

Estudio de suelos en la zona de colonización Alto Beni, La Paz, Bolivia

Jörg Elbers
Instituto de Ecología,
UMSA

1. Introducción

La región Alto Beni, ubicada en el borde oriental de los Andes en el departamento La Paz, ha sido ocupada en el marco de la colonización agrícola estatal desde el principio de los años 60 (Monheim, 1965). Los nuevos habitantes provienen en la mayoría del Altiplano, es decir de una ecoregión totalmente diferente a la del bosque tropical húmedo. La presión demográfica y los sistemas inadecuados de uso de la tierra tienen como consecuencia el desmonte de terrenos cada vez menos aptos para el uso agrícola.

El área de investigación del presente estudio está ubicada en la zona de colinas de la Serranía de Marimonos al norte de Sapecho (Fig. 1), que tiene un relieve característico para las zonas montañosas del Alto Beni con uso agrícola. En esta zona realicé un mapeo detallado de los suelos.

No existían estudios de suelos detallados o mapas de suelos para la región Alto Beni. Sólo había descripciones de unos perfiles de suelo en dos estudios sobre la Capacidad de Uso Mayor de la Tierra realizados para toda la zona de colonización Alto Beni (CUMAT-COTESU, 1985; 1987).

Por la inexistencia de mapas de la región Alto Beni, tuve que elaborar mapas base topográficos para exponer los resultados del presente trabajo en forma adecuada. Mediante los métodos de aerotriangulación y fotointerpretación cuantitativa se realizó la elaboración de los mapas de este estudio (Elbers, 1991).

Los suelos fueron clasificados según la nomenclatura del Mapa Mundial de Suelos de la FAO (1988) para poder comparar los resultados con estudios de otras regiones andinas.

2. La región Alto Beni

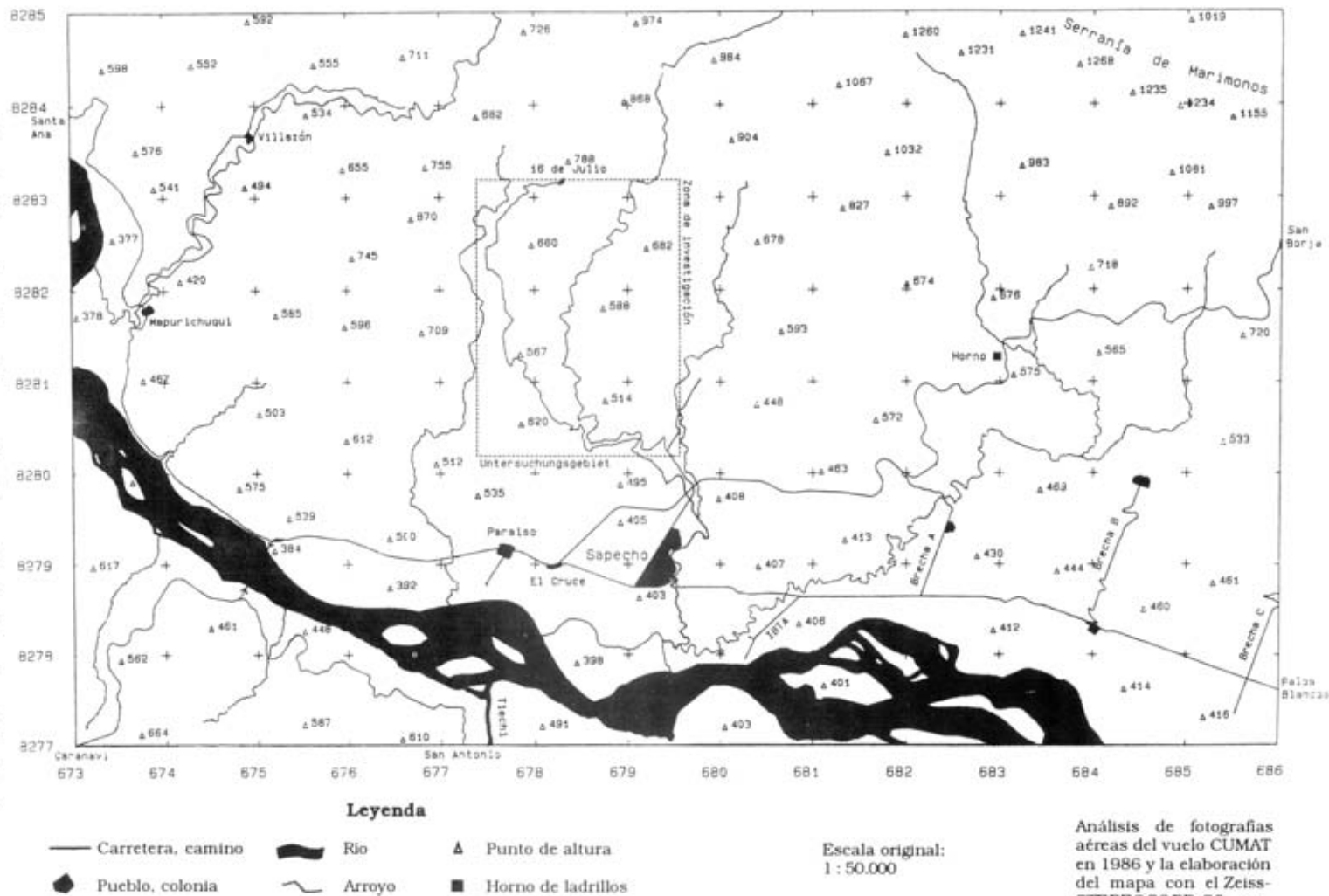
2.1 Ubicación geográfica

La zona de colonización Alto Beni (15°32' S, 67°21' O) está ubicada en el borde oriental de los Andes en el departamento de La Paz, a unos 140 km al noreste de la ciudad de La Paz. El Alto Beni abarca partes de las provincias Sud Yungas, Caranavi y Larecaja del departamento de La Paz, con una superficie de 260.000 ha (CUMAT, 1987).

2.2 Geología y geomorfología

La faja subandina corresponde al borde oriental de los Andes bolivianos que se extiende desde la frontera con el Perú al norte, hasta la frontera con la Argentina al sur del país. La región Alto Beni está ubicada en la parte septentrional de esta faja. Esta zona se caracteriza por la existencia de varias serranías paralelas (hasta 2.500 m s.n.m.) y valles anchos. Los anticlinales,

Fig. 1: Mapa de ubicación y región de estudio de Sapecho (Alto Beni).



mayormente estrechos e inclinados hacia el este, están formados por sedimentos cretáceos. En los ejes de los anticlinales, los sedimentos paleozóicos llegan hasta la superficie. Los sinclinales son anchos y construidos por sedimentos terciarios (Ahlfeld y Branisa, 1960; Zeil, 1986). Los sedimentos de la formación *Beu* del Cretácico superior y de la formación *Bala* del Terciario inferior tienen un gran espesor, litológicamente se trata de bancos de areniscas, en parte con concreciones calcáreas, lutitas y conglomerados (Ahlfeld y Branisa, 1960; Muñoz-Reyes, 1980).

La parte sudoeste de la zona de colonización Alto Beni pertenece al bloque paleozóico de la Cordillera oriental. La falla central entre el Ordovícico y el Terciario corre paralela al río Alto Beni en dirección sudeste-noroeste, pasando por la línea río Boopi - Bella Vista - Mayaya (Ahlfeld, 1960).

La zona de colonización Alto Beni abarca el valle del río Alto Beni, que se forma por la confluencia de los ríos Cotacajes y Boopi cerca de San Miguel de Huachi, y el valle del río Cotacajes entre Covendo y la confluencia con el río Boopi, la cuenca del río Inicua y una pequeña parte de la orilla derecha de la cuenca del río Kaka. El límite sudoeste del valle del río Alto Beni está formado por la Serranía de Bella Vista, el límite noreste por la Serranía de Marimonos. Al noreste del valle del río Inicua se extiende la Serranía del Pelado.

El río Boopi (río de La Paz) nace en el Chacaltaya al norte de la ciudad de La Paz y el río Cotacajes nace bajo el nombre Tallija en la provincia Tapacarf del departamento Cochabamba (Barragan, 1990). En la angostura Bala, cerca de Rurrenabaque, el río Alto Beni pasa por la última serranía de la faja subandina y entra en la llanura amazónica, donde fluye como río Beni hacia el nor-noreste. El río Beni, junto con el río Mamoré, forman el río Madera. La cuenca hidrográfica del río Beni ocupa 182.800 km², la longitud total del Chacaltaya hasta la confluencia con el río Mamoré es de 984 km (Montes de Oca, 1989).

El perfil transversal del valle del río Alto Beni está caracterizado por una llanura aluvial de 2 - 4 km de ancho, donde el río fluye como corriente trenzada (*braided river*). La llanura aluvial se puede diferenciar en la llanura reciente, la subreciente y la antigua, que queda fuera del alcance de las inundaciones del río Alto Beni. El nivel actual de la llanura antigua probablemente tiene una edad del Pleistoceno superior hasta el Holoceno inferior (Campbell et al., 1985; Clapperton, 1983).

En el lado sudoeste del valle colinda con la llanura aluvial una ancha zona de colinas que se inclina paulatinamente hacia la serranía de Bella Vista. Varios ríos, como el río Tiechi, el río Piquendo y el río Suapi, drenan esta zona. En el lado noreste del valle sigue a la terraza aluvial una zona de colinas de 2 - 3 km de ancho, que pasa a las laderas escarpadas y cóncavas de la serranía de Marimonos. La distancia horizontal entre el fondo del valle a 400 m s.n.m. y la cresta de la serranía de Marimonos con alturas por encima de 1.200 m s.n.m. sólo asciende a 7 km. El punto más alto de la serranía de Marimonos está ubicado al norte de Sapecho, con 1.400 m s.n.m. aproximadamente. El lado noreste del valle sólo está drenado por arroyos, a causa de la escasa distancia entre la cresta de la serranía de Marimonos y el río principal.

2.3 Clima y zonas de vida

2.3.1 Clima

La región Alto Beni es - según el sistema de Walter y Breckle (1983) - una zona de transición climática de un régimen ecuatorial a tropical con lluvias de verano. De acuerdo con la

clasificación de Köppen, se trata de un clima Aw, es decir un clima cálido con 12 meses con temperaturas mayores a 18°C y 1 mes por lo menos con precipitaciones inferiores a 60 mm. Los climadiagramas de la figura 2 muestran las estaciones meteorológicas del Alto Beni que tienen por lo menos 6 años de registro. Las estaciones Sapecho y Covendo están ubicadas en la llanura del río Alto Beni y Cotacajes respectivamente. La estación Entre Ríos está localizada en la serranía de Bella Vista.

La estación climática de Sapecho dispone del período de registro más largo. En total hay datos de los años 1964 hasta 1985, pero en parte son incompletos (CUMAT-COTESU, 1985; Campos, 1990; IBTA, no publicado). La estación Sapecho está situada en el vivero del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA), a 1,5 km al sudeste del pueblo. Durante los últimos años la fuerte disminución del personal del vivero impidió el funcionamiento reglamentario de esta estación. Desde 1989 trabaja otra estación climática en Sapecho (PROMENAT, 1990; 1991), situada en el vivero de la central de cooperativas "El Ceibo" al límite noroeste del pueblo. Esta estación es atendida por el personal del vivero.

Las temperaturas medias anuales del valle del río Alto Beni están entre los 24 y 25°C, en las serranías circundantes las temperaturas bajan por causa de la orografía (Entre Ríos: 22,2°C). Los valores medios mensuales de Sapecho de 15 años de registro varían entre 22,1 y 26,5°C. Las temperaturas extremas máximas mensuales superan los 34°C, las temperaturas extremas mínimas mensuales descienden de los 16°C. Las temperaturas extremas absolutas oscilan entre 4,5 y 39,0°C.

Las precipitaciones anuales del valle del río Alto Beni varían entre 1.300 y 1.600 mm. Subiendo del fondo del valle a las serranías se nota un marcado aumento de las precipitaciones anuales. La población de Entre Ríos, situada a unos 550 m sobre el fondo del valle, tiene una precipitación media anual de 2.931 mm. En la serranía de Bella Vista, por encima de los 1.200 m s.n.m., supuestamente las precipitaciones anuales sobrepasan 4.000 mm, por lo que indica la fisonomía de la vegetación de esta zona.

El promedio de precipitación registrado para 15 años en Sapecho es de 1.584 mm, con valores extremos de 1.058 y 2.003 mm. La época de lluvia dura 5 meses, de noviembre a marzo. El sol está en el cenit a fines de noviembre y a fines de enero. Según el cálculo del balance hídrico de Sapecho para el período anual, 7 meses son húmedos, desde mediados de octubre a mediados de mayo, y los otros 5 meses son secos (CUMAT-COTESU, 1985). En comparación, el cálculo del balance hídrico de Entre Ríos muestra 3 meses perhúmedos, de mediados de enero a mediados de abril, y el resto del año es húmedo. En Sapecho, en los meses de junio y julio, las precipitaciones pueden estar por debajo de los 10 mm; por otro lado en junio de 1980 cayeron 202 mm de lluvia. El extremo mensual de precipitación alcanzó 444 mm en marzo de 1964, en general los meses de diciembre a febrero son los más lluviosos. La intensidad pluvial puede superar los 100 mm en pocas horas. El promedio anual de humedad del aire está por encima del 80 %.

Los registros de vientos en la estación Sapecho muestran que durante los meses de septiembre a abril son casi exclusivamente de dirección sudeste, en la época seca predominan vientos del sur. La intensidad del viento normalmente no sobrepasa los grados de Beaufort 2 a 3. En la época seca los vientos del sur traen masas de aire polar provenientes de anticiclones antárticos. Estas masas de aire frío, conocidas como "surazos", causan abruptas reducciones térmicas (hasta 20°C) y a menudo están acompañadas por precipitaciones fuertes. Un surazo puede durar desde un día hasta más de una semana (Hanagarth y Sarmiento, 1990; Montes de Oca, 1989; Unzueta, 1975). La temperatura extrema mínima registrada durante un surazo en Sapecho es de 4,5°C, normalmente las temperaturas durante estos eventos varían entre 12 y 18°C.

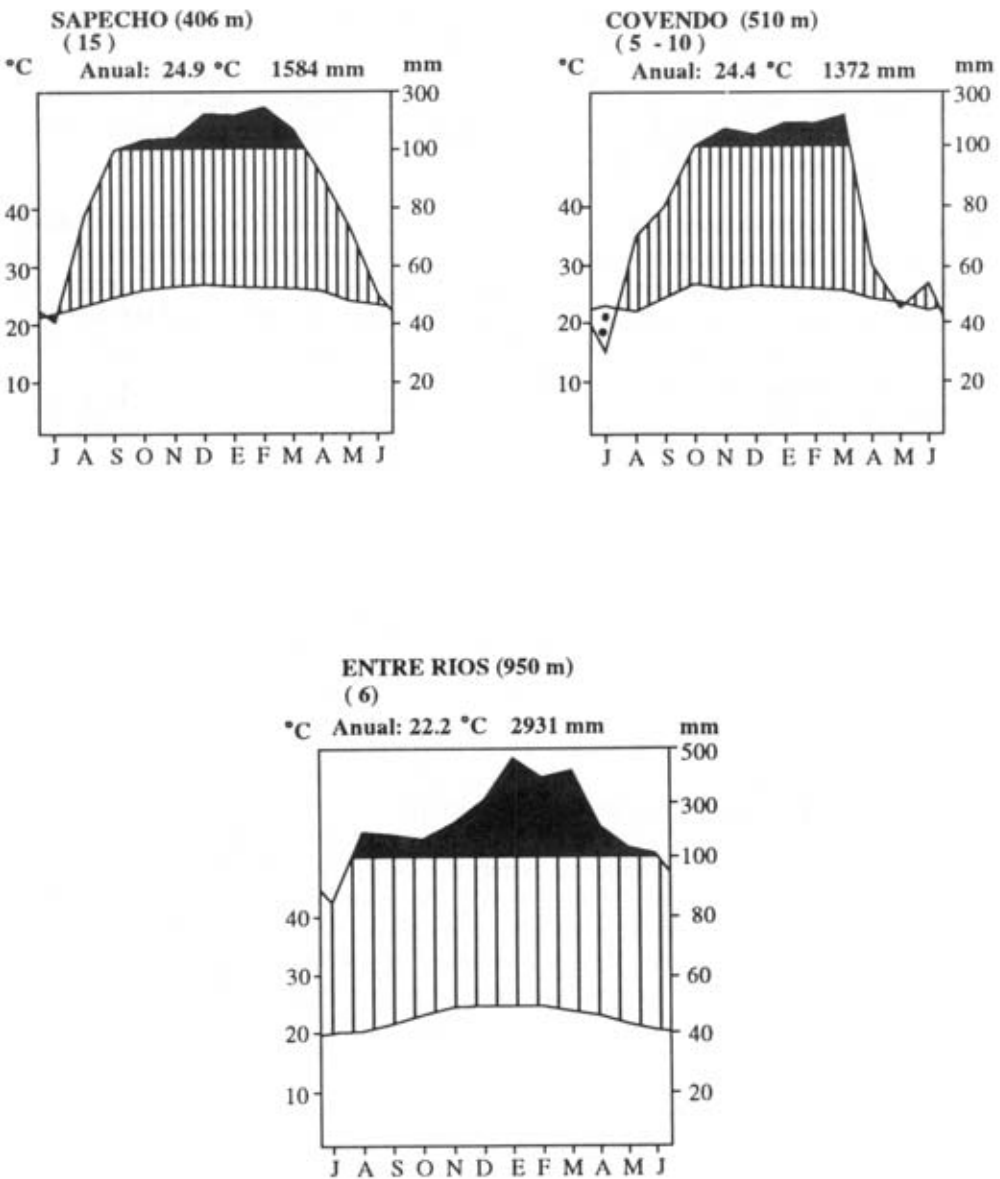


Fig. 2: Climadiagramas de Sapecho, Covendo y Entre Ríos.
(modificado de CUMAT-COTESU, 1985)

2.3.2 Las zonas de vida

La descripción de zonas de vida según el sistema de clasificación de Holdridge (1978) se usa aquí, por ser la base del sistema de determinación de la capacidad del uso mayor de la tierra usado durante los últimos años en Bolivia (CUMAT, 1985).

No obstante cabe mencionar que este sistema es criticado, porque el cambio de unidades de vegetación natural no se puede determinar siempre con la ayuda de este modelo teórico-matemático (Baptista, 1964; Richter y Lauer, 1987).

Según el cálculo del balance hídrico, Sapecho pertenece a la zona de vida "Bosque húmedo subtropical". Esta zona de vida ocupa en el Alto Beni los valles y las zonas de colinas hasta los 800 m s.n.m. aproximadamente. Por encima de esta altura se encuentra la zona de vida "Bosque muy húmedo subtropical" con precipitaciones anuales de 2.000 hasta 4.000 mm. Entre Ríos está ubicado en esta zona de vida. Arriba de los 1.200 m s.n.m., en la serranía de Bella Vista, con una precipitación anual presumible de más de 4.000 mm, se extiende la zona de vida "Bosque pluvial subtropical" (CUMAT-COTESU, 1985). Según el diagrama de Holdridge, la región Alto Beni pertenece al subtrópico. Esta determinación se discute en el punto 2.4.

2.4 Vegetación

La región Alto Beni forma parte de la gran unidad de vegetación de los bosques en las laderas orientales de los Andes denominada los Yungas (Beck, 1986). Herzog (1923; ver también Hueck, 1966) divide el bosque de los Yungas en tres pisos altitudinales: La "ceja de la montaña", los bosques de Medio Yungas y los bosques de Yungas Verdaderos.

El Alto Beni pertenece al piso de los Yungas Verdaderos, situado por debajo de los 2.000 m s.n.m. con amplia presencia de palmeras. En su aspecto y su flora los Yungas Verdaderos difieren poco de los bosques húmedos tropicales siempre verdes de tierras bajas de la Amazonía (Richards, 1952). La vegetación natural de los Yungas Verdaderos está formada por el bosque húmedo subandino, el cual normalmente es muy rico en especies (Richards, 1952; Ellenberg, 1979; Walter y Breckle, 1984; Prance, 1989). En coincidencia con los estudios arriba mencionados se puede denominar esta región zona tropical. Eso está en contradicción con la determinación de la zona de vida "Bosque subtropical" según el diagrama de Holdridge (1978) para el Alto Beni (ver 2.3.2). Los pisos altitudinales de la vegetación están determinados por el aumento de la precipitación con la altura y el número de meses húmedos, aproximadamente coinciden con las provincias de humedad del sistema de Holdridge.

La vegetación natural de las partes bajas del bosque húmedo montañoso (Ellenberg, 1979) del Alto Beni, hasta 800 m s.n.m. aproximadamente, tiene las siguientes características: El bosque es denso, alto y consta de varios pisos de árboles. La capa arbórea superior alcanza alturas de 30 a 40 m, los troncos son rectos, sin ramas en los dos tercios inferiores y alcanzan un diámetro de más de un metro. El porcentaje de lianas y epífitas herbáceas es bajo. La segunda capa arbórea llega a 15 hasta 20 m y tiene un porcentaje relativamente alto de palmeras. El sotobosque llega a 4 m de altura y está integrado por varias especies de carácter arbustivo, árboles y palmeras jóvenes y lianas. El sotobosque y la capa de herbáceas son normalmente ralos. Una pequeña parte de los árboles pierde sus hojas durante la época seca. Las especies arbóreas más extendidas pertenecen a los géneros *Aspidosperma*, *Brosium*, *Cordia*, *Erythrina*, varios géneros de las familias Lauraceae y Moraceae, Melastomataceae, *Calycophyllum*,

Cariniana, *Triplaris* y las palmeras *Scheelea*, *Euterpe*, *Bactris* y *Astrocaryum* (CUMAT-COTESU, 1985; ver también Unzueta, 1975; Lara, 1988).

Las formaciones secundarias de vegetación son bastante extendidas. La asociación vegetal del barbecho se compone de gramíneas, arbustos (Melastomataceas, Asteráceas, Piperáceas) y árboles pioneros, a cuya sombra se efectúan las etapas de sucesión siguientes. Las especies arbóreas más frecuentes del barbecho son ambaibo (*Cecropia* spp.), balsa (*Ochroma pyramidale*) y pacay (*Inga* spp.) (CUMAT-COTESU, 1987).

En alturas por encima de los 800 m s.n.m. aproximadamente, cambia el espectro de las especies y el aspecto del bosque húmedo montañoso debido al aumento de la humedad. A diferencia de la formación de vegetación ya descrita, existen muchas palmeras, trepadoras, lianas, epífitas herbáceas y, en cantidades menores, helechos arbóreos. Las especies arbóreas más comunes son varios géneros de lauráceas y *Sloanea*, *Hura*, *Swietenia*, *Schizolobium*, *Aspidosperma*, más las palmeras *Iriartea*, *Socratea*, *Euterpe* y *Jessenia* (CUMAT-COTESU, 1985).

En la serranía de Bella Vista, el límite sudoeste del valle del río Alto Beni, sigue en alturas por encima de los 1.200 m s.n.m. otra formación de vegetación, el bosque perhúmedo montañoso, que se diferencia fuertemente de los bosques ya descritos. Los árboles sólo alcanzan alturas de 20 a 25 m, con diámetros delgados y copas pequeñas y deformes. Hay muchas palmeras, helechos arbóreos, trepadoras y lianas. Lo característico de esta formación de vegetación es la abundancia de epífitas, musgos, líquenes y helechos que cubren fustes, ramas y hojas. Entre las especies arbóreas son representativos los géneros *Cedrela*, *Brunellia*, *Clusia*, *Podocarpus*, *Oreopanax*, *Chinchona*, las palmeras *Geonoma*, *Chamaedorea*, los helechos arbóreos *Alsophila*, *Cyathea*, *Hemitelia*, *Blechnum*, *Lophosia*, así como musgos, líquenes, orquídeas, bromeliáceas y aráceas (CUMAT-COTESU, 1985).

2.5 Estudios existentes sobre suelos

A continuación se presenta un resumen de los estudios de suelos existentes, referidos a la región de Alto Beni.

Los primeros mapeos sistemáticos de suelos en Bolivia se realizaron entre los años 1959 y 1963, en el borde oriental de los Andes y en el Oriente, en zonas que se evaluaron respecto a su aptitud potencial para la colonización. Dentro de este marco se mapeó la región de Alto Beni (FAO, 1964). Los estudios de suelos que se realizaron entre Covendo y Santa Ana, se limitaron a las llanuras aluviales casi planas y se extendieron sólo hasta el pie de declive en las colinas de ambos lados del río Alto Beni. Los suelos fueron clasificados según la metodología de uso de la tierra del U.S. Soil Conservation Service (1951) (Arce, 1960). Para este estudio se examinaron solamente terrenos con una pendiente menor a 6 %, mientras que la colonización se realizó desde el inicio en gran parte de las colinas. Por eso, no se puede decir que los suelos examinados son característicos para toda el área de colonización Alto Beni.

La información sobre los suelos de Bolivia, incluida en el Mapa Mundial de Suelos de la FAO-UNESCO, de 1970, se basa principalmente en el estudio de Wright (1964). La memoria explicativa de dicho mapa, basada en una nueva nomenclatura de suelos editada en 1974 (FAO-UNESCO, 1974), clasifica toda la parte septentrional de la faja subandina boliviana, y por lo tanto incluye la región Alto Beni. Para esta zona se determinaron las siguientes unidades de suelos: en las colinas y serranías Litosoles, Cambisoles y Regosoles; en el valle del río Alto Beni Gleysoles y Fluvisoles (FAO-UNESCO, 1970; 1971).

En los estudios elaborados por CUMAT-COTESU (1985; 1987) sobre la capacidad del uso mayor de la tierra en el Alto Beni se estudiaron 22 perfiles de suelo, y se clasificaron según el sistema de la Soil Taxonomy (U.S. Soil Conservation Service, 1975). Del total de perfiles, 10 se encuentran en las llanuras aluviales y 12 en colinas formadas por rocas sedimentarias del Terciario. En las llanuras recientes y subrecientes se describieron Entisoles e Inceptisoles, y en las llanuras antiguas y las zonas colinosas se describieron Inceptisoles y Alfisoles.

Una breve discusión de los estudios existentes sobre suelos se realiza en el punto 3.2.5.

3. El área de estudio

3.1 Descripción

El área de estudio está ubicada en el lado noreste del valle del río Alto Beni, en la zona de colinas de la Serranía de Marimónos, que está formada por sedimentos terciarios. El material parental de la formación de los suelos consiste en areniscas, lutitas y conglomerados terciarios, y en las orillas del arroyo de Sapecho de estrechas terrazas de origen aluvial. La llanura antigua del río Alto Beni termina unos 300 m al sureste del área de estudio. El límite sur se encuentra aproximadamente a 1 km al norte del pueblo de Sapecho (Fig. 1). La extensión norte-sud mide 3 km, la extensión este-oeste 2,2 km y la superficie 660 ha. Dentro del área se encuentran las colonias San Pedro, Tarapacá, 16 de Julio y la concesión de la Cooperativa Sapecho.

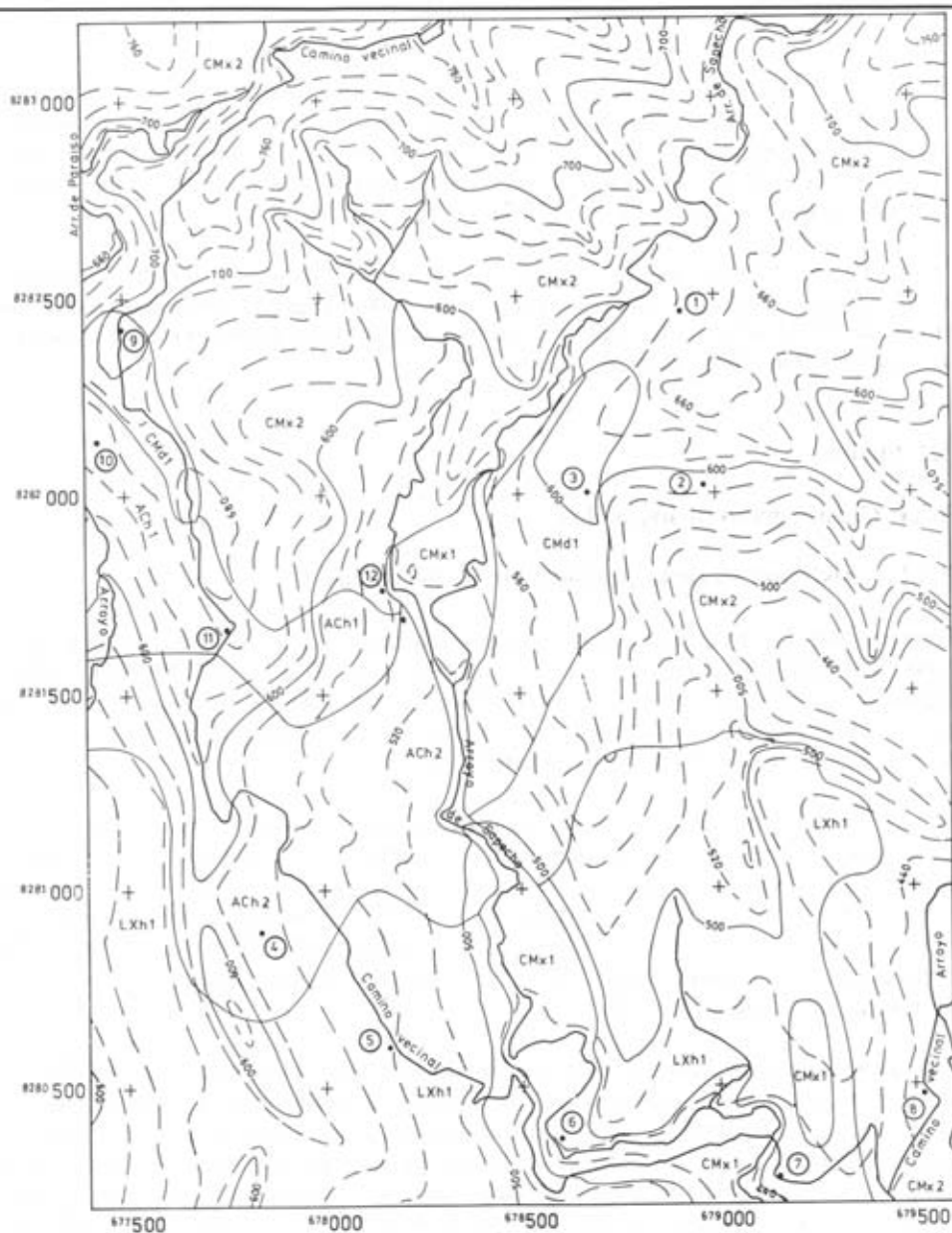
El punto más alto, en el núcleo de la colonia 16 de Julio, llega a 785 m s.n.m., el punto más bajo se encuentra en el sudeste con 425 m s.n.m., de lo que se deduce una elevada energía de relieve.

La corriente principal es el arroyo de Sapecho con sus tributarios. El arroyo de Sapecho nace en la cresta de la Serranía de Marimónos y desemboca al sur de Sapecho en el río Alto Beni, tiene una longitud de 13 km y baja unos 900 m de altura entre la fuente y la desembocadura.

La descripción del clima en la zona de investigación se basa en los datos de las estaciones climáticas en Sapecho. Existe un aumento en las precipitaciones anuales entre Sapecho (405 m s.n.m.) y el núcleo de la colonia 16 de Julio (785 m s.n.m.), condicionado por la orografía. Sin embargo, el impresionante aumento de las precipitaciones anuales entre Sapecho y Entre Ríos, un pueblo ubicado al lado sudoeste del valle en la Serranía de Bella Vista, no se repite al lado noreste del valle. El lado sudoeste del valle está ubicado en barlovento de las situaciones meteorológicas que traen las lluvias de la Amazonía, al contrario el lado noreste se encuentra en sotavento de la Serranía de Marimónos y recibe menor precipitación.

Según el sistema de las zonas de vida de Holdridge (1978), el área de estudio pertenece a la zona de vida bosque húmedo subtropical como vimos anteriormente. Por la carencia de datos climatológicos de la parte alta de la Serranía de Marimónos, CUMAT-COTESU (1985) ha estimado que la transición a la zona de vida bosque muy húmedo subtropical con precipitaciones anuales por encima de 2000 mm se encuentra en una altura de 800 m s.n.m. aproximadamente, es decir al noreste de la zona de trabajo en la parte alta de la Serranía de Marimónos. La vegetación natural corresponde a un bosque tropical siempreverde del piso inferior.

El núcleo de Sapecho fue uno de los cinco núcleos del primer programa de colonización, realizado entre 1961 y 1963. La colonia San Pedro, fundada en 1962/63, colinda en el norte con el núcleo de Sapecho y abarca el tercio austral de la zona de investigación. A principios de los



Legenda

Unidades de suelo

AC	ACRISOLES
ACh	Acrisoles háplicos
CM	CAMBISOLES
CMd	Cambisoles distrícos
CMx	Cambisoles crómicos
LI	LIXISOLES
LXh	Lixisoles háplicos

Unidades cartográficas

Símbolo	Suelos asociados
ACh1	CMx
CMd1	ACh
CMx1	CMd LXh
CMx2	CMd LXh
LXh1	CMx

Textura
L, Lt/F.Fy
Ls/FA
Ls/FA
Lt,Lu,L/FY,FL,F
Ltu,L/FYL,F

Análisis de fotografías aéreas del vuelo CUMAT de mayo 1986 y levantamiento del mapa original con el Zeiss-STEREOCORD G3, trabajo de campo, elaboración y dibujo en limpio por J. Elbers, 1991.

Escala original:
1 : 10.000

② Perfil de suelo

Fig. 3: Mapa de suelos de las colonias San Pedro, Tarapacá y 16 de Julio.

años 70 el Instituto Nacional de Colonización (INC) donó a la Cooperativa Sapecho el título de una concesión de 600 ha, ubicada al norte de la colonia San Pedro. En razón de que la Cooperativa Sapecho nunca usó la mayor parte de esta concesión, a principios de los años 80 el INC le quitó aproximadamente dos tercios del terreno en base a la Ley de Reversión de Tierras. Hoy en día, la concesión abarca 210 ha. En los terrenos revertidos, el INC fundó las colonias Tarapacá y 16 de Julio en 1983/84 (G. Trujillo, com. pers.).

El camino vecinal, que pasa por toda la zona de estudio y parte de la carretera troncal, fue construido en los años 70 como brecha para un aserradero pequeño ubicado antes de llegar a la colonia 16 de Julio. Este camino sirvió para el transporte de madera hasta el cierre del aserradero, a fines de los años 70.

3.2 Suelos

3.2.1 Clasificación de los suelos

3.2.1.1 Sistemática de la clasificación de los suelos

En el presente trabajo se clasificaron los suelos de acuerdo al Mapa Mundial de Suelos (FAO, 1988), cuya leyenda tiene modificaciones a la edición de 1974 (FAO-UNESCO, 1974). La finalidad de elaborar esta nomenclatura de suelos era crear un sistema de clasificación reconocido internacionalmente, para poder comparar suelos de todo el mundo sin estudiar antes las sistemas de clasificación de países particulares.

La identificación de unidades de suelo según la leyenda del Mapa Mundial de Suelos se basa en el mapeo de horizontes diagnósticos, los cuales están definidos por criterios morfológicos, físicos y químicos mensurables. La mayoría de estos criterios se derivan de la sistemática de la Soil Taxonomy (U.S. Soil Conservation Service, 1975). Entre ambas clasificaciones existe una diferencia, a saber que en la leyenda del Mapa Mundial de Suelos no se usa el clima (temperatura y humedad del suelo) como criterio diagnóstico, por esa razón es mucho más fácil de aplicar que la Soil Taxonomy.

Las razones más importantes para la elección del sistema de clasificación de la FAO son el reconocimiento general, la posibilidad de correlación internacional y la estructura, poco complicada en comparación con el sistema americano. La crítica principal a la clasificación usada se debe a su enfoque estrictamente morfométrico en la diferenciación de criterios diagnósticos y unidades de suelo. Una determinación correcta sin análisis de laboratorio generalmente no es posible, en países en vías de desarrollo existen pocos análisis de suelos realizados y las posibilidades de llevar a cabo estos análisis son también limitadas.

En el presente mapeo se pudo determinar fácilmente en varios suelos el horizonte diagnóstico B argílico (horizonte de acumulación iluvial de arcilla), pero la determinación de la unidad de suelo solamente fue posible con la ayuda de análisis de laboratorio. Según la clasificación del Mapa Mundial de Suelos, cuatro de las unidades de suelo con un horizonte B argílico entraron en consideración, y para su clasificación definitiva se determinó el contenido exacto de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases (tabla 1).

Tabla 1: Características de cuatro unidades de suelo con horizonte diagnóstico B argílico según la clasificación de la FAO (1988).

Unidad de suelo	CIC mval/100 g arcilla	SB %
Luvisoles	≥ 24	≥ 50
Alisoles	≥ 24	< 50
Lixisoles	< 24	≥ 50
Acrisoles	< 24	< 50

CIC = Capacidad de intercambio catiónico

SB = Saturación de bases

3.2.1.2 Clasificación de los suelos investigados

La clasificación de los 12 perfiles de suelo tomados en la zona de investigación (tabla 2) dió como resultado la distribución de las siguientes unidades y subunidades de suelo:

Tabla 2: Unidades y subunidades de suelos encontradas en la zona de estudio.

CAMBISOLES (CM): Cambisoles dístricos (CMd) Cambisoles crómicos (CMx)
LIXISOLES (LX): Lixisoles háplicos (LXh)
ACRISOLES (AC): Acrisoles háplicos (ACh)

Los Cambisoles se caracterizan por un horizonte diagnóstico B cámbico, que es un horizonte mineral del subsuelo con signos de transformación, pero sin laterización, podzolización o iluviación (*lessivage*). A la subunidad Cambisol dístrico pertenecen Cambisoles con una saturación de bases menor a 50 % en el horizonte B. A la subunidad Cambisol crómico pertenecen Cambisoles con un horizonte B con coloraciones que van del pardo rojizo al rojo por la presencia de óxidos de hierro libres y homogéneamente distribuidos.

Los Lixisoles y Acrisoles son suelos con un horizonte diagnóstico B argílico, caracterizado por ser un horizonte mineral del subsuelo con acumulación iluvial de arcilla. Los Lixisoles poseen un horizonte B con capacidad de intercambio catiónico baja y saturación de bases alta. Los Acrisoles poseen un horizonte B con capacidad de intercambio catiónico baja y saturación de bases baja. Las diferencias entre Lixisoles y Acrisoles y otras unidades de suelo con horizonte B argílico se muestra en la tabla 1. La denominación de las subunidades como Lixisoles háplicos y Acrisoles háplicos significa la formación normal de la unidad de suelo con el perfil más simple. Los Lixisoles son una nueva formación en la leyenda revisada del Mapa Mundial de Suelos (FAO, 1988). En la primera leyenda (FAO-UNESCO, 1974) los suelos hoy en día llamados Lixisoles pertenecían a la unidad de suelo de los Luvisoles.

Para comparar los resultados de la clasificación de suelos realizada en el presente trabajo con las investigaciones de suelos en los estudios de CUMAT-COTESU (1985; 1987), se clasificó los perfiles de suelo según la sistemática de la Soil Taxonomy (U.S. Soil Conservation Service, 1975; Soil Survey Staff, 1987), según la cual se trata de suelos de los órdenes Inceptisoles (corresponden a los Cambisoles), Alfisoles (corresponden a los Lixisoles) y Ultisoles (corresponden a los Acrisoles, ver tabla 3).

Tabla 3: Correlación de nomenclaturas del Mapa Mundial de Suelos (FAO) y de la Soil Taxonomy (USA) para los suelos de las colonias de San Pedro, Tarapacá y 16 de Julio.

FAO (1988)	USA (1975)
Cambisoles déstricos	Oxic Dystropept
Cambisoles crómicos	Typic Eutropept
Lixisoles háplicos	Oxic Tropudalf
Acrisoles háplicos	Orthoxic Tropudult/ Dystropeptic Orthoxic Tropudult

3.2.2 Unidades cartográficas del mapa de suelos

Las unidades de suelo mapeadas fueron agrupadas en unidades cartográficas (map units), según las normas de elaboración cartográfica del Mapa Mundial de Suelos (FAO, 1988). Una unidad cartográfica es un área con una unidad de suelo dominante, se define por la vinculación existente con otras unidades de suelo, en el presente trabajo la textura sirve como otro criterio para esta delimitación. Cada unidad cartográfica del mapa de suelos (Fig. 3) recibe un símbolo compuesto por la abreviación de la unidad de suelo dominante y un número, con este símbolo se puede obtener de la leyenda los suelos asociados y la textura. Las clases texturales provienen del diagrama triangular de suelos de la FAO (1977). En la tabla 4 hay un cuadro sinóptico de las unidades cartográficas del mapa de suelos (Fig. 3), una descripción detallada se encuentra en Elbers (1991).

Tabla 4: Cuadro sinóptico de las unidades del mapa de suelos.

Símbolo en el mapa	Suelos asociados	Textura (FAO)	Roca de Origen	Extensión (ha)
A Ch 1	C Mx	F, FY	Lutitas, areniscas y conglomerados terciarios	27
A Ch 2	C Md	FA	Areniscas terciarias	57
C Md1	A Ch	FA	Areniscas terciarias	31
C Mx1	-	FA	Aluvio, areniscas terciarias	39
C Mx2	CMd, LXh	FY, FL, F	Lutitas, areniscas y conglomerados terciarios	359
LXh1	CMx	FYL, F	Lutitas y areniscas terciarias, aluvio	147

A Ch = Acrisoles háplicos

C Md = Cambisoles déstricos

C Mx = Cambisoles crómicos

L Xh = Lixisoles háplicos

F = Franco

FA = Franco arenoso

FL = Franco limoso

FY = Franco arcilloso

FYL = Franco arcilloso limoso

Todos los suelos mapeados en la zona de investigación son libres de carbonatos, es decir no hay incidencia de arenisca terciaria con concreciones calcáreas como material parental de la formación de los suelos. En general, este material parental se encuentra disperso en toda la zona de colonización Alto Beni (CUMAT-COTESU, 1985; 1987).

3.2.3 Aspectos de la génesis de los suelos

Los suelos de la faja subandina oriental son muy jóvenes en comparación con los suelos del precámbrico (Escudo Brasileño) colindantes en el noreste, donde se realizó una meteorización muy profunda durante millones de años. Como el plegamiento de las serranías subandinas orientales probablemente se realizó entre el plioceno y el pleistoceno inferior, el inicio de la formación de los suelos del Alto Beni empezó en el pleistoceno inferior. Las unidades de suelo mapeadas o muestran un perfil simple Ah-Bw-Cw cuando sólo hubo procesos de transformación en el material parental, o un perfil Ah-E-Bt-Cw con acumulación iluvial de arcilla en el subsuelo. Al primer grupo mencionado pertenecen los Cambisoles, al segundo grupo los Lixisoles y Acrisoles. Estas unidades de suelo encontradas en la zona de investigación forman parte de los suelos fersialíticos. La laterización de los suelos, el proceso típico para las condiciones de meteorización intensiva en los trópicos húmedos, es decir el empobrecimiento en sílice (desilificación) y la acumulación de productos de meteorización estables como hierro, óxidos de aluminio y caolinita, no se llevó a cabo en gran escala todavía (Fölster y Fassbender, 1984; Scheffer y Schachtschabel, 1984).

Un buen indicador para la caracterización del grado de meteorización de los suelos es el cociente limo/arcilla. Cocientes bajos muestran un grado de meteorización alto (Pagel et al., 1982). En la clasificación de suelos de la FAO (1988) un criterio para un horizonte B ferrálico es un cociente limo/arcilla menor a 0.2. El horizonte *ferralic B* es el horizonte diagnóstico de los Ferralsoles, los suelos del interior del trópico ricos en hierro y aluminio y profundamente meteorizados. El cociente limo/arcilla más bajo en el horizonte B de los 12 perfiles de suelo investigados llega a 0.9 en el horizonte Bt del perfil 10. El cociente más alto asciende a 4.2 en el horizonte Bw2 del perfil 12 (ver descripciones de los perfiles en el apéndice I y en Elbers, 1991). Estos cocientes limo/arcilla altos muestran un grado de meteorización relativamente bajo.

Otro criterio para la caracterización del grado de meteorización de suelos son el tipo y la composición de los minerales de arcilla. El análisis de minerales de arcilla de los 12 perfiles de suelo dió por resultado la existencia de ilitas y caolinitas. La caolinita es un mineral de silicatos laminares 1:1, donde sigue una lámina de octaedros a una lámina de tetraedros. En los suelos tropicales y subtropicales profundamente meteorizados la caolinita es el mineral de arcilla más frecuente. Las caolinitas tienen la superficie específica más pequeña (1-40 m²/g) y la capacidad de intercambio catiónico más baja (3 - 15 mval/100 g) de todos los minerales de arcilla. La illita es un mineral de silicatos laminares 2:1 con la sucesión de las láminas tetraedro-octaedro-tetraedro. En su estructura cristalina las ilitas son muy parecidas a las dos micas biotita y muskovita. La superficie específica (50 - 200 m²/g) y la capacidad de intercambio catiónico (10 - 40 mval/100 g) de las ilitas son notablemente más elevadas que de las caolinitas (Sanchez, 1976; Scheffer y Schachtschabel, 1984). La relación entre illita y caolinita se encuentra en 3:1 para los suelos de las unidades cartográficas CMx1, CMx2 y LXh1, es decir en estos suelos predominan claramente las ilitas, las cuales muestran un grado de meteorización inferior. En los suelos mayormente franco arenosos, fuertemente lavados y pobres en nutrientes de las unidades cartográficas ACh1, ACh2 y CMd1, la relación entre illita y caolinita se encuentra en 1:1. En estos suelos se nota un desfase claro de la relación hacia las caolinitas fuertemente meteorizadas.

Un proceso muy importante de la formación de suelo es la dislocación de arcilla. Las condiciones para este proceso existen en los Cambisoles crómicos de las unidades cartográficas CMx1 y CMx2 hoy en día. Estos suelos poseen dos requisitos sustanciales para una lixiviación: Los valores de pH se encuentran entre 5.0 y 7.0, y los suelos tienen contenidos de arcilla medios.

3.2.4 Aspectos de la fertilidad de suelo

Respecto a las características determinantes de fertilidad según Finck (1986), se puede clasificar los suelos en dos grupos.

Los suelos de las unidades cartográficas ACh1, ACh2 y CMd1 forman el primer grupo. Estos suelos tienen en común las siguientes características determinantes para la fertilidad:

- Profundidad del suelo mayor a 1 m, con excepción de la unidad cartográfica CMd1,
- Textura predominantemente franco arenosa,
- Cuota de las caolinitas fuertemente meteorizadas de 50 % aproximadamente en los minerales de arcilla,
- Reacción de suelo, por lo menos en el subsuelo, fuertemente ácida con valores de pH entre 4.0 y 5.0,

- Cuota de materia orgánica en el horizonte Ah de los suelos franco arenosos menor a 2 %,
- Cuota de nitrógeno total en el suelo superior moderada,
- Capacidad de intercambio catiónico efectiva (con 7 mval/100 g suelo como máximo), baja hasta extremadamente baja,
- Lavado fuerte de cationes de nutrientes con una saturación de bases marcadamente menor al 50%,
- Cuota alta hasta muy alta de iones Al^{3+} en la capacidad de intercambio catiónico.

El aumento de la acidez total está directamente relacionado con los valores bajos de pH en los suelos. A partir de un pH de 4.8, se incrementan los iones Al^{3+} en solución. En cantidades grandes, los iones Al^{3+} son tóxicos en la solución de suelo para el crecimiento de las plantas (Bohn et al., 1979; Sanchez, 1976).

El segundo grupo está formado por los suelos de las unidades cartográficas CMx1, CMx2 y LXh1. Estos suelos presentan las siguientes características determinantes para la fertilidad:

- Profundidad del suelo mayor a 1 m,
- Textura franca y franco arcillosa predominante, o franco arenosa en material aluvial,
- Predominancia de illita en las minerales de arcilla, relación entre illita y caolinita 3:1 aproximadamente,
- Reacción de suelo moderadamente ácida a neutra con valores de pH entre 5.0 y 7.0,
- Cuota de materia orgánica en el horizonte Ah de los suelos con textura mediana a fina, mayor a 3 %,
- Cuota de nitrógeno total en el suelo superior, media a muy buena,
- Capacidad de intercambio catiónico efectiva en el subsuelo (con 11 mval/100 g suelo como máximo) baja, en el horizonte Ah media a alta, según el contenido de humus,
- Lavado bajo a moderado de cationes de nutrientes, saturación de bases marcadamente mayor al 50 % en la mayoría de los casos,
- Cuota moderada hasta muy baja de iones Al^{3+} en la capacidad de intercambio catiónico del subsuelo.

En el primer grupo hay predominantemente suelos franco arenosos, fuertemente ácidos, pobres en nutrientes con capacidad de intercambio catiónico baja y saturación de bases baja. Las características determinantes de fertilidad se califican como malas.

Los suelos del segundo grupo con textura más fina son moderadamente a muy poco ácidos. Por la mayor cantidad y mejor calidad de los minerales de arcilla, poseen una capacidad de adsorción más alta para materia orgánica y con eso para nitrógeno total, del cual más del 95 % está fijado orgánicamente en el suelo superior (Scheffer y Schachtschabel, 1984). Estos suelos tienen una capacidad de intercambio catiónico más alta, porque la materia orgánica posee una capacidad de intercambio catiónico notablemente más alta que los minerales de arcilla. El lavado de cationes nutritivos es de escaso a moderado. Las características determinantes de fertilidad se califican como relativamente buenas.

En el perfil de suelo 8 (apéndice I) se ve claramente la influencia positiva que tiene la quema sobre la fertilidad del suelo, aunque este mejoramiento sólo tiene un efecto a corto plazo (Nye y Greenland, 1960; Salas y Fölster, 1976). La quema del barbecho en el perfil 8 aporta brasas en la superficie del suelo. Eso lleva a un aumento del contenido en materia orgánica, en nitrógeno total y en la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo superior.

3.2.5 Discusión de los resultados edafológicos

El mapeo de suelos dio por resultado las unidades de suelo Cambisoles, Lixisoles y Acrisoles según la nomenclatura del Mapa Mundial de Suelos (FAO, 1988). Según la sistemática de la Soil Taxonomy del U.S. Soil Conservation Service (1975), los suelos mapeados pertenecen a las órdenes Inceptisoles, Alfisoles y Ultisoles.

La zona de investigación de este estudio es característica para las zonas de colinas formadas por sedimentos terciarios en la zona de colonización del Alto Beni. Aparte de las areniscas calcáreas se encuentran todos los tipos de roca madre existentes en la zona, es decir areniscas, lutitas y conglomerados terciarios y terrazas aluviales. Por eso, a continuación se realizará una comparación de los resultados de este estudio con los resultados de estudios anteriores.

En los estudios de CUMAT-COTESU (1985; 1987) fueron presentados como suelos representativos de las colinas del Alto Beni sólo Inceptisoles y Alfisoles. Estas dos órdenes de la Soil Taxonomy corresponden a las unidades de suelo Cambisoles y Lixisoles del Mapa Mundial de Suelos (tabla 3). Los Acrisoles (ultisoles en la Soil Taxonomy) no aparecen en los estudios de CUMAT, aunque son los suelos típicos sobre las areniscas libres de cal y profundamente meteorizadas (ver unidades cartográficas ACh1 y ACh2) y su área no es insignificante. Hay que nombrarlos como unidad de suelo importante en el Alto Beni porque sus características determinantes para la fertilidad difieren considerablemente de las de los Lixisoles y Cambisoles crómicos.

En la hoja IV-1 del Mapa Mundial de Suelos (Norte de América del Sur) queda anotado para las colinas y serranías en el área Alto Beni una unidad cartográfica con Litosoles, Cambisoles dísticos y Regosoles dísticos (FAO-UNESCO, 1970). Según la primera leyenda del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1974), Litosoles son suelos brutos con una profundidad menor a 10 cm y Regosoles suelos poco profundos con un perfil Ah-Cw. En toda la zona de colonización Alto Beni no existen estas unidades de suelo en cantidades que podrían justificar su presentación como unidad de suelo característica. El mapeo en la zona de investigación dio por resultado valores de profundidad, que incluso en laderas accidentadas en el norte de la zona llegaron a 1 m o más. Según los resultados del mapeo realizado, los Cambisoles crómicos serían la unidad de suelo dominante en la región Alto Beni, los Lixisoles y Acrisoles los suelos asociados. Estos resultados no se pueden generalizar para toda la región Alto Beni sin otros estudios. De todas maneras, los Litosoles y Regosoles no son importantes en las agrupaciones de suelos de la región.

Resumen

Estudio de suelos en la zona de colonización Alto Beni, La Paz, Bolivia

Se realizó un mapeo y análisis físico-químico y mineralógico de suelos en el Alto Beni, cuyo resultado sirvió como base para elaborar un mapa de suelos detallado del área de estudio, que abarca una superficie de 660 ha. En total, se analizaron 12 perfiles de suelo en el laboratorio de los cuales 5 aparecen en anexo del presente trabajo. La clasificación de los suelos dio por resultado Cambisoles, Lixisoles y Acrisoles, suelos fersialíticos menos intensamente meteorizados.

La formación de suelo ocurrió sobre areniscas, lutitas y conglomerados terciarios y sobre terrazas aluviales. Los suelos mapeados son característicos para las zonas de colinas formadas

por sedimentos terciarios en la zona de colonización Alto Beni. Con excepción de las areniscas calcáreas se encuentran todos los tipos de roca madre existentes en esta región.

Respecto a la fertilidad se clasificaron los suelos en dos grupos. Al primer grupo pertenecen los Acrisoles háplicos y los Cambisoles dístricos, que tienen características de fertilidad malas. Son suelos franco arenosos, fuertemente ácidos, pobres en nutrientes, con capacidad de intercambio, catiónico baja y saturación de bases baja. El segundo grupo está formado por los Cambisoles crómicos y los Lixisoles háplicos, que poseen características de fertilidad relativamente buenas. Se trata de suelos con textura más fina (franca, franco arcillosa), moderadamente a muy poco ácidos, con capacidad de intercambio catiónico baja a moderada y saturación de bases moderada a alta.

Zusammenfassung

Bodenkundliche Studie im Kolonisationsgebiet Alto Beni, La Paz, Bolivien

Es wurde eine detaillierte Bodenkartierung und physikalisch-chemische und tonmineralogische Analysen von Böden im Alto Beni durchgeführt, deren Ergebnis als Basis für eine detaillierte Bodenkarte des Untersuchungsgebietes diente, welches eine Fläche von 660 ha umfaßt. Insgesamt wurden 12 Bodenprofile im Labor untersucht von denen 5 im Anhang dieser Studie aufgeführt sind. Die Bodenklassifikation ergab Cambisols, Lixisols und Acrisols, fersiallitische weniger intensiv entwickelte Böden der Tropen.

Die Bodenbildung vollzog sich auf tertiären Sandsteinen, Tonsteinen und Konglomeraten sowie auf alluvialen Terrassen. Die kartierten Böden sind charakteristisch für die aus tertiären Sedimenten aufgebauten Hügelzonen des Kolonisationsgebietes Alto Beni. Mit Ausnahme der kalkhaltigen Sandsteine kommen alle Ausgangsgesteine der Bodenbildung dieser Zone vor.

Hinsichtlich der Fruchtbarkeit wurden die Böden in zwei Gruppen eingeteilt. Zu der ersten Gruppe gehören die Haplic Acrisols und die Dystric Cambisols, die schlechte Fruchtbarkeitseigenschaften aufweisen. Es sind stark saure, nährstoffarme, sandige Lehmböden mit niedriger Kationenaustauschkapazität und niedriger Basensättigung. Die zweite Gruppe bilden die Chromic Cambisols und die Haplic Lixisols, die relativ gute Fruchtbarkeitseigenschaften besitzen. Es handelt sich um feiner texturierte Böden (Lehme, tonige Lehme) mit mäßiger bis sehr schwach saurer Bodenreaktion, niedriger bis mittlerer Kationenaustauschkapazität und mittlerer bis hoher Basensättigung.

Abstract

Soil study in the Alto Beni Colonization Zone, La Paz, Bolivia

The study included a detailed mapping and the physico-chemical and mineralogical analysis of soils in the Alto Beni region, the result served as a basis for a detailed soil map of the investigation area, which covers a surface of 660 ha. In all, 12 soil profiles were analyzed in the laboratory (5 of them are listed in the appendix of the study). The soil classification gave as result the soil units Cambisols, Lixisols and Acrisols, fersialitic, less intensive developed soils of the tropics.

The soil formation took place on tertiary sandstones, claystones and conglomerates and on alluvial terraces. The mapped soils are characteristic for the hilly areas built up from tertiary sediments in the Alto Beni colonization zone. With the exception of limy sandstones we find all the original rocks existing in this zone.

With regard to fertility the soils have been classified into two groups. The first group is formed by Haplic Acrisols and Dystric Cambisols, soils with bad properties of fertility. These are sandy loam soils, strongly acid, poor in nutrients, with a low cation exchange capacity and a low base saturation. To the second group belong the Chromic Cambisols and the Haplic Lixisols, having relatively good properties of fertility. It is a matter of soils with a finer texture (loam, clayey loam), moderate to very weakly acid, with a low to moderate cation exchange capacity and a moderate to high base saturation.

Referencias

AG BODENKUNDE, 1982.

Bodenkundliche Kartieranleitung.- Hannover, 3a. Edición, 331 p.

Ahlfeld, F., 1960.

Mapa geológico de Bolivia (parte andina).Escala 1:1.500.000

Ahlfeld, F. y L. Branisa, 1960.

Geología de Bolivia.- La Paz, Instituto Boliviano de Petróleo, 245 p.

Arce, L., 1960.

Informe de reconocimiento detallado de los suelos existentes en las márgenes de los ríos Cotacajes y Alto Beni, denominado Proyecto "Alto Beni".- La Paz (Segunda edición 1965), 89 p.

Baptista, P., 1964.

Condiciones ecológicas del área de colonización del Alto Beni.- Tesis de Licenciatura en Agronomía, Cochabamba: UMSS, 62 p.

Barragan, M.C., 1990.

Estudio sedimentológico de la cuenca andina del Río Beni. Amazonía Andina, Bolivia.- PHICAB: IHH-UMSA, ORSTOM. Tesis UMSA, La Paz, 267 p.

Beck, S.G., 1986.

Flora y vegetación natural y alterada en la cuenca amazónica boliviana.- En: Memoria del simposio ecológico Impacto del desarrollo en la ecología del trópico boliviano. Santa Cruz, 8-17.

Bohn, H.L., B.L. McNeal y G.A. O'Connor, 1979.

Soil chemistry.- New York, John Wiley & Sons, 329 p.

Campbell, K.E., C.D. Frailey y J. Arellano, 1985.

The geology of the Río Beni: Further evidence for holocene flooding in Amazonia.- Contributions in Science 364, Natural History Museum of Los Angeles County, 1-18

Campos, J.B., 1990.

Estudio climatológico de la cuenca andina del Río Beni. Amazonía Andina, Bolivia.- PHICAB: IHH-UMSA, ORSTOM. Tesis UMSA, La Paz, 204 p.

Clapperton, C.M., 1983.

The glaciation of the Andes.- Quaternary Science Reviews 2, 83-155

CUMAT, 1985.

Manual de levantamientos semidetallados de clasificación y metodología de la capacidad de uso mayor de la tierra.- La Paz, 97 p.

CUMAT, 1987.

Plan de desarrollo del Alto Beni.- La Paz (mimeo.), 40 p.

CUMAT-COTESU, 1985.

Capacidad de Uso Mayor de la Tierra. Proyecto Alto Beni.- La Paz, 146 p.

CUMAT-COTESU, 1987.

Capacidad de Uso Mayor de la Tierra. Proyecto Alto Beni, Volumen II: Areas 1, 3 y 5.- La Paz, 223 p.

Elbers, J., 1991.

Böden und Landnutzungsklassifikation am östlichen Andenrand im Kolonisationsgebiet Alto Beni - Bolivien. Eine luftbildunterstützte Analyse.- Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 121 p.

Ellenberg, H., 1979.

Man's influence on tropical mountain ecosystems in South America.- Journal of Ecology 67, 401-416

FAO, 1964.

Adequacy of soil studies in Paraguay, Bolivia and Peru. Report of FAO Mission November-December 1963.- FAO World Soil Resources Reports No. 9. Rome, 74 p.

FAO, 1977.

Guía para la descripción de perfiles de suelo.- Roma, Segunda edición, 70 p.

FAO, 1988.

FAO-UNESCO Soil map of the world, Revised legend.- FAO World Soil Resources Report No. 60. Rome, 119 p.

FAO-UNESCO, 1970.

Soil map of the world 1:5.000.000 South America, Sheet IV-1

FAO-UNESCO, 1971.

Soil map of the world 1:5.000.000. Volume IV South America.- Paris, Unesco, 193 p.

FAO-UNESCO, 1974.

Soil map of the world 1:5.000.000. Volume I Legend.- Paris, Unesco, 59 p.

- Finck, A., 1986.
Düngung und Bodenfruchtbarkeit in den Tropen und Subtropen. En: Rehm, S. (Eds.): Grundlagen des Pflanzenbaues in den Tropen und Subtropen. Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern, Band 3, Stuttgart, Eugen Ulmer, 2a. Edición, 249-284.
- Fölster, H. y H.W. Fassbender, H.W., 1984.
Ökopedologische Grundlagen der Bodennutzung in den Tropen und Subtropen.- Göttingen, Vorlesungsmanuskript, 199 p.
- Hanagarth, W. y J. Sarmiento, 1990.
Reporte preliminar sobre la geoecología de la sabana de Espíritu y sus alrededores (Llanos de Moxos, departamento del Beni, Bolivia).- *Ecología en Bolivia* 16, 47-75
- Herzog, T., 1923.
Die Pflanzenwelt der bolivischen Anden und ihres östlichen Vorlandes.- *Vegetation der Erde* 15, Leipzig, 259 p.
- Holdridge, L.R., 1978.
Ecología basada en zonas de vida.- San José, Costa Rica, IICA (Tercera reimpresión 1987, traducción del inglés), 216 p.
- Hueck, K., 1966.
Die Wälder Südamerikas. Ökologie, Zusammensetzung und wirtschaftliche Bedeutung.- Stuttgart, Gustav Fischer, 422 p.
- Lara, R., 1988.
Manual de dendrología boliviana.- La Paz, CUMAT/COTESU, 281 p.
- Monheim, F., 1965.
Junge Indianerkolonisation in den Tiefländern Ostboliviens.- Braunschweig, Westermann, 135 p.
- Montes de Oca, I., 1989.
Geografía y recursos naturales de Bolivia.- La Paz, Academia Nacional de Ciencias, Segunda edición, 574 p.
- Muñoz-Reyes, J., 1980.
Geografía de Bolivia.- La Paz, Segunda edición, 478 p.
- Nye, P.H. y D.J. Greenland, 1960.
The soil under shifting cultivation.- Commonwealth Bureau of Soils, Technical Communication No. 51, Harpenden, 156 p.
- Pagel, H., J. Enzmann, J. y H. Mutscher, 1982.
Pflanzennährstoffe in tropischen Böden - ihre Bestimmung und Bewertung.- Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 272 p.
- Prance, G.T., 1989.
American tropical forests.- En: Lieth, H. y Werger, M.J.A. (Eds.): Tropical rain forest ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 99-132.

PROMENAT, 1990.

Informe anual de la estación meteorológica "Sapecho" (Gestión 1989).- Programa de Medicina Natural, La Paz (mimeo.), 9 p.

PROMENAT, 1991.

Informe anual de la estación meteorológica "Sapecho" (Gestión 1990).- Programa de Medicina Natural, La Paz (mimeo.), 9 p.

Richards, P.W., 1952.

The tropical rain forest. An ecological study.- London, Cambridge University Press (3ra. impresión 1966), 450 p.

Richter, M. y W. Lauer, 1987.

Pflanzenmorphologische Merkmale der hygrischen Klimavielfalt in der Ost-Kordillere Boliviens.- Aachener Geographische Arbeiten, Heft 19, Aachen, 71-108.

Salas, G. de las y H. Fölster, H., 1976.

Bioelement loss on clearing a tropical rain forest.- Turrialba 26,179-186.

Sanchez, P.A., 1976.

Properties and management of soils in the tropics.- New York, John Wiley & Sons, 618 p.

Scheffer, P. y P. Schachtschabel, 1984.

Lehrbuch der Bodenkunde.- Stuttgart, Enke, 11a. Edición, 442 p.

Schlichting, E. y H.P. Blume, 1966.

Bodenkundliches Praktikum.- Hamburg-Berlin, Parey

Soil Survey Staff, 1987.

Keys to Soil Taxonomy.- Soil Management Support Services Technical Monograph no. 6. Ithaca, New York, 3ra. impresión, 280 p.

Unzueta, O., 1975.

Mapa ecológico de Bolivia. Memoria explicativa.- La Paz, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, División de Suelos, Riegos y Ingeniería, 312 p.

U.S. Soil Conservation Service, 1951.

Soil Survey Manual.- USDA Agriculture Handbook No. 18. Washington D.C., 503 p.

U.S. Soil Conservation Service, 1975.

Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.- USDA Agriculture Handbook No. 436. Washington D.C., 754 p.

Walter, H. y S.W. Breckle, 1983.

Ökologie der Erde. Band 1: Ökologische Grundlagen in globaler Sicht.- Stuttgart, Gustav Fischer, 238 p.

Walter, H. y S.W. Breckle, 1984.

Ökologie der Erde. Band 2: Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen.- Stuttgart, Gustav Fischer, 461 p.

Wright, A.C.S., 1964.

Report on the soils of Bolivia.- FAO World Soil Resources Reports No. 10. Rome, 67 p.

Zeil, W., 1986.

Südamerika.- Geologie der Erde, Band 1, Stuttgart, Enke, 160 p.

Dirección del autor

Instituto de Ecología
Casilla No. 10077
La Paz, Bolivia

APENDICE I

Perfiles de suelos de las colonias San Pedro, Tarapacá y 16 de Julio.

Explicaciones de los perfiles de suelo:

Descripción del perfil (párrafos I - III) según FAO (1977), si no está mencionado de otra manera.

I. Información acerca del sitio de la muestra:

b. Clasificación a nivel de generalización amplia:

FAO : según FAO (1988)

USDA : según U.S. Soil Conservation Service (1975) y Soil Survey Staff (1987)

III. Descripción del perfil:

Símbolos de los horizontes según FAO (1988).

Color del suelo según Standard Soil Color Charts.

Contenido en materia orgánica (MO), estructura, densidad efectiva y enraizamiento según AG Bodenkunde (1982).

pH medido en H₂O.

IV. Análisis de laboratorio

Prof. = Profundidad

SSCC = Standard Soil Color Charts

Vol. poros = Volumen de los poros

Estabilidad de agregados según Sekera (en Schlichting y Blume, 1966)

Símb. Hor. = Símbolo del Horizonte

Ag = Arena gruesa

Am = Arena mediana

Af = Arena fina

Lg = Limo grueso

Lm = Limo mediano

Lf = Limo fino

Y = Arcilla

FAO = Clasificación según FAO (1977)

AGB = Clasificación según AG Bodenkunde (1982)

MO = Materia orgánica

CICef = Capacidad de Intercambio catiónico efectiva

Valor S = Suma de los cationes básicos intercambiables

SB = Saturación de bases

Perfil No. 1

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 1
- b. Clasificación a nivel de generalización amplia:
FAO: Cambisol déstrico (CMd)
USDA: Oxic Dystropept
- c. Fecha de la observación: 3 de noviembre de 1990
- d. Autor: Jorge Elbers
- e. Ubicación: Área permanente del Instituto de Ecología, La Paz, dentro de la concesión de la Cooperativa Sapecho, unos 3.5 km al norte de Sapecho, Provincia Sud Yungas, Departamento La Paz, Bolivia. Aproximadamente 15°32' S., 67°21' O.
- f. Altitud: 620 metros s.n.m.
- g. Forma del terreno:
- i) posición fisiográfica: parte media de una loma pequeña, inclinada hacia el arroyo de Sapecho.
- ii) forma del terreno circundante: colinado a fuertemente socavado
- iii) microtopografía: levemente ondulada
- h. Pendiente donde el perfil está situado: escarpada (15°)
- i. Exposición: oeste
- j. Vegetación y uso de la tierra: Monte alto siempreverde
- k. Clima: Precipitación anual 1.600 mm, predominