectáreas de materiales mezclados que contienen ceniza. Dentro de estas áreas de estudio, una gran parte de los suelos que no tienen ceniza están en las pendientes montañosas de la Cordillera de Talamanca, al sur. Las áreas de estudio no comprenden sino las pendientes más bajas de los cuatro volcanes. El área de los suelos formados en depósitos profundos de cenizas fuera de estas áreas de estudio, con seguridad pasa de 100 000 hectáreas.

Los volcanes Irazú y Turrialba, los más cercanos a la ciudad de Turrialba, constituyen un macizo (Figura 2). La ruta de la excursión atraviesa el franco sur del macizo y asciende a la cima del Irazú.

Esta es una área tropical húmeda. De este a oeste, la exposición cada vez menor a los vientos dominantes del este y noroeste (Knox y Maldonado, 1969), está correlacionada con la precipitación total decreciente y la intensidad cada vez mayor de la estación seca. Las temperaturas son uniformes durante el año y

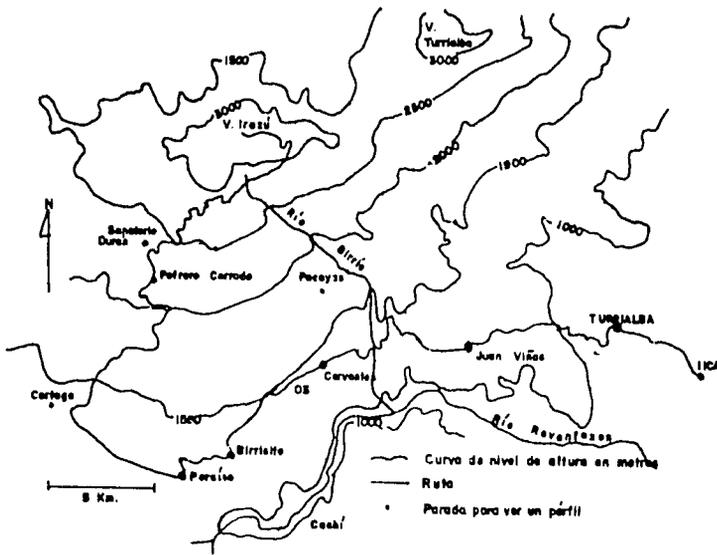


Figura 2. Mapa de la ruta de Turrialba al volcán Irazú, Costa Rica.

disminuyen con la elevación. De acuerdo con Coen, el cambio es de 22°C a 600 m a 9°C a 3000 m.

La vegetación original fue de bosques (Knox y Maldonado, 1969), pero ha sido reemplazada casi completamente por café y caña de azúcar hasta alturas de 1500 m y por pastos y hortalizas a elevaciones mayores.

Instituto a Turrialba. Los suelos, en su mayor parte de las series La Margot e Instituto (*Op. cit.*), son casi planos, con drenaje algo imperfecto, con horizontes superficiales de color oscuro y con texturas franco arcillosas a arcillosas. Se han desarrollado sobre materiales aluviales y lacustres, de acuerdo con Dóndoli y Torres. Las frecuentes y grandes piedras que se encuentran dentro de los perfiles y las irregularidades de la superficie son difíciles de explicar, de acuerdo con esta interpretación. Estas características sugieren un origen propio de corrientes de barro. Los suelos dominantes probablemente son Dystropepts y Tropaquepts.

Perfil 1: datos de campo a laboratorio

Fuente	: Enx y Maldonado, 1990.
Lugar	: Cerca de la cima del volcán Irazú; 2,3 km al sur del cráter medio, en pastizal al oeste del río Irazú y norte del camino a 18 metros cuesta arriba del resto de un gran árbol, cerca de un camino de campo; 39,5 km este y 216 km norte en la hoja topográfica del Irazú (3443 IV), Cartago.
Forma del terreno	: Pendiente corta de campo a vista. Ladera del volcán, en una cresta estrecha (10 m) entre valles de corrientes profundas y estrechas. No hay ninguna posibilidad aluvial o coluvial.
Elevación	: 2900 msnm.
Temperatura media anual	: Probablemente alrededor de 9°C.
Precipitación	: Probablemente alrededor de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje	: Bueno. El suelo húmedo al muestreo, sin manto freático.
Clasificación	: Umbric Vitrandept.
Vegetación	: Pastos; hierba, lupinos y otras herbáceas, con robles y otros árboles.
Horizonte (cm)	: Descripción (color en húmedo, a menos que se indique expresamente)
C 0-13	Negro (10YR2/1) en seco, mezcla de los colores de granos individuales, arena fina; sin estructura; suave muy friable; no adherente; no plástico; muchas raíces en la parte superior; con capas delgadas (1 a 2 cm) de arena media; límite inferior abrupto y ondulado.
11A2b 13-22	Pardo muy oscuro (10YR2/2) franco; estructura en bloques subangulares, muy fina, débil; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, pocos poros tubulares muy finos; muchos granos de arena limpios, raíces comunes, muchas raíces muertas en la parte superior, límite inferior claro y plano.
11B1b 22-38	Pardo muy oscuro (10YR2/2) franco arenoso fino, sin estructura; friable; ligeramente adherente; ligeramente plástico; pocos poros tubulares muy finos, casi todos los granos de arena están limpios; muchas raíces; el límite inferior es gradual.
11B2b 38-58	Pardo muy oscuro (10YR2/3) franco arenoso (más arcilla que en el horizonte anterior); estructura en bloques subangulares muy finos, débil friable, ligeramente plástico; frágil; muchos poros tubulares muy finos y pocos finos, granos de arena limpios comunes; pocas raíces; límite inferior gradual.
1V83b 58-75	Pardo muy oscuro (10YR2/3), bandas comunes de color pardo amarillento a lo largo de canales viejos de raíces; franco arenoso; estructura en bloques subangulares, muy fina; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, frágil; pocos poros tubulares muy finos comunes; quinas pequeñas comunes; granos de arena gruesa y muy gruesa comunes; granos de arena limpios comunes, pocas raíces, límite inferior claro y ondulado.
VC 75-105	Pardo muy oscuro (10YR2/2), bandas de color pardo amarillento a lo largo de canales viejos de raíces; franco arenoso; sin estructura friable, ligeramente plástico, frágil; pocos poros tubulares muy finos; granos de arena limpios comunes; muy pocas raíces; capa intermitente de arena gruesa en el límite inferior, con pocos pedazos de carbón y fragmentos de suelo rojizo quemado; límite inferior claro e irregular.
V1Bb 105-120	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), pocas bandas de color pardo amarillento a lo largo de viejos canales de raíces; franco arenoso fino, estructura en bloques subangulares muy finos, débil; friable, ligeramente plástico, ligeramente adherente, pocos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces.

Cuadro 1. Características físico-químicas del perfil 1.

Hori- zonte	Profun- didad cm	Densidad aparente g/cc	Granulome- ría			Fracciones de arena				
			Arena %	Limo %	Arcilla %	Muy gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy fina
-----Porcentaje del total de arena-----										
C	0-13'	nd	75	21	4	0,4	6,9	52,3	34,3	6,1
IIA1b	13-22	0,8	69	29	2	0,6	4,7	28,7	50,1	16,0
IIB1b	22-38	1,1	67	25	8	0,9	9,4	31,6	51,0	7,2
IIIB2b	38-58	0,9	62	28	10	2,6	8,5	29,1	53,0	6,8
IVB3b	58-75	0,9	62	29	9	12,5	7,7	20,7	48,8	10,4
VC	75-105	1,1	75	20	5	1,0	9,2	35,5	48,0	6,2
VIBb	105-120	1,0	65	26	9	0,4	4,5	27,7	55,7	11,6

Hori- zonte	pH			C. I. C.* NH ₄ OA _c	Bases intercambiables			Satura- ción en bases (%)	Humedad 15 bar. (%)	Materia orgánica (%)
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂		Ca	Mg	K			
-----meq/100g-----										
C	5,5	5,0	0,9	0,8	0,1	0,1	0,2	50	nd	1,2
IIA1b	4,5	4,3	8,2	13,0	0,6	0,7	0,5	14	38	17,3
IIB1b	5,1	4,7	8,3	11,5	0,4	0,3	0,1	7	21	8,4
IIIE2b	5,5	5,1	9,4	12,0	0,6	0,3	0,2	9	23	6,5
IVB3b	5,5	5,1	5,7	10,1	0,4	0,2	0,1	7	26	6,2
VC	5,6	5,3	2,8	3,8	0,1	0,1	0,1	8	17	3,9
VIBb	5,8	5,5	7,5	5,7	0,1	0,1	0,2	7	24	3,5

* Capacidad de intercambio catiónico.

Perfil 2: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Knox y Maldonado, 1969.
Lugar	: Entre Cervantes y Paraíso; norte de la carretera; en un campo que pertenece al Sr. Irola; 22 m al sur del extremo occidental de una línea de cuatro árboles, 45 m al oeste de un árbol en la cerca que bordea la carretera; 205,8 km norte y 554,4 km este, hoja topográfica Istarú (3445 IV), Cartago.
Forma del terreno	: Pendiente larga y regular del 10 por ciento. Pendiente lateral del volcán.
Elevación	: 1500 msnm
Temperatura media anual	: Alrededor de 19°C
Precipitación	: Cerca de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje	: bueno. Suelo húmedo cuando se tomó la muestra, sin manto freático.
Vegetación	: Pasto no mejorado y con muchas malezas.
Clasificación	: Serie Birrisito. Typic Dystrandept
Horizonte (cm)	: Descripción (color en húmedo)
Ap 0-30	Negro (10YR2/1) franco; estructura granular muy fina, moderada, friable, ligeramente adherente, liperamente plástico; muchos poros intersticiales muy finos, pocos poros tubulares; muchas raíces muy finas, límite inferior claro y plano.
A12 30-80	Negro (10YR2 4.5/1) franco; estructura en bloques subangulares, fina, moderada, que se rompe a estructura granular muy fina fuerte, friable, ligeramente adherente, liperamente plástico; muchos poros intersticiales y tubulares muy finos, muchas krotovinas; muchas raíces muy finas; una piedra amolosa y un fragmento de artefacto de cerámica cerca del límite inferior; muy variable, abrupto, claro e irregular.
11B1 80-120	Pardo oscuro (10YR4/3, con variación a 4.4 y 4.3) amarillo limoso; estructura en bloques subangulares muy fina y fina débil, que se rompe a estructura granular muy fina moderada; friable, adherente, plástico; muchos poros tubulares finos; pocos granos cara blancos, otros negros comunes y pocos rojizos de menos de un mm de diámetro; horizonte muy variable; 30 por ciento de inclusiones de 10 a 15 cm de sección, de material semejante al de los horizontes subyacentes y en menor proporción de los subyacentes; límite inferior claro, gradual y ondulado.
11B21 120-160	Pardo vivo (7.5YR4/6) amarillo limoso; estructura en bloques subangulares muy fina, moderada; friable; adherente, plástico; muchos poros tubulares muy finos; pocas concreciones rojizas suaves; de 2 a 5 mm de diámetro; pocos granos cara blancos de menos de un mm de diámetro; pocos granos arena negra; inclusiones de 5 a 15 cm de sección, de material similar al B1 y B2; muchas raíces, límite inferior gradual.
11B22 160-195	Pardo vivo (7.5YR4/6) amarillo limoso; estructura media débil en bloques subangulares, que se rompe a moderada fina y muy fina; friable, adherente, plástico; muchos poros tubulares muy finos; pocos granos cara blancos de menos de un mm de diámetro; pocos granos de arena negra; pocas raíces; límite inferior claro y plano.
11B23tb 195-210	Pardo (7.5YR4/4) amarillo limoso; estructura en bloques subangulares media, moderada, firme, adherente, plástico; poros tubulares muy finos comunes; revestimientos comunes (láminas de arcilla) sobre los pedis, algunos rojizos; pocos revestimientos neutros pequeños; pocas concreciones rojizas, de 2 a 5 mm de diámetro; pocas raíces.

Cuadro 2. Características físico-químicas del perfil 2.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
Ap	0-30	0,7	20	51	29	65	23,7
A12	30-80	0,6	poor dispersión			84	14,1
IIB1	80-120	0,6	poor dispersión			80	8,2
IIB21	120-160	0,6	poor dispersión			110	4,6
IIB22	160-195	0,5	poor dispersión			120	4,0
IIB23tb	195-210	0,5	poor dispersión			130	3,3

Horizonte	pH		C. I. C.* NH ₄ OA _c	Bases intercambiables		Saturación de bases %		
	H ₂ O	CaCl ₂		Ca	Mg			
-----meq/100g-----								
Ap	5,6	4,9	14,5	47,4	0,3	0,6	0,2	2
A12	6,1	5,1	15,1	48,6	0,7	0,6	0,1	3
IIB1	6,4	5,6	9,8	37,7	0,1	0,2	0,1	1
IIB21	6,4	5,7	7,6	35,9	0,1	0,2	0,1	1
IIB22	6,6	5,7	7,0	34,4	0,2	0,3	0,1	2
IIB23tb	6,6	5,7	12,3	41,6	0,2	0,5	0,1	2

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 3: datos de campo y de laboratorio.

Fuente	: Knox y Maldonado, 1969.
Lugar	: Foreste de Piráiso; 1,6 km al suroeste del restaurante Posada de la Luna, en Cervantes corte nuevo en el camino en el lado sur del mismo; 556,2 km este y 207 km norte, hoja topográfica Istarú (3445 IV), Cartago.
Forma del terreno	: Pendiente corta de 18 por ciento. Manto de lava muy irregular. Diferencias de nivel de más de 5 m, dentro de una distancia horizontal de 30 a 20 m. Muchas depresiones cerradas. Pendiente media de alrededor de 5 por ciento.
Pedregosidad	: Extremadamente pedregoso. Las pequeñas depresiones cercanas no son pedregosas.
Elevación	: 1440 msnm.
Temperatura media anual	: Alrededor de 19°C
Precipitación	: Alrededor de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje	: El suelo estaba húmedo cuando se tomó la muestra, sin manto freático.
Vegetación	: Hierba y maleza, pasto, hortalizas y caña de azúcar en los alrededores.
Clasificación	: Serie Cervantes. Umbric Vitrandept.
Horizonte (cm)	: Descripción (color en húmedo)
A1 0-30	Negro (10YR2/1 ó 1/1) franco; estructura en bloques subangulares fina fuerte; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales muy finos; 30 por ciento de fragmentos gruesos; muchas raíces muy finas; límites interiores claro y ondulado.
B2 30-80	Pardo oscuro (7,5YR3/4) franco arcilloso, estructura en bloques subangulares fina y muy fina, fuerte; friable, adherente, plástico; muchos poros intersticiales muy finos; 40 por ciento de fragmentos gruesos*, raíces comunes; límites interiores gradual y ondulado.
11B3 80-130	Pardo oliva (2,5YR3/3) franco, estructura en bloques subangulares fina, débil; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástica; muchos poros tubulares muy finos, 50 por ciento de fragmentos gruesos*; raíces comunes; límite inferior gradual y ondulado.
11C 130*	Gris oliva claro (5YR6/2, que va desde 6/1 hasta 6/3) franco arenoso; sin estructura; friable, no adherente, no plástico; 70 por ciento de fragmentos gruesos; no hay raíces.

* Los fragmentos gruesos incluyen grujas, guijarros y piedras de lava andesítica, con pocos indicios de meteorización. Los cálculos estimados son en volumen. En el caso de los dos últimos horizontes, especialmente, este material se podría considerar como roca fragmentada subyacente.

Cuadro 3. Características físico-químicas del perfil 3.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
A1	0-30	0,6	32	32	36	100	35,2
B2	30-80	0,8	poor dispersión			87	0,0
IIB3	80-130	n.d.	poor dispersión			43	0,5
IIC	130-140	n.d.	poor dispersión				

Horizonte	pH-----		C. I. C.* NH ₄ OA _c	Bases intercambiables			Saturación de bases %	
	H ₂ O	CaCl ₂		Ca	Mg	K		
	-----		-----meq/100g-----					
A1	5,5	4,9	22,4	53,8	1,0	0,7	0,2	4
B2	6,1	5,4	8,0	36,1	0,0	0,0	0,1	0
IIB3	6,4	5,8	6,2	22,5	0,0	0,0	0,1	0

* Capacidad de Intercambio Catiónico.

Perfil 4: datos de campo y de laboratorio.

Fuente	: Knox y Maldonado, 1969.
Lugar	: Finca La Victoria, este de Juan Viñas; corte en el lado sur de un camino de campo; alrededor de 18 m al suroeste de la intersección con otro camino; 0,2 a 0,3 km al sur de la carretera (Turrialba-Juan Viñas) 566,6 km este y 209,5 km norte, hoja topográfica Tucurrique (3445I), Cartago.
Forma del terreno	: Pendiente larga y regular de 8 por ciento. Cresta ancha en tierra alta con incisiones de corrientes.
Elevación	: 1200 msnm
Temperatura media anual	: Alrededor de 21°C
Precipitación	: Alrededor de 3800 mm por año, con estación seca muy pequeña o sin ella.
Drenaje	: Bueno. El suelo húmedo al muestreo, sin manto freático.
Clasificación	: Serie Birrisito. Oxíc Dystrandept.
Vegetación	: Caña de azúcar
Horizonte (cm)	: Descripción (color en húmedo)

(El perfil muestra gran variación en la profundidad, espesor y topografía del límite entre el horizonte A y el horizonte B. Se encontró una capa grisácea (2,5YR5/3) inmediatamente bajo el horizonte A, cuyo espesor variaba de 0 a 50 cm, sin relación con la superficie topográfica actual).

Ap 0-38	Negro (19YR2/1) franco arcilloso; estructura en bloques subangulares fina y muy fina moderada que se rompe, a granular muy fina moderada friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales; raíces muy finas comunes; límite inferior claro y ondulado.
A12 38-72	Negro (10YR1/1) franco arcilloso; estructura en bloques subangulares y granular muy fina fuerte; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, muchos poros tubulares e intersticiales; raíces comunes límite inferior muy variable, abrupto, claro y gradual e irregular.
11B21 72-100	Pardo oliva claro (2,5YR5/4) arcilla; estructura en bloque subangular fina y muy fina débil; friable, muy adherente, plástico, graso, poros tubulares muy finos comunes; granos blancos comunes de 0,5 a 2 mm de diámetro; pocas raíces; 20 por ciento de inclusiones de material semejante al del horizonte A12; límites inferiores gradual y ondulado.
11B22 100-141	Como B21 con estas excepciones: pardo amarillento (10YR5/6); estructura media, fina y muy fina; 20 por ciento del horizonte es 10YR5/8, 10 por ciento 2,5YR5/4.
11B23 141-170	Como B21, excepto en: color pardo-amarillento (10YR5/4); estructura media, fina y muy fina; muchos poros; 10 por ciento del horizonte es 10YR5/6.
11B24 170-185	Como B21 excepto en: color pardo amarillento (10YR5/4); muchos poros; sin raíces; 25 por ciento del horizonte es de color 10YR6/3 y más claro.

Cuadro 4. Características físico-químicas del perfil 4.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
Ap	0-38'	0,5	19	44	37	100	24,7
A12	38-72	n.d.	17	42	41	120	22,5
IIB21	72-100	0,5	3	40	57	100	7,2
IIB22	100-141	0,6	4	33	63	87	0,0
IIB23	141-170	0,5	3	35	62	110	3,6
IIB24	170-185	0,6	3	29	68	110	4,9

Horizonte	-----pH-----			C. I. C.* NH ₄ OA _C	Bases intercambiables			Saturación de bases %
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂		Ca	Mg	K	
	-----meq/100g-----							
Ap	4,6	4,4	15,1	48,9	0,0	0,1	0,2	1
A12	5,0	4,5	14,5	55,0	0,0	0,0	0,1	0
IIB21	5,8	5,3	8,6	28,7	0,0	0,0	0,1	0
IIB22	5,9	5,4	9,0	28,9	0,0	0,0	0,2	1
IIB23	5,9	5,4	8,5	35,0	0,0	0,0	0,1	0
IIB24	5,7	5,5	8,4	29,2	0,0	0,0	0,1	0

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Zona Sur (Cerro de la Muerte)

Costa Rica está dividida longitudinalmente por tres cordilleras, siendo la de Talamanca la más oriental. Esta última cordillera, altamente disectada, cubre aproximadamente la octava parte del país e incluye los picos más elevados entre los cuales se encuentra el Cerro de la Muerte (Buena Vista).

La Carretera Interamericana cruza el Cerro de la Muerte, pasando por la divisoria de aguas de Costa Rica. Sobre los 2500 msnm y hasta los 3500 msnm en sentido Costa Rica-Panamá, la carretera tiene unos 40 kilómetros.

Toda la región estudiada se considera del Terciario, dominando los basaltos en las secciones más elevadas (perfiles 1 y 2) y las cenizas riolíticas en las más bajas (perfiles 4 y 5). El perfil 3 se desarrolló sobre brechas.

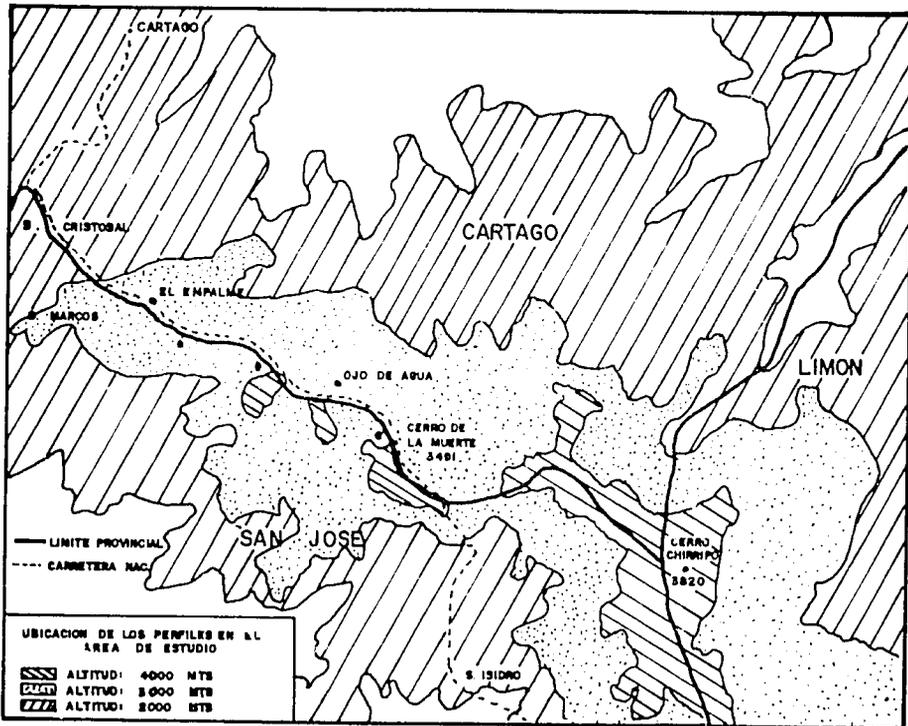


Figura 3. Localización del área de estudio en el Cerro de la Muerte.

Ecológicamente el área bajo estudio se encuentra en el bosque pluvial montano, presentando cuatro zonas de vegetación bien definidas. En las partes altas dominan las gramíneas (*Agrostis* sp.) que al descender cambian a *Chusquea* sp. y a la tercera zona conformada por una asociación arbustiva de *Senecio-Diplosteghium-Hipericum*. Esta última vegetación separa el "páramo" del bosque siempre verde, nuboso, húmedo y frío de *Quercus* sp., cambio que ocurre a los 3000 msnm y se atribuye principalmente a varios factores, en especial al clima.

La zona posee un clima templado lluvioso y templado húmedo. En las secciones bajas caen 2000 mm de precipitación y en las cumbres 2700 mm. Toda la región presenta un período relativamente seco desde mediados de diciembre hasta mediados de abril (mes seco = 40 mm) y otro húmedo y nublado durante el resto del año, por lo que el régimen de humedad del suelo es údico. Los cambios en temperaturas son inversos a los cambios en elevación. De los valores encontrados en las cumbres se puede observar que, al igual que la precipitación, la temperatura presenta dos períodos: uno frío (correspondiente al seco) con valores que pueden variar desde - 1,0 hasta 24°C (oscilación diaria promedio de 14°C hasta 24°C (oscilación diaria promedio de 11°C) durante los restantes meses. El régimen de temperatura del suelo es isomésico y cambia a isotérmico a menores elevaciones.

La zona de Talamanca ha sido la menos estudiada de todo el país y la información sobre sus suelos es muy contradictoria. Así, los suelos se han clasificado como Lateríticos, Litosoles y como una asociación Espodosol-Ultisol, en un período de 20 años, lo cual motivó a estudiar parcialmente dichos suelos.

Perfil 5: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Otárola, 1976.
Lugar	: El Empalme, Santa María de Dota, San José.
Forma del terreno	: Montañoso
Elevación	: 2500 msnm
Temperatura media anual	: Con un promedio de 14°C y con valores que pueden variar de 4 a 2°C.
Precipitación	: Alrededor de los 2000
Drenaje	: Drenaje externo malo, el interno es bueno.
Vegetación	: <i>Quercus</i> sp.
Clasificación	: Typic-Placo húmed.
Horizonte (cm)	: Descripción
0c 0-8	Raíces de pasto descompuestas. Estructura masiva; friable, franco limoso, ligeramente plástico y no adhesivo. Color 7,5YR5/6.
0t 8-18	Límite plano y difuso. Estructura masiva; friable, franco limoso, ligeramente plástico y no adhesivo. Color 2,5YR2/0.
A-2 18-21	Límite claro y plano. Estructura en bloque angular media débil. Franco limosa ligeramente plástico y ligeramente adhesivo. Color 2,5Y5/2.
B2h' 21-31	Límite ondulado y difuso, estructura en bloques angulares media moderada, franco limoso. Ligeramente plástico y ligeramente adhesivo. Color 10R2/1.
A-2' 31-46	Límite ondulado y difuso. Estructura en bloque angular media moderado, franco arenoso limoso. Es adhesivo y plástico; color 10YR3/2.
Eir 46-47	Es ondulado. Color 7,5YR5/2.

Cuadro 5. Características físico-químicas del perfil 5.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
Oe	0-8	0,45	20,42	58,92	20,66
Oi	8-18	0,22	14,96 ⁺	55,33	29,71
A-2	18-21	0,45	5,47	85,03	9,50
B2h'	21-31	0,43	3,77	55,24	40,99
A-2'	31-46	0,67	18,33	33,56	48,11
Bir	46-47		21,04	48,89	30,07
C		0,83	23,79	42,82	28,39

Horizonte	-----pH-----				C.I.C* -----	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF			Ca	Mg	K			
			1'	60'							
Oe	4,3	4,0	10,7	10,8	16,95	4,0	1,41	0,92		14,45	
Oi	4,5	3,5	8,0	7,7	18,80	8,8	2,32	1,2		51,52	
A-2	4,4	3,4	8,0	7,9	13,17	8,6	1,00	0,46		19,55	
B2h'	4,4	3,4	8,8	8,5	19,94	7,4	1,00	0,38		20,34	
A2'	4,4	3,6	11,3	10,5	4,15	0,7	0,58	0,29		11,34	
Bir	4,6	4,0	10,8	11,4	14,24	0,6	0,66	0,33		10,54	
C	5,2	4,0	11,4	11,8	11,81	0,6	0,50	0,13		5,25	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 6: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Otárola, 1976.
Lugar	: Casa Mata, Santa María de Dota, San José.
Forma del terreno	: Microtopografía ondulada. Pendiente de un 10%.
Elevación	: 3000 msnm
Temperatura media anual	14°C
Precipitación	: 2500 mm
Drenaje	: Drenaje externo e interno bueno.
Vegetación	: Arrazán
Clasificación	: Typic-Placo húmedo
Horizonte (cm)	: Descripción:
0-2 0-7	Límite plano y abrupto, raíces descompuestas e pasto. Color 10R2/2.
A-2 7-10	Límite plano y difuso. Estructura en bloque subangular media y fina moderada, franco limoso, no adhesivo y no plástico. Color 10YR4/1.
Bsh 10-13	Límite plano y abrupto, estructura en bloque subangular media y fina moderada, limoso; muchas raíces muertas. No adhesivo y no plástico. Color 7.5YR5/2.
Wzhia 13-15	Horizonte plástico poco desarrollado. Es el impedimento para el crecimiento radical. Estructura masiva, color 7.5YR5/8.
BC 15-40	Límite plano y gradual. Algunos moteados amarillos; estructura masiva; franco arenoso. No adhesivo y no plástico. Color 2.5Y5/2.
C 40	Estructura masiva; franco arenoso, no adhesivo y no plástico. Color 10YR6/8.

Cuadro 6. Características físico-químicas del perfil 6.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
0-2	0-7		6,66	47,51	46,83
A-2	7-10		3,19	67,75	32,06
B2h	10-13		6,34	62,71	30,95
B2hir	13-15		12,88	62,16	24,96
BC	15-40		24,08	51,87	24,05
C	+40		42,36	37,43	20,21

Horizonte	-----pH-----				C.I.C*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF			Ca	Mg	K			
			1'	60'							
0-2	4,0	3,0	2,8	7,3	14,37	9,15	1,33	0,87		42,91	
A-2	4,2	3,2	3,2	8,0	11,70	4,70	0,83	0,39		16,10	
B2h	4,3	3,6	3,6	9,3	16,23	2,10	0,83	0,45		18,75	
B2hir	4,8	3,8	3,8	10,4	16,56	0,80	1,16	0,21		19,28	
BC	5,2	4,6	4,6	11,8	7,25	0,35	0,50	0,07		8,96	
C	5,2	4,4	4,4	11,7	1,50	0,50	0,66	0,05		12,66	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 7: datos de campo y de laboratorio.

Fuente	:	Otárola, 1976.
Lugar	:	Cerro de la Muerte o Cerro Buenavista; San José.
Forma del terreno	:	Relieve muy escarpado, aúspides y depresiones muy marcadas. Pendiente del 60 por ciento.
Elevación	:	3500 msnm
Temperatura media anual	:	Alrededor de 14°C con valores que pueden variar desde 4 hasta 24°C, con estación fría y húmeda.
Precipitación	:	Alrededor de los 2000 mm
Drenaje	:	Externo e interno medio. Hay un horizonte orgánico sobre álbico sobre espúlico.
Vegetación	:	Vegetación de páramo obnival subalpino. Predominan las gramíneas (<i>Agrostis</i> sp. y <i>Chusquea</i> sp.).
Clasificación	:	Lithic-Tropotolist
Horizonte (cm)	:	Descripción:
Oe		Material orgánico con actividad microbial (lombrices) abundante. Límite plano a contacto lítico. Color 5YR3/1.
0-8		

Cuadro 7. Características físico-químicas del perfil 7.

Horizonte	Profundidad (cm)			Densidad aparente g/ml			Granulometría		
	Arena %	Limo %	Arcilla %						
Oe	0-8			0,22			20,81*	15,25	63,91
Horizonte	H ₂ O	KCl	NaF	Ca	Mg	K	Saturación de bases	Humedad 15 atm	Materia orgánica %
Oe	4,7	4,8	10,1	9,1	12,91	4,0	3,99	1,4	38,28

* Capacidad Intercambio Catiónico.

San Isidro de El General

Los perfiles ubicados en las zonas sur (San Isidro de El General y Buenos Aires), se encuentran distribuidos en una faja altitudinal que varía entre los 400 a 900 msnm.

El clima de estas zonas es tropical húmedo, con temperaturas medias anuales que van de 24,2°C a 25,7°C y una precipitación pluvial que oscila entre 2686 a 3296 mm anuales, siendo poco variable.

Las precipitaciones en los meses de diciembre a abril son consideradas las más bajas y alcanzan valores inferiores a los 50 mm al año.



Figura 4. Localización del área de estudio en la zona sur.

Perfil 8: datos de campo y de laboratorio

Fuente	:	Macías, 1965.
Lugar	:	A dos km al noroeste antes de llegar a la ciudad de San Isidro del General sobre la carretera Cartago-San Isidro del General, aproximadamente 9° 24' N, 83° 44' O, San José.
Forma del terreno	:	Colinoso, pie de montaña. Ondulado y alomado. Pendiente del 13 por ciento.
Elevación	:	900 msnm
Temperatura media anual	:	24,2°C.
Precipitación	:	2684 mm años, tres meses de precipitación baja.
Drenaje	:	Buen drenaje.
Vegetación	:	Pasto cultivado, jaragua (<i>Hyparrhenia rufa</i>). Bosque húmedo, piso basal.
Clasificación	:	Typic Pale humults.
Horizonte (cm)	:	Descripción
A2 0-7		Pardo amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo y pardo (7,5YR5/4) en seco; arcilloso, estructura granular; grueso, moderado; ligeramente adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; raíces finas, abundantes; límite claro, ondulado.
A3 7-25		Pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo y pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4) en seco; arcilloso, estructura bloque subangular, mediano moderado; ligeramente adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos, raíces finas, abundantes; límite claro, ondulado.
B1 25-40		Pardo rojizo (5YR4/3) en húmedo y rojo amarillento (5YR4/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado, adherente plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, frecuentes; límite gradual ondulado.
B21 40-65		Rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, fuerte, adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos, raíces finas, comunes; límite gradual ondulado.
B22 65-105		Rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, fuerte, adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, pocas; límite claro, ondulado.
B3 105-160		Pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR5/3) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado, adherente, plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; revestimientos delgados, continuos, raíces finas, muy pocas.

Cuadro 8. Características físico-químicas del perfil 8.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Arena muy fina	Arena fina	Arena media
			Arena %	Limo %	Arcilla %			
A1	0-7	0,80	2,46	15,0	64,0	0,0	15,14	3,4
A3	7-25	0,84	1,22	11,8	78,0	0,04	6,95	1,79
B1	25-40	0,95	0,19	19,0	79,0	0,02	14,7	0,32
B21	40-65	1,04	0,15	18,5	78,5	0,01	2,46	0,38
B22	65-105	1,03	0,30	14,0	83,0	0,05	2,15	0,50
B3	105-160 +	1,01	0,43	15,7	78,3	0,32	4,46	0,59

Horizonte	pH		C.I.C.**	Bases intercambiables*			Saturación* bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	CaCl ₂		Ca	Mg	K			
-----meq/100g-----									
A1	5,3	4,7	33,0	1,2	0,7	0,1	6,0	36,5	14,5
A3	5,3	4,7	23,6	0,8	0,2	0,2	2,0	35,5	7,8
B1	5,4	4,6	20,9	0,6	0,1	0,1	3,8	33,3	1,9
B21	5,9	4,8	21,7	0,5	0,1	0,1	3,2	35,6	1,8
B22	6,0	4,8	23,0	0,2	0,04	0,1	1,4	35,6	0,9
B3	6,2	4,8	23,1	0,2	0,1	0,1	1,7	36,3	0,7

* Determinado con Acetato de amonio pH 7,0.

** Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 9: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Tosi, 1981.
Lugar	: San Isidro del General, San José.
Forma del terreno	: Ligeramente ondulado. Pendiente del 13 al 15 por ciento
Elevación	: 620 msnm
Temperatura media anual	: 18 a 24°C
Precipitación	: 4000 a 5000 mm
Drenaje	: Bueno a moderadamente rápido
Vegetación	: Pasto, presencia de palma real, amarillón y targuá.
Clasificación	: Tropeptic Haplustults, Arcilloso, Isohigrotérmico.
Horizonte (cm)	: Descripción:

Ap 0-6	Pardo amarillento oscuro (10YR3/4), en húmedo; Franco Arcilloso (FAR); granular, medios y finos, moderados; muy friable en húmedo; ligeramente adherente; plástico en mojado; poros, muchos, tubulares e intersticiales, interpedales; actividad de micro organismo, frecuente (lombrices); raicillas comunes, muy finas y finas; reacción negativa al HCl; pH 6,2; con límite claro y plano.
B1 6-30	Pardo amarillento oscuro (10YR3/6), en húmedo; arcilloso (Ar), bloques subangulares, medios débiles a moderados; friable en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; poros; muchos medios y finos, tubulares e intersticiales, continuos, traspedales e interpedales; actividad de macro organismos, poca (lombrices); raicillas pocas, finas; reacción negativa al HCl; pH 5,8; con límite gradual y plano.
B21t 30-63	Pardo amarillento (10YR4/6), en húmedo; arcilloso (Ar), bloques subangulares, medios y finos, moderados; muy friable en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; poros, muchos, medios y finos, tubulares, continuos, traspedales; cutanes finos (arcilla iluvial); raicillas, muy pocas, finas; reacción negativa al HCl; pH 5,7; con límite difuso y plano.
B22y 63-90	Pardo fuerte (7,5YR5/8), en húmedo, moteados, 2,5YR6/8, 20 por ciento, finos y tenues; arcilloso (Ar), bloques subangulares, finos, moderados; muy friables en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; poros, muchos, finos; trazas de grava de 0,5 a 1,0 cm de diámetro, en estado de meteorización; raicillas, muy pocas, finas; reacción negativa al HCl, pH 5,7; con límite claro y plano.
B23t 90-150	Pardo amarillento (10YR5/8) en húmedo; moteados rojos (2,5YR5/8). 35 por ciento finos y claros; bloques subangulares, medios, moderados, friable en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; poros muchos finos y muy finos, tubulares, continuos, traspedales; cutanes finos, arcilla iluvial; raicillas, muy pocas y muy finas; reacción negativa al HCl; pH 5,8.

Cuadro 9. Características físico-químicas del perfil 9.

275

Horizonte	Profundidad (cm)		Densidad aparente g/ml	Granulometría		
	Arena %	Limo %		Arcilla %		
Ap	0-6		34	34	36	
B1	6-30		24	28	48	
B21t	30-63		18	24	58	
B22y	63-90		20	20	60	
B23t	90-150		14	24	62	

Horizonte	pH		C.I.C*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %		
	H ₂ O	KCl		Ca	Mg	K					
-----meq/100g-----											
Ap	6,2	4,7	23,25	6,89	1,90	0,62	41,20	25,97	8,58		
B1	5,8	2,9	8,4	9,3	19,66	3,51	1,08	0,52	26,70	22,41	2,55
B21t	5,7	2,3	18,33	1,61	0,33	0,16	13,64	23,50	1,54		
B22y	5,7	1,7	19,09	1,15	0,14	0,07	8,96		0,60		
B23t	5,8	2,3	20,60	1,07	0,28	0,13	9,22		0,27		

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 10: datos de campo y de laboratorio

Fuente	:	Tosi, 1931.
Lugar	:	Del Peje, 2,5 km al sur de San Isidro del General, San José
Forma del terreno	:	Plano. Con una pendiente del 4 al 6 por ciento
Elevación	:	505 msnm
Temperatura media anual	:	25°C
Precipitación	:	2500 a 4000 mm
Drenaje	:	bueno a algo excesivo
Vegetación	:	Pastos. Bosque muy húmedo premontano transición a basal.
Clasificación	:	Ustic Plinthic Palehumults; Arcilloso, Isohipertérmico
Horizonte (cm)	:	Descripción:
A 0-40		Pardo oscuro (7,5YR3/2), en húmedo; franco arcilloso (FAr); bloques subangulares, medios; friable en húmedo; ligeramente adherente y plástico mojado; poros, muchos, finos, tubulares; raicillas; comunes, medias y finas; reacción negativa al HCl; pH 5,4; límite claro y plano.
B21t 40-70		Pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4), en húmedo; arcilloso (Ar); bloques subangulares, medios, firmes; friable en húmedo; adherente y plástico en mojado; poros, muchos, finos, tubulares, continuos; raicillas, muy pocas, finas; reacción negativa al HCl; cutanes definidos (arcilla iluvial); concentraciones ferromagnesianas (Plintita); pH 5,4, límite gradual y plano.
B22t 70-110		Rojo amarillento (5YR4/8), en húmedo; arcilloso (Ar); bloques subangulares, medios, moderados; friable en húmedo; adherente y ligeramente plástico en mojado; poros, muchos, finos, tubulares, continuos, cutanes definidos (arcilla iluvial); concentraciones ferromagnesianas. (Plintitas); reacción negativa al HCl; trazas de fragmentos gruesos gravas, fuertemente meteorizados; pH 5,6.

Cuadro 10. Características físico-químicas del perfil 10.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Clase textural
			Arena %	Limo %	Arcilla %	
A	0-40	---	65	32	33	Franco-arcilloso
B21t	40-70	---	10	26	61	Arcilloso
B22t	70-110	---	7	26	68	Arcilloso

Horizonte	pH		C.E.C.* Bases intercambiables			Saturación bases %	Humedad % 15 bar	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	Ca	Mg	E			
A	5,4	6	---	---	---	---	24,59	---
B21t	5,4	11	21,65	2,13	0,76	0,10	13,81	2,10
B22t	5,6	4	19,31	2,25	0,95	0,06	16,88	1,31

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 11: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Macías, 1969
Lugar	: La Piñera, Buenos Aires, al sur de San Isidro del General, provincia de Puntarenas.
Forma del terreno	: Llanuras con ondulaciones leves con una pendiente del 3 por ciento.
Elevación	: 500 msnm
Temperatura media anual	: 25,7°C
Precipitación	: Aproximadamente 3296 mm con precipitaciones bajas de 4 a 5 meses.
Drenaje	: Bueno
Vegetación	: Sabana, pastizal natural. Bosque tropical premontano húmedo.
Clasificación	: Orthoxic Palehumult, arcilloso, caolínfrico, isohipertérmico.
Horizonte (cm)	: Descripción:
A11 0-12	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo (10YR5/3) en seco; arcilloso; estructura granular, mediano, moderado; adherente, plástica; firme en húmedo, duro en seco; sin revestimientos; raíces finas, muy frecuentes; límite claro plano.
A12 12-26	Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo y amarillo pardusco (10YR6/6) en seco; arcilloso, con moteado pardo oscuro (10YR3/3), común, fino, distinto, claro; estructura bloque angular, mediano moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; raíces finas, comunes; microestructura bloque angular muy fina, límite claro, ondulado.
A3 26-44	Rojo amarillento (5YR4/8) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR6/6) en seco, arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco, revestimientos delgados, continuos, raíces finas, pocas; microestructura bloque angular muy fina; límite claro, ondulado.
B21 44-85	Rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo y rojo claro (2,5YR6/8) en seco; arcilloso, estructura bloque subangular, moderado, adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados continuos; raíces muy finas, muy pocas; microestructura bloque angular muy fina; límite gradual ondulado.
B22 85-120	Rojo (2,5YR4/6) en húmedo y rojo claro (2,5YR6/8) en seco; arcilloso con moteado pardo amarillento oscuro (10YR3/6); poco, mediano, prominente, nítido; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco, revestimientos delgados, continuos, raíces muy finas muy pocas, límite gradual ondulado.
B3 120-180 +	Rojo amarillento (5YR5/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR6/8) en seco; arcilloso; con moteado rojo (2,5YR4/8), común, fino, prominente, nítido estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados; continuos; sin raíces; crecimientos negros muy pequeñas.

Cuadro 11. Características físico-químicas del perfil 11.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Fracciones de arena			
			Arena %	Limo %	Arcilla %	Muy gruesa y gruesa ----- % de total de arena-----	Media	Fina	Muy fina
A11	0-12	1,09		8,0	82,5	0,57	1,02	7,84	0,07
A12	12-26	1,11		7,2	88,0	0,26	0,63	3,89	0,01
A3	26-44	1,09		5,5	85,0	0,69	1,23	7,56	0,02
B21	44-85	1,08		7,5	81,5	1,42	1,35	7,31	0,92
B22	85-120	1,10		8,0	89,5	0,40	0,36	1,73	0,01
B3	120-180 +	1,15		11,5	74,0	1,17	1,73	11,33	0,27

Horizonte	----pH-----		C. I. C.**	Bases intercambiables*			Saturación* de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	Cl ₂ Ca		Ca	Mg	K			
				----- meq/100g-----					
A11	5,2	4,4	17,9	0,3	0,07	0,1	2,6	27,3	8,2
A12	5,6	4,6	12,7	0,1	0,05	0,07	1,8	28,6	3,8
A3	6,0	4,8	13,1	0,1	0,05	0,05	1,5	30,4	2,8
B21	6,6	4,9	18,1	0,1	0,04	0,04	1,0	33,0	1,3
B22	6,4	4,9	20,4	0,1	0,04	0,03	0,9	32,4	0,7
B3	6,1	4,8	16,5	0,1	0,02	0,04	0,9	31,0	0,6

* Determinado con Acetato de amonio pH 7,0.

** Capacidad Intercambio Catiónico.

Zona Norte (Guanacaste)

Los suelos del área de estudio de Guanacaste se desarrollan a partir de la Cordillera volcánica de Guanacaste (A), la sierra de Tilarán (B), la meseta volcánica de Santa Rosa (C), la depresión de la Planicie Costera (F) y colinas estructurales (G). Por su extensión, son particularmente importantes los suelos desarrollados en las unidades fisiográficas B, C y E.

La unidad fisiográfica afecta el tipo de suelo que se forma, ya que el material geológico que las conforma es de composición y textura diferente. De materiales básicos como los de la sierra de Tilarán y el complejo de Nicoya tienden a formarse suelos de color rojo (Alfisolos), mientras que de materiales ácidos como los de la meseta de Santa Rosa se forman suelos de color grisáceo con baja saturación de bases (Entisolos e Inceptisolos) y en las depresiones suelos oscuros de arcilla 2:1 (Vertisolos).

En general, la mayoría de los suelos de la zona no presentan un desarrollo avanzado, debido quizá al tipo de clima de épocas secas largas con vientos erosivos, así como al relieve abrupto de algunas unidades geomórficas, por lo que dominan los Inceptisolos y los Entisolos. Un estudio especial muestra que los suelos derivados de la meseta de Santa Rosa son muy susceptibles de compactar.

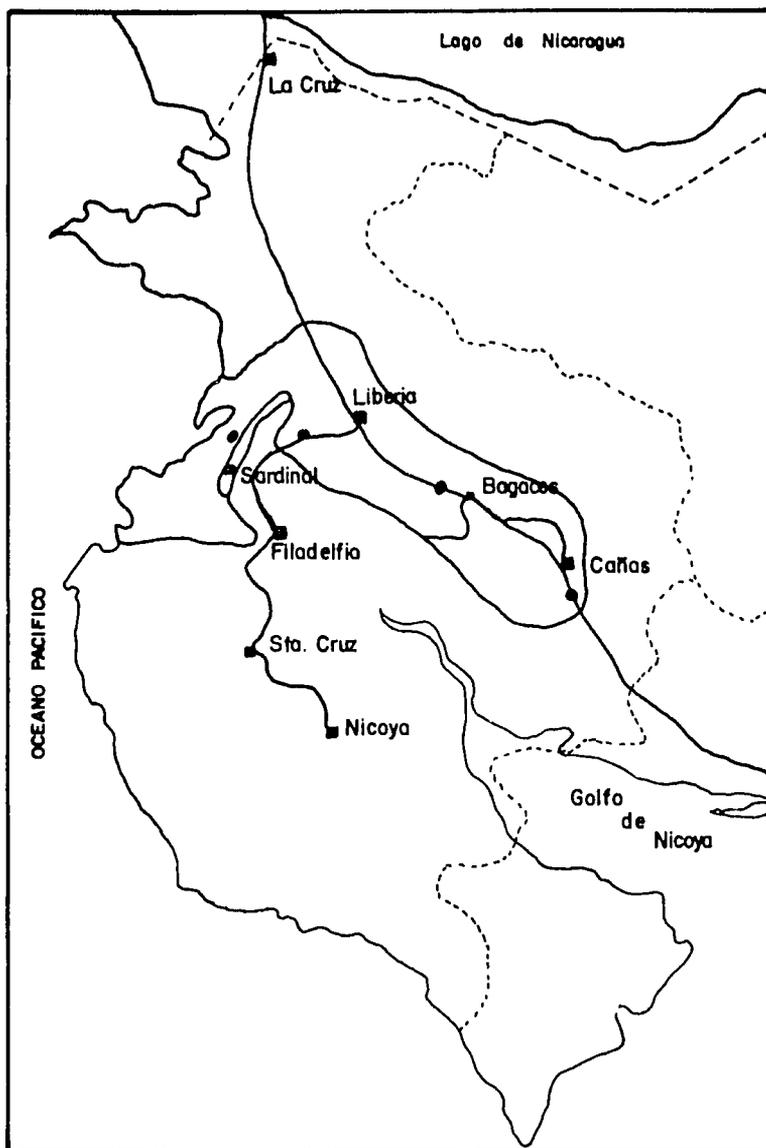


Figura 5. Localización del área de estudio en la provincia de Guanacaste.

Perfil 12: datos de campo y de laboratorio

Fuente	:	IICA, 1977.
Lugar	:	Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez. Se localiza en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste, entre 10°20' latitud norte y 85°08' longitud oeste.
Forma de terreno	:	Relieve regular con declives del 0 al 2 por ciento.
Elevación	:	Aproximadamente entre 5 a 45 msnm
Temperatura media anual	:	27,8°C
Precipitación	:	Alrededor de los 1600 mm
Drenaje	:	Bien drenado
Vegetación	:	Vegetación natural (bosque secundario).
Clasificación	:	Fluventic Haplustoll
Horizonte (cm)	:	Descripción
Ap 0-21		Gris muy oscuro a negro (10YR2,5/1), en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco, arcilloso, prismático débil a bloques angulares moderados a muy finos fuertes, ligeramente adherente, plástica friable, nódulos comunes muy finos blancos, poros comunes, muy finos, raíces comunes finas y muy finas, límite gradual plano; pH 6,9.
B2 21-43		Gris muy oscuro (10YR3/1,5) en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco, arcilloso, bloques subangulares medios moderados a granular fina moderada a muy fina fuerte; ligeramente adherente, plástica, friable nódulos blancos comunes muy finos, poros comunes finos, abundantes finos; raíces comunes finas, límite brusco ondulado; pH 7,0.
C1 43-99		Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo, pardo a pardo amarillento (10YR5/3,5) en seco, arenoso franco, sin estructura, no adherente, no plástica, muy friable, poros comunes finos, abundantes muy finos, raíces escasas a comunes finas; límite abrupto plano; pH 7,5.
IIIC2 99-117		Gris oscuro (10YR4/1) en húmedo, gris (10YR5/1) en seco, arenoso, sin estructura o grano suelto, raíces finas y muy finas; pH 7,3.
IIIC3 117-131		Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo, pardo amarillento (10YR5/4) en seco, franco arcillo arenoso, bloques subangulares medios moderados a granular fina y muy fina fuerte; muy friable a friable, poros abundantes muy finos; raíces abundantes muy finas, límite gradual plano; pH 7,6.
IIIC4 131-150		Pardo amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo, franco arcillo limoso, bloques subangulares medios, débiles a migajosa fina moderada, ligeramente adherente, ligeramente plástica, firme a friable, moteado rojizo, poros comunes finos; pH 7,5.

Observaciones: El último horizonte parece de origen volcánico.

Cuadro 12. Características físico-químicas del perfil 12.

282

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
Ap	0-20	1,64	25,1	60,3	14,6
B2	20-43	1,43	37,1	50,0	12,2
C1	43-99	1,48	68,1	22,3	9,6
IIC2	99-117		99,1	0,3	0,6
IIIC3	117-131	1,49	54,1	33,3	12,6
IVC4	131-150	1,37	29,8	58,2	12,0

Horizonte	-----pH-----			C. I. C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	Naf		Ca	Mg	K			
Ap	6,9				22,7	6,5	0,9	85,0	21,64	2,14
B2	7,0				20,0	4,9	0,6	86,0	17,72	
C1	7,5				14,0	3,2	0,4	85,0	8,66	0,80
IIC2	7,3								2,63	
IIIC3	7,6								9,37	
IVC4	7,5								24,45	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 13: datos de campo y de laboratorio

Fuente	:	IICA, 1977.
Lugar	:	Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez. Se localiza en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste, entre 10°20' latitud norte y 85°08' de longitud oeste.
Forma del terreno	:	Topografía muy accidentada.
Elevación	:	Aproximadamente entre 5 a 45 msnm.
Temperatura media anual	:	27,8°C, con oscilaciones de 2°C/día.
Precipitación	:	Alrededor de los 1660 mm
Drenaje	:	Moderadamente drenado.
Vegetación	:	Vegetación natural (bosque secundario) y cultivos especiales en la época lluviosa.
Clasificación	:	Typic Haplustalf
Horizonte (cm)	:	Descripción:
Ap 0-24		Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/2,5); franco a franco arcilloso; estructura en bloques subangulares débil a migajosa fina fuerte; ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado, muy friable en húmedo; poros finos y muy finos abundantes; raíces finas y muy finas abundantes; límite difuso ondulado; pH 6,8.
AB 24-37		Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/3); arcilloso, estructura en bloques subangulares, media moderada a granular fina, débil a migajosa fina y muy fina; adherente y plástico en mojado, muy friable en húmedo; nódulos de hierro finos y muy finos escasos; poros finos y muy finos comunes, límite difuso ondulado; pH 6,8.
B1 37-55		Pardo roji oscuro en húmedo (5YR3/4); arcilloso; prismática débil a bloques subangulares, media moderada a granular fina media; adherente y plástico en mojado, muy friable en húmedo, friable a firme en seco; nódulos de hierro finos comunes; límite gradual irregular; pH 6,8.
B21 55-83		Pardo rojizo oscuro a rojo oscuro en húmedo (2,5YR3/5); arcilloso; prismática a bloques angulares y subangulares medio moderada a granular fina y muy fina; adherente y plástico en mojado, friable en húmedo; firme a duro en seco; nódulos de hierro finos y muy finos a comunes; límite difuso irregular; pH 6,9.
B22 83-145		Pardo rojizo a rojo en húmedo (2,5YR4/5); arcilloso; prismático media fuerte a bloques angulares media moderada a granular fina fuerte; ligeramente adherente y plástico en mojado; friable en húmedo, extremadamente duro en seco, revestimientos de arcilla entre grietas; nódulos de hierro finos comunes y hierro y manganeso finos abundantes a comunes; poros abundantes muy finos; raíces finas escasas; pH 6,4.
C 145-183		Rojo 20 por ciento; pardo pálido 20 por ciento y pardo rojizo 40 por ciento en húmedo (2,5YR5/8), (10YR6/3), (5YR4/4); arcilloso y material en meteorización; pH 6,9.

Cuadro 13. Características físico-químicas del perfil 13.

284

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
Ap	0-24	1,41	53,8	11,2	35,0
AB	24-37	1,52	21,8	54,2	24,0
B1	37-55	1,55	40,8	34,2	25,0
B21	55-83	1,58	29,0	45,0	26,0
B22	83-145	1,78	42,0	42,0	16,0
C	145-183	1,29	51,0	34,0	15,0

Horizonte	pH			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
Ap	6,8			20,0	15,7	0,4	91,0	18,49	6,43	
AB	6,8			16,0	5,2	0,8	83,0	10,68	5,36	
B1	6,8			16,2	4,6	0,9	82,0	22,66	2,95	
B21	6,9			17,5	3,8	0,8	83,0	25,14	-	
B22	6,4			17,5	3,4	0,7	80,0	53,01	-	
C	6,9							29,29		

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 14: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Vásquez, 1978.
Lugar	: Hacienda Taboga, cantón de Cañas, provincia de Guanacaste.
Forma del terreno	: a) Posición fisiográfica: Llanura de piedemonte (base) de la cordillera de Guanacaste. b) Forma del terreno circundante: plano (ligeramente cóncavo-convexo) Pendiente LV.
Elevación	: 15 msnm
Temperatura media anual	: 27,8°C
Precipitación	: Alrededor de los 1600 mm
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Caña de azúcar
Clasificación	: Typic Pellustert
Horizonte (cm)	: Descripción:
Ap 0-9	Gris oscuro (10YR3/1) en húmedo; gris oscuro (10YR4/1) en seco, arcilloso; bloques subangulares medios a granular fina moderada muy adherente, muy plástico; friable a firme, poros escasos finos comunes muy finos; raíces comunes finas y muy finas; límite claro plano pH 6,3.
A12 9-46	Negro (2,5Y3/0) en húmedo; gris oscuro (10YR4/1) en seco, arcilloso, bloques angulares medios a masiva, adherente, muy plástico; friable a firme; escasas concreciones finas de calcio, poros comunes a escasos muy finos; raíces escasas muy finas; límite difuso ondulado; pH 7,6.
A13 46-89	Negro (2,5Y3/0) con moteado pardo grisáceo oscuro a pardo oliva (2,5Y4/3) 80 por ciento en húmedo, gris a gris oscuro (10YR4,5/1) en seco; arcilloso; bloques angulares medios moderados a granular fina media a masiva; muy adherente, muy plástica; firme a friable; concreciones comunes de calcio, medias y finas; poros abundantes muy finos; raíces comunes muy finas; límite difuso ondulado; pH 8,2.
AC 89-102	Gris muy oscuro a gris oscuro (2,5Y3,5/0) 60 por ciento pardo grisáceo oscuro (2,5Y4/2) 30 por ciento en húmedo; gris oscuro (10YR4/1) en seco; arcilloso; prismática débil a masiva, muy adherente y muy plástico, firme a friable, concreciones comunes de calcio finas; poros escasos muy finos, raíces escasas muy finas límite gradual plano; pH 8,2.
C1 102 +	Pardo oliva (2,5Y4/4) con moteado gris muy oscuro a negro (7,5YR2,5/0) en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco; arcilloso; prismático a masiva muy adherente, muy plástico; firme a friable; concreciones de calcio abundantes medias y finas; poros comunes muy finos, raíces escasas a raras muy finas; pH 8,3.

Cuadro 14. Características físico-químicas del perfil 14.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
Ap	0-9	1,17	11	23	66
A12	9-46	1,25	6	16	78
A13	46-89	1,27	9	12	79
AC	89-102	1,29	7	15	78
C1	102 +	1,30	7	15	78

286

Horizonte	pH			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
	----- meq/100g-----									
Ap	6,3	5,3		61,07	27,00	24,19	0,51	34,04	2,85	
A12	7,6	5,8		68,31	31,33	26,24	0,26	36,62	1,05	
A13	8,2	6,2		66,24	29,67	27,47	0,26	39,31	0,90	
AC	8,3	6,3		64,17	28,33	29,93	0,26	44,33	0,90	
C1	8,3	6,6		71,42	30,00	31,98	0,38	44,52	0,90	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 15: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Mata 1982.
Lugar	: Entre los 10°33' 15" de latitud y los 85°21' 50" de longitud oeste; 100 m al norte del paso de la carretera Interamericana sobre el río Pijije, Baqaces, Guanacaste.
Forma de terreno	: a) Posición fisiográfica: meseta volcánica Santa Rosa. b) Forma de terreno circundante: ondulado, del 3 por ciento de pendiente.
Elevación	: 130 msnm.
Temperatura media anual	: 27°C.
Precipitación media anual	: 1800 mm.
Drenaje	: Moderado
Vegetación	: Sorgo
Clasificación	: Lithic Ustorthent.
Horizonte (cm)	: Descripción.
Ap 0-8	: Pardo (10YR5/3) en húmedo, gris claro (10YR7/1) en seco, franco arenoso, masivo, no adherente, no plástico, firme ligeramente duro, pocos poros y finos, raíces abundantes finas y muy finas, límite brusco y plano; pH 5,3.
C 8-50	: Gris (10YR6/1) en húmedo, gris claro (10YR7/2) en seco, franco arcilloso, arenoso, masivo, no adherente, no plástico, muy firme, muy duro, pocos poros finos, raíces ninguna; pH 5,2.

Cuadro 15. Características físico-químicas del perfil 15.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/tal	Arena %	Granulometría Limo %	Arcilla %
Ap	0-8	1,36	67	23	10
C	8-50 +	1,33	47	27	26

Horizonte	pH			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaCl		Ca	Mg	K			
Ap	6,0	5,3	7,5	9,24	2,50	0,61	0,67	44,15	12,58	
C	5,9	5,2	7,6	10,90	2,40	0,88	0,73	38,53	15,52	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 16: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Mata, 1982.
Lugar	: Entre los 10°33' 15" de latitud norte ; los 85°21' 50" de longitud oeste; 100 m al este del perfil P1, Bagaces, Guanacaste.
Forma del terreno	: a) Posición fisiográfica: meseta volcánica de Santa Rosa b) Forma del terreno circundante: ondulado 2 a 3 por ciento de pendiente.
Elevación	: 120 msnm
Temperatura media anual	: 27°C
Precipitación	: 1800 mm
Drenaje	: Bien drenado
Vegetación	: Sorgo
Clasificación	: Andic Ustic Humitropept.
Horizonte (cm)	: Descripción:
Ap 0-25	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo, pardo oscuro (10YR3/3) en seco; franco arcilloso, estructura moderada; mediana, bloques subangulares, friable, blando, no adherente, no plástico, poros frecuentes, finos, raíces frecuentes medias a finas, límite brusco y plano, pH 5,8.
A12 25-50	Pardo amarillento (10YR5/8) en húmedo, amarillo pardusco (10YR6/6) en seco, franco limoso, estructura débil, mediana, bloques subangulares, no adherente, no plástico, friable, blando, poros frecuentes y finos, límite gradual y plano, pH 6,1.
AB 50-60	Pardo oliva claro (2,5YR5/6) en húmedo, amarillo pardusco (10YR6/8) en seco, franco arcilloso, estructura débil, fina, bloques subangulares, no adherente, no plástico, muy friable, blando, poros frecuentes finos, pocas raíces, límite brusco y plano, pH 5,9.
11C1 60-90	Pardo olivo claro (2,5Y5/6) en húmedo, y amarillo pálido (5Y7/3) en seco, franco arcilloso, estructura débil, muy fina, bloques subangulares, friable, suelto, no adherente, no plástico, pocos poros finos, raíces ninguna, límite gradual y plano, pH 5,7.
11C2cn 90-120	Oliva pálido (5Y6/4) en húmedo, amarillo pálido (5Y6/5/3) en seco, franco arcilloso, estructura débil, muy fino, bloques subangulares, muy fino, bloques subangulares, muy friable, suelo no adherente, no plástico, pocos poros finos, nódulos de manganeso pequeños de pocos a frecuentes, blandos, irregulares, negros, raíces ninguna, límite gradual y plano, pH 5,7.
11C3cn 120-190	Amarillo pardusco (10YR6/6) en húmedo, amarillo pardusco (10YR6/8) en seco, franco arenoso, pocos poros de medios a finos, frecuentes nódulos, esféricos y negros, raíces ninguna, pH 5,4.

Cuadro 16. Características físico-químicas del perfil 16.

289

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Arena %	Granulometría		Arcilla %
				Limo %		
Ap	0-25	0,86	26	45		29
A12	25-50	0,87	37	51		12
AB	50-60	0,94	33	33		34
IIC1	60-90	1,26	43	19		38
IIC2cn	90-120	1,22	43	27		30
IIIC3cn	120-190	1,33	61	23		16

Horizonte	-----pH-----			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
	-----meq/100g-----									
Ap	6,4	5,8	9,5	32,69	10,05	1,48	0,47	37,32	22,26	
A12	6,7	6,1	9,9	32,93	7,10	1,58	0,29	27,82	30,30	
AB	6,6	5,9	9,5	20,85	4,90	1,58	0,31	33,57	23,68	
IIC1	6,6	5,7	7,7	14,69	3,20	1,67	0,41	37,43	15,12	
IIC2cn	6,6	5,7	7,7	9,48	2,40	1,09	0,39	42,09	12,99	
IIIC3cn	6,3	5,4	7,6	8,05	1,80	0,98	0,19	38,76	12,57	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 17: datos de campo y de laboratorio

Fuente	:	Mata, 1982.
Lugar	:	Entre los 10° 33' 15" de latitud norte y los 85° 21' 50" de longitud oeste, 100 m al oeste del perfil P3, Bagaces, Guanacaste.
Forma del terreno	:	a) Posición fisiográfica: meseta volcánica de Santa Rosa. b) Forma del terreno circundante: plano a casi plano. c) Microrelieve: cóncavo. Pendiente del 2 por ciento.
Elevación:	:	110 msnm
Temperatura media anual	:	27°C
Precipitación	:	1500 a 2000 mm
Drenaje	:	Bien drenado a excesivamente drenado
Vegetación	:	Sorgo
Clasificación	:	Typic Dystrandept.
Horizonte (cm)	:	Descripción:
A11 0-50		Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo, de pardo oscuro a pardo (10YR3,5/3) en seco, franco, estructura débil a moderada, fina bloques subangulares; no adherente, ligeramente plástico, friable, blando poros frecuentes y finos, raíces abundantes de medias a finas, límite difuso y plano, pH 6,0.
A12 50-80		Pardo amarillento (10YR5/3) en húmedo, pardo pálido (10YR6/3) en seco, franco arenoso, estructura débil, fina, bloque subangulares, no adherente, no plástico, muy friable, blando, poros frecuentes, de finos a medios, pocas raíces, de medias a finas, límite difuso y plano, pH 6,0.
11C1 80-100		Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo, pardo amarillento claro (10YR6/4) en seco, arenoso, franco, estructura débil fina, migajosa, no adherente, no plástico, suelto en húmedo y en seco, poros frecuentes medios, pocas raíces, finas, límite difuso y plano; pH 6,0.
11C2 100-140		Pardo amarillento (10YR5/8) en húmedo, amarillo pardusco (10YR6/8) en seco, franco arenoso, estructura débil, fina, migajosa, adherente no plástico, suelto en húmedo y en seco, poros frecuentes de medios a finos, raíces ninguna, límite difuso, plano, pH 5,9.
11C3en 140-200 +		Pardo amarillento (10YR5/6) en húmedo, amarillo pardusco (10YR6/6) en seco, franco arenoso, estructura débil, fina, bloques subangulares, no adherente, no plástico, muy friable, blando, poros frecuentes y finos, pocos nódulos de manganeso, grandes, irregulares y negros, raíces ninguna, pH 5,9.

Cuadro 17. Características físico-químicas del perfil 17.

291

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Arena %	Granulometría	
				Limo %	Arcilla %
Ap	0-50	0,76	38	43	19
A12	50-80	1,05	63	29	8
IIC1	80-100	1,46	82	9	8
IIC2	100-140	1,47	85	7	8
IIC3cn	140-200	1,37	73	15	12

Horizonte	-----pH-----			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
	-----mEq/100g-----									
Ap	6,7	6,0	10,0	32,89	13,10	2,10	0,65	48,89	36,07	
A12	6,7	6,0	9,7	16,92	4,00	1,71	0,21	36,50	19,78	
IIC1	6,7	6,0	7,7	5,69	1,50	0,64	0,27	47,45	7,21	
IIC2	6,8	5,9	7,7	5,45	1,70	0,58	0,22	49,72	7,93	
IIC3cn	6,8	5,9	7,7	5,92	2,10	0,62	0,19	52,53	11,00	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 18: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Mannix 1978.
Lugar	: Entre los 10°32' de latitud norte y 85°36' 45" de longitud oeste Guardia cantón de Liberia, provincia de Guanacaste.
Forma del terreno	: a) Fisiografía: terrazas subcrecientes del río Tempisque. b) Forma del terreno circundante: Plano con pendiente del 5 por ciento.
Elevación	: 31 msnm.
Temperatura media anual	: 27°C
Precipitación	: 1500 a 2000 mm.
Drenaje	: Bueno.
Vegetación	: Cereales.
Clasificación	: Fluventic Ustropept.
Horizonte (cm)	: Descripción:
01 3-0	Negro a gris muy oscuro en húmedo (10YR2,5/1), pardo grisáceo muy oscuro a pardo grisáceo oscuro en seco (10YR3,5/2); franco, con grava de canto rodado; estructura laminar; plástico, ligeramente adherente en mojado, suelto en húmedo y frágil en seco; abundantes poros grandes y medios; abundantes raíces medias y finas; límite abrupto; pH 6,3.
A11 0-8	Negro en húmedo (10YR2/1), pardo grisáceo muy oscuro en seco (10YR3/2); franco arcilloso arenoso, con grava subangular meteorizada; estructura laminar; ligeramente adherente, ligeramente plástico en mojado firme en húmedo y duro en seco; escasos nódulos de hierro raíces abundantes; límite abrupto; pH 6,7.
A12 8-23	Negro húmedo (10YR2/1), pardo grisáceo muy oscuro en seco (10YR3/2) franco; estructura prismática de 4-5 de ancho, plástico; ligeramente adherente en mojado, firme en húmedo y duro en seco; escasos nódulos grandes de hierro, poros finos frecuentes; escasas raíces finas; límite gradual; pH 7,0.
A13 23-45	Grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR3/1), pardo grisáceo oscuro en seco (10YR4/2); franco; estructura prismática a terrenoso, adherente plástico en mojado, muy friable en húmedo y firme en seco; escasos nódulos finos de hierro, macro y microporos abundantes; escasas raíces; límite gradual; pH 7,0.
B21 45-65	Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR3/2), pardo oscuro en seco (10YR3,5/3); franco arcilloso arenoso; estructura macro prismática que rompe a terrenosa ligeramente plástica; ligeramente adherente en mojado, muy friable en húmedo y frágil en seco; nódulos y revestimiento ausentes; macro y microporos abundantes; escasas raíces finas, límite gradual; pH 7,0.
C1 65-90	Pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR3/4), pardo amarillento en seco (10YR3/4); franco; estructura macroprismática que rompe a terrenosa; ligeramente plástico en mojado, muy friable en húmedo y frágil en seco; escasos nódulos de hierro, macro y microporos abundantes; escasas raíces muy finas; límite abrupto irregular; pH 7,2.
C2 90-115	Pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR3/4), pardo amarillento oscuro a pardo amarillento en seco (10YR4,5/4); (con moteado rojizo), franco; estructura macroprismática que rompe a terrenosa no adherente, ligeramente plástico en mojado, muy friable en húmedo y frágil en seco; revestimiento de hierro, macro y microporos abundantes, escasas raíces muy finas, límite abrupto irregular; pH 7,3.

C3
115-145

Pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR3/4), pardo amarillento oscuro a pardo amarillento en seco (10YR3,5/2), franco; estructura macrop prismática a terrosa débil; no adherente, ligeramente plástico en mojado, suelto en húmedo y frágil en seco; poros finos abundantes límite gradual; pH 7,0.

A1b
145-180

Negro en húmedo (10YR2/1), pardo grisáceo muy oscuro en seco (10YR3,5/2); franco masiva porosa; adherente, plástico en mojado, firme en húmedo y duro en seco; macro y microporos abundantes conductos de agua frecuentes; moteado prominente; grava de canto rodado en lentes arenosas de 10 a 30 cm de ancho y 80 a 90 cm de largo; pH 6,9.

Observaciones: En A11-A13 no hay estratos aluviales. De B21 a C3 estratos aluviales en lentes arenosas, sirviendo de límite entre los horizontes. Los lentes tienen alto contenido de grava de canto rodado.

Cuadro 18. Características físico-químicas del perfil 18.

294

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Arena %	Granulometría		Arcilla %
				Limo %		
O1	0-3	1,55	46,8	36,0		17,2
A11	0-8	1,49	58,8	26,0		21,2
A12	8-23	1,55	38,8	38,0		23,2
A13	23-45	1,36	38,8	38,0		23,2
B21	45-65	1,41	48,8	26,0		25,2
C1	65-90	1,43	50,8	31,0		18,2
C2	90-115	1,25	47,8	35,0		17,2
C3	115-145	1,34	50,8	36,0		13,2
Alb	145-180	1,33	58,8	27,6		13,6

Horizonte	-----pH-----			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
	----- meq/100g-----									
O1	6,3	5,4		30,5	8,33	3,08	98	20,78	8,6	
A11	6,7	5,5		32,5	8,33	2,43	98	16,61	5,1	
A12	7,0	5,6		38,0	12,5	1,54	98	26,23	0,8	
A13	7,0	5,4		37,0	12,91	1,66	98	23,11	0,8	
B21	6,9	5,4		34,0	14,58	1,28	96	20,89	0,8	
C1	7,0	5,2		32,0	12,08	2,43	96	17,92	0,8	
C2	7,2	5,3		31,5	12,91	1,92	95	16,77	1,6	
C3	7,3	5,2		31,5	14,16	1,28	97	15,81	3,22	
Alb	7,0	5,1		33,0	13,75	1,92	95	13,91	1,9	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 19: datos de campo y de laboratorio

Fuente	: Mannix, 1973.
Lugar	: Comunidad, 10°34' de latitud norte y 85°36' 30" de longitud oeste, Guardia, cantón de Liberia, provincia de Guanacaste.
Forma del terreno	: a) Posición fisiográfica: planicie fluvio lacustre. b) Forma del terreno circundante: plano con pendiente del 0,5 por ciento.
Elevación	: 33 msnm
Temperatura media anual	: 27°C
Precipitación	: 1500 a 2000 mm
Drenaje	: Muy pobre
Vegetación	: Pasto pará y jaragua
Clasificación	: Typic Pellustert
Horizonte (cm)	: Descripción:
A11 3-0	Negro en húmedo (7,5YR2/1), gris oscuro en seco (10YR4/1); arcilloso, estructura granular; consistencia muy plástica, muy adherente en mojado, muy firme en húmedo y duro en seco; revestimientos de hierro entre raíces; carencia de nódulos; poros muy finos a medios escasos; raíces finas abundantes; límite abrupto irregular; pH 5,0.
A12 0-55	Negro en húmedo (10YR2/1), gris oscuro en seco (2,5Y4/0), arcilloso estructura macroprismática; consistencia muy plástica, muy adherente en mojado, muy firme en húmedo y muy duro en seco; presencia de bandas de deslizamientos, con superficies de presión de ángulo de 45 a 60°; ausencia de revestimientos; nódulos de hierro muy escasos; escasos poros muy finos; raíces finas y medias abundantes; pH 6,2.
A13 55-85	Negro en húmedo (10YR2/1), gris en seco (10YR5/1); arcilloso; estructura macroprismática a terrenosa muy fina; consistencia muy plástica, muy adherente en mojado, muy firme y muy duro en seco; carencia de revestimientos; nódulos de hierro y manganeso y blancos (no reaccionan al HCl) escasos; poros muy finos frecuentes; límite gradual irregular; pH 6,9.
A3 85-100	Gris muy oscuro en húmedo (2,5YR3/0), gris a gris oscuro en seco (10YR4,5/1); arcilloso; estructura microprismática a terrenosa muy firme; consistencia muy plástica, muy adherente en mojado, muy firme en húmedo y muy duro en seco; ausencia de revestimientos, nódulos de hierro y manganeso escasos y blanco frecuentes; poros muy finos escasos; muy pocas raíces finas; límite neto; pH 6,9.
C1 100-125	Gris oscuro en húmedo (5Y4/1), gris pardusco claro en seco (2,5Y6/2); arcilloso estructura macroprismática de 15 cm; consistencia muy plástica, muy adherente en mojado, ligeramente duro en húmedo y duro en seco; presencia de revestimientos de arcilla, nódulos de hierro y manganeso frecuentes; macroporos abundantes; límite neto; pH 7,0.
T1C 125-200	Pardo grisáceo en húmedo (10YR5/2), pardo amarillento en seco (10YR6/4), franco arcilloso, estructura masiva; consistencia ligeramente plástica; ligeramente adherente en mojado; friable en húmedo y blando en mojado; revestimientos de arcilla que disminuyen a partir de 1,80 m predominando el mateado limonítico de color amarillento pardusco en húmedo (10YR6/6); ausencia de nódulos y raíces; conductos de raíces presentes; macroporos abundantes; límite difuso; pH 7,0.

Cuadro 19. Características físico-químicas del perfil 19.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente g/ml	Granulometría		
			Arena %	Limo %	Arcilla %
A1	0-3	1,28	16,10	22,7	61,2
A12	3-55	1,99	15,10	13,7	72,2
A13	55-85	1,95	29,10	10,7	60,2
A3	85-100	1,87	23,10	12,7	58,2
C1	100-125	1,73	23,10	27,7	49,2
IIC	125-200	1,77	37,10	27,7	35,2

Horizonte	pH			C. I. C.*	Bases intercambiables			Saturación en bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
----- meq/100g-----										
A1	5,9	4,9		30,00	10,0	3,33	96	42,02	14,7	
A12	6,2	5,0		39,50	11,25	0,38	97,5	38,03	2,7	
A13	6,9	5,3		33,50	11,66	0,38	97,9	39,09	0,0	
A3	6,9	5,3		34,50	14,16	1,02	98,2	40,38	0,8	
C1	7,0	5,4		31,00	12,08	1,66	97,7	34,69	0,8	
IIC	7,0	5,2		21,50	8,33	0,64	97,0	33,03	0,2	

* Capacidad Intercambio Catiónico.

Perfil 20: datos de campo y de laboratorio

Fuente : Mannix, 1973

Lugar : Finca San Jorge, entre los 10° 33' de latitud norte y 85° 35' de longitud oeste, Liberia, Guanacaste.

Forma del terreno : a) Posición fisionófica: llanura fluvial reciente del Río Tempisque
b) Forma del terreno circundante: plano o casi plano con pendiente del 0,5 por ciento.

Elevación : 31 msnm.

Temperatura media anual : 27°C.

Precipitación : 1500 a 2000 mm

Drenaje : Bueno

Vegetación : Cereales y algodón.

Clasificación : Typic Argiustoll.

Horizonte : Descripción:

**A_p
0-20** Pardo grisáceo muy oscuro, en húmedo (10YR3/2), pardo oscuro en seco (10YR4/3); arcillo arenoso; estructura terrosa a granular fina; ligeramente adherente y plástica, friable y frágil; poros finos comunes; límite abrupto; pH 6,8.

**A₁₂
20-30** Pardo oscuro, en húmedo (7,5YR3/2), pardo a pardo oscuro en seco (7,5YR4/4); franco; estructura granular muy fina, ligeramente adherente y plástica, muy friable y firme; poros comunes finos y comunes; raíces finas comunes; límite abrupto; pH 6,7.

**A₃
30-45** Pardo rojizo oscuro, en húmedo (5YR3/2,5), pardo rojizo en seco (5YR3/4); franco; estructura macropasmática a granular fina; adherente y plástica en mojado, muy friable en húmedo y duro en seco; nódulos comunes finos; poros abundantes finos; raíces abundantes finas; límite neto; pH 7,0.

**B₁
60-70** Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/3), pardo rojizo o duro en seco (5YR3/4,5); arcilloso; estructura prismática a terrosa firme; adherente y muy plástica en mojado, firme en húmedo y duro en seco; revestimiento de arcilla en canalículos; nódulos de Fe comunes y blandos abundantes; macro y microporos abundantes; raíces finas abundantes; límite gradual pH 7,0.

**B₂₂
70-90** Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/3), pardo rojizo oscuro en seco (5YR3/3,5); arcilloso; estructura prismática a terrosa muy firme; muy adherente en mojado, firme en húmedo y duro en seco; con revestimiento de arcilla entre ped; nódulos de Fe blandos y comunes; macro y microporos comunes; raíces finas escasas; límite difuso; pH 6,9.

**B₂₂
70-90** Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/3), pardo rojizo oscuro en seco (5YR3/4); arcilloso; estructura prismática a terrosa; muy adherente y plástica en mojado, firme en húmedo, y dura en seco; revestimientos de arcilla en superficies de contacto; nódulos finos escasos; límite difuso e irregular; pH 6,9.

**T_{1C1}
90-135** Pardo rojizo oscuro en seco (5YR3/4); franco arenoso (con gravilla); estructura masiva a granular plástica en mojado, muy friable en húmedo y frágil en seco; poros finos escasos; límite difuso; pH 6,7.

IIC2
135-170

Pardo rojizo en seco (5YR3/4); arenoso franco a franco arenoso (con gravilla); estructura granular suelta; ligeramente adherente y plástica en mojado, suelto en húmedo; revestimiento de Fe; poros finos escasos; límite abrupto, pH 6,8.

IIC3
170-178

Pardo oscuro a pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR4/2,5), pardo a pardo oscuro en seco (10YR4/3); arcilloso; estructura masiva; ligeramente adherente y plástica en mojado, friable en húmedo; moteado limonítico tenue; nódulos de Fe y ferromagnesiones comunes; macro y micro poros comunes; límite abrupto.

IIC4
178-200

Pardo amarillento oscuro a pardo amarillento en húmedo (10YR4,5/4), pardo amarillento en seco (10YR5/4), franco; estructura masiva; ligeramente adherente y plástica en mojado; muy friable en húmedo; moteado de Fe macro y microporos abundantes; pH 6,7.

Cuadro 20. Características físico-químicas del perfil 20.

Horizonte	Profundidad (cm)			Densidad aparente g/ml	Arena %	Granulometría		
	H ₂ O	KCl	NaF			Limo %	Arcilla %	
Ap	0-20				47,4	14,2	38,4	
A12	20-30				48,4	33,2	18,4	
A3	30-45				36,4	37,2	26,4	
B1	45-60				32,4	33,2	34,4	
B21	60-70				17,4	37,2	45,4	
B22	70-90				22,4	33,2	44,4	
IIC1	90-135				76,4	9,2	14,4	
IIC2	135-170				80,4	4,2	10,4	
IIC3	170-178				25,4	30,2	44,4	
IIC4	178-200				40,4	33,2	26,4	

Horizonte	pH			C.I.C.*	Bases intercambiables			Saturación de bases %	Humedad % 15 atm	Materia orgánica %
	H ₂ O	KCl	NaF		Ca	Mg	K			
Ap	6,8	5,7		14,00	2,08	2,82	61,3	15,54	5,10	
A12	7,2	5,5		14,00	2,08	4,6	68,3	20,65	1,90	
A3	7,0	5,5		14,25	2,50	4,61	76,1	22,76	1,34	
B1	7,0	5,4		14,75	2,91	3,33	93,5	21,84	0,54	
B21	6,9	5,5		13,25	3,33	2,56	93,5	25,76	0,00	
B22	6,9	5,4		13,50	5,41	1,92	94,0	26,57	0,00	
IIC1	6,7	5,4		8,75	3,75	1,66	91,2	14,01	1,30	
IIC2	6,8	5,2		8,50	3,33	1,92	91,4	12,48	0,00	
IIC3	6,7	5,1		12,75	6,25	2,16	94,3	24,40	0,00	
IIC4	6,7	5,0		13,25	6,66	1,54	94,5	22,00	0,00	

Perfil 21: datos de campo y de laboratorio

- Fuente** : Mata, 1982.
- Lugar** : Sardinal (Complejo Nicoya) Asociación Santo Domingo-Belén-Sardinal.

A pesar que este suelo ha sido descrito como una asociación, no se cuenta con una descripción del perfil en particular. Estos suelos se presentan en el piedemonte de la serranía del Complejo de Nicoya, a una altura de 176 msnm. Son de relieve plano inclinado y ondulado, con pendientes de 3 a 18 por ciento, moderadamente drenados, moderadamente profundos a profundos, con erosión leve y colores pardo oscuro a pardo.

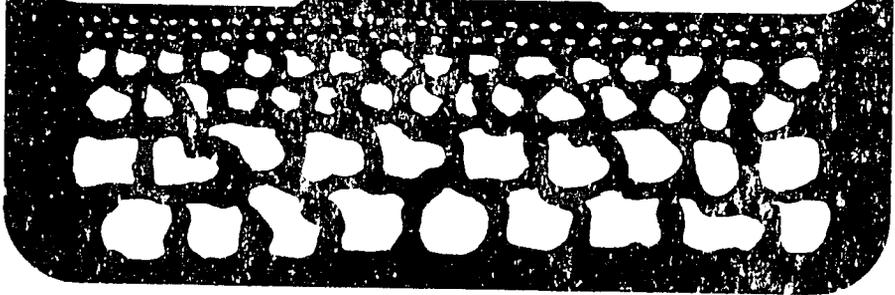
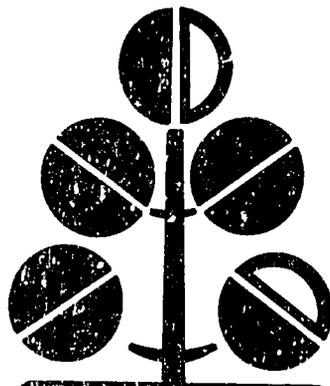
Sus principales limitantes agrológicas son el clima, la presencia de procesos erosivos y la fertilización natural moderada a baja. Se ubican en la clase agrológica III B2 e2 y se pueden usar para sorgo y algodón.

Cartográficamente la asociación coincide en conjuntos Santo Domingo-Belén-Sardinal, que se clasifican taxonómicamente como *Type Bapustall, Fluventic Ustropept* y *Aerie Troquapt*. El conjunto Santo Domingo ocupa el 20 por ciento del área y se encuentra en la parte proximal del piedemonte; los otros componentes de la asociación se localizan en la zona distal, de relieve plano ligeramente inclinado, ocupando el Conjunto Belén el 60 por ciento del área.

LITERATURA CONSULTADA

- COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Mapa geomorfológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1944. s. esc. Color.
- INSTITUTO DE FOMENTO Y ASESORIA MUNICIPAL. Plan de desarrollo Valle de El General; atlas geográfico. San José, Costa Rica, 1974. 64 p. (Versión preliminar).
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. Estudio detallado de suelos y clasificación de tierras según su aptitud al riego; programa de investigación, capacitación y diseños finales de riego en la Estación Experimental Enrique Jiménez N. San José, Costa Rica. 1977. 117 p. (Informe final no. 1).
- KNOX, E. Ge. y MALDONADO, F. Suelos de cenizas volcánicas, excursión al Volcán Irazú. In Panel sobre Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1969. Trabajos. Turrialba, Costa Rica, IICA-FAO, 1969. pp. B9 - B12.
- MACIAS, V. M. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y clasificación de ocho latosoles de Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 193 p.
- MANNIX, F. J. Estudio de suelos y clasificación de Tierras con Lines de riego; Valle del Río Tempisque. San José, Costa Rica, MAG-Servicio Nacional de Riego y Drenaje. 1973. 214 p.
- MATA, R. Variaciones pedogenéticas en tres secuencias topográficas del Pacífico seco de Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica CATIE/UCR, 1982. 147 p.
- OFICINA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA. Manual descriptivo del mapa de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1979. 235 p.
- OTAROLA, C. Caracterización y clasificación de algunos suelos de la Cordillera de Talamanca. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1976. 57 p.
- OTAROLA, C. y ALVARADO, A. Caracterización y clasificación de algunos suelos del Cerro de la Muerte, Talamanca, Costa Rica. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 5o., y Coloquio Nacional sobre Suelos, 4o., Medellín, Colombia, 1975. Memorias. Tibaitatá, Colombia, IICA, 1977. pp. 397-400.
- SECRETARIA EJECUTIVA DE PLANIFICACION AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Zonificación agropecuaria con énfasis en las áreas de mayor riesgo para el cultivo del arroz de las sub-regiones Cañas, Liberia y Santa Cruz. San José, Costa Rica, IICA-MAG, 1980. v. 2, 208 p.
- TOSI, O. J. Reubicación de poblaciones en proyecto hidroeléctrico de Boruca. Fase A: Determinación de áreas y tecnología. San José, Costa Rica, I. C. E./Centro Científico Tropical, 1981. 445 p.
- VASQUEZ, M. A. Estudio semidetallado de suelos; I etapa: Cuenca baja del Río Tempisque. San José, Costa Rica, S. N. E.-MAG, 1978. 159 p.

APENDICE



APENDICE 1. PROGRAMA DEL FORO

24 de octubre

Inauguración: Gilberto Páez
Mario Valverde
Carlos Burgos

Propósito del Foro: C. Burgos

Principios y lógica de la taxonomía de suelos: M. Valverde

Nomenclatura y uso de la taxonomía de suelos: M. Valverde

Taxonomía de suelos. Lenguaje técnico: M. Valverde

Horizontes de diagnóstico. Epipedones: M. Valverde

25 de octubre

Horizontes de diagnóstico. Endopedones: A. Alvarado

Regímenes de humedad y temperatura del suelo: A. Alvarado

Propiedades para diagnóstico: M. Valverde

Histosoles y Espodosoles: M. Valverde

Andosoles: A. Alvarado

Oxisoles: A. Alvarado

Vertisoles: E. Marín

Mollisoles: A. Vásquez

26 de octubre

Salida al campo: Volcán Irazú: A. Alvarado

Alfisoles y Ultisoles: M. Valverde

Inceptisoles y Entisoles: M. Valverde

Familias de suelos: A. Alvarado

Riego y taxonomía: A. Vásquez

27 de octubre

Proyecto de suelos Benchmark: M. Valverde

IBSIAT: M. Valverde

Análisis de suelos: E. Bornemisza

Segunda salida al campo: Liberia

28 de octubre

Suelos de Cañas: Alfisol-Inceptisol-Vertisol: A. Vásquez

Suelos de Liberia: Entisol: A. Vásquez

29 de octubre

Suelos de Pijije: Entisol-Inceptisol: A. Vásquez

Suelos en Guardia: Mollisol-Alfisol-Vertisol: A. Vásquez

Suelos en el Coco: Alfisol: A. Vásquez

30 de octubre

Viaje al campo: San Isidro del General: A. Alvarado

Suelos San Isidro: Ultisol: A. Alvarado

Suelos San Isidro. Buenos Aires: Plintitas: A. Alvarado

Suelos La Piñera: Ultisol: A. Alvarado

Suelos La Palma: Inceptisol-Cobre: A. Alvarado

31 de octubre

Suelos El Empalme: Inceptisol: A. Alvarado

Suelos Casa Mata: Espodosol: A. Alvarado

1 de noviembre

Principios de interpretación de mapas de suelos: M. Valverde

Aplicación de la taxonomía de suelos en los programas de investigación: A. Alvarado

Desarrollo de una leyenda para el reconocimiento de suelos: M. Valverde

Preparación de informes y mapas para reconocimiento de suelos: M. Valverde

2 de noviembre

Enfoque de extrapolación de resultados en sistemas de cultivo: J. Henao

Distribución de sistemas de cultivo en relación a subgrupos de suelos: R. Hawkins

Cultivo de café; taxonomía: A. Vásquez

Cultivo de arroz; taxonomía: A. Cordero

3 de noviembre

Pastos: taxonomía: J. Spain

Cultivo de frijol; taxonomía: R. Corella

Manejo de suelos en el altiplano central de Guatemala: D. Kass

Investigación de arroz de secano en Panamá: J. Jonas

Panel de discusión: Transferencia de tecnología agrícola en la región centroamericana: necesidades, metodología y propiedades.

Clausura

APENDICE 2. LISTA DE PARTICIPANTES

- ALFREDO ALVARADO
Especialista en Suelos
Universidad de Costa Rica, (UCR),
San José
- BENJAMIN NAME
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Apartado #58, Santiago de Veraguas, República de Panamá; Tel: 984521; 98416 Residencia.
- CARLOS F. BURGOS
Jefe Departamento de Producción Vegetal, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- CARLOS FERNANDEZ RIVERA
Dirección de Riego y Avenamiento del MAG, Departamento de Suelos. 7ª Avenida 12-90 zona 13; Tel: 324120. Ciudad de Guatemala
- DORA MARIA FLORES MORA
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Departamento de Producción Vegetal. RESIDENCIA: Avenida 5 entre calles 6 y 8 Cartago, Costa Rica. Tel: 511474
- FELICIANO PAZ FERNANDEZ
Secretaría de Recursos Naturales (SRN), BOULEVAR "Centro América", Tegucigalpa, Honduras. Tel: 324096 RESIDENCIA: Apartado #172 Comayaguela, Honduras.
- FRANCISCO CORELLA V.
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San José, Costa Rica. RESIDENCIA: Calle 16, Ave. 0 y 1, Alajuela, Costa Rica.
- FREDDY SANCHO MORA
Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, San José
- GABRIELA NUÑEZ F.
Secretaría de Recursos Naturales (SRN), /Centro de Análisis de Agua y Suelo/. Boulevard Miraflores, Tegucigalpa, Honduras. RESIDENCIA: Apartado #172, Comayaguela D. C., Honduras

GERMAN RAUL HENRIQUEZ

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA). Oficina Central. Apartado #885, San Salvador. Tel: 330266 ó 330299
RESIDENCIA: 7 calle poniente #13, San Vicente, El Salvador;
Tel: 330425

HUGO FLORES CORDOVA

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA). Oficina de la Región IV CENTA. Final Calle Chapanastique, costado sur Cementerio General. San Miguel, El Salvador; Tel: 612979
RESIDENCIA: 13 C.O. #712 Colonia Belén San Miguel, El Salvador.

HUGO A. TOBIAS V.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Area de Manejo y Uso de Suelos y Agua. Ciudad Universitaria Zona 12, Apartado 1545, Ciudad de Guatemala.
RESIDENCIA: Avenida Elena 14-17 Zona 1, Ciudad de Guatemala.
Tel: 28681-81945.

JOHN KIMBLE M.

USDA, Soil Conservation Service, MNTC. Federal BLDG., Room 354. 100 Centennial Mall N. Lincoln, NE 68508.

JORGE JONAS

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Apartado #6-4391, El Dorado, Panamá.

JUAN ERNESTO CELADA

Residente del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Guatemala. Oficina del IICA 1ª Av, 8-00 Zona 9, Guatemala.
RESIDENCIA: 1ª calle 8-89, Zona 18, Residenciales Atlántica;
Tel: 564651, Ciudad de Guatemala.

LUIS A. ESTRADA L.

Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas (ICTA), Guatemala.
RESIDENCIA: 6 calle "A" 7-74, Zona 9; Tel: 62125, Ciudad de Guatemala.

LUIS A. GUERRERO	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA). Oficina Central. Apartado #885, San Salvador. Tel: 282066 RESIDENCIA: C. Miguel Gavidia #11, Repto. Los Héroes, San Salvador.
MARIA INES MORA MORA	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Unidad de Cultivo de Tejidos. Turrialba, Costa Rica.
MARIO VALVERDE A.	Soil Management Support Service (SMSS) 37 Burgan Ave. Clovis, CA 93612, USA. RESIDENCIA: 1130 "O" St. Rm 3116 Fresno, CA 93721 Phone (209) 487-5125.
MICAEL JUNKOV	Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Apartado #8198, San José, Costa Rica.
OSCAR CBANDO ALVARADO	Banco Nacional de Costa Rica, San José. RESIDENCIA: Apartado 542, Cartago, Costa Rica.
RAFAEL MATA CHINCHILLA	Universidad de Costa Rica. Centro Regional del Atlántico, Turrialba, Costa Rica.
SALATIEL LOPEZ VASQUEZ	Secretaría de Recursos Naturales (SRN). Boulevard Centro América, Tegucigalpa, Honduras; Tel: 324096.
SANTANDER JARAMILLO E.	Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Apartado #58, Santiago de Veraguas, Panamá.
VICENTE IBAÑEZ SALAZAR	Universidad de San Carlos, Escuela de Zootecnia. Ciudad Universitaria Zona 12, Guatemala. Tel: 760790-4. Ext. 316. RESIDENCIA: 23 av. 0-36, Zona 15 V.H. II Tel: 692086, Ciudad de Guatemala.

Publicación del CATIE preparada por el
Departamento de Producción Vegetal con
la colaboración de la Sección de Producción
de Medios Educativos del Programa de
Formación de Recursos Humanos.

Edición:

Andrés R. Novoa, M.S.
Dora María Flores, Ing. Agr.

Editor gráfico:

Jaime Rojas Hetebrügge, M.S.

Mecanografía:

Rose Mary Garro Z.

Ilustraciones:

Andrés Núñez Pérez

Impresa en Grafoprint S.A.

Edición de 1000 ejemplares

San José, Costa Rica, setiembre de 1984.

312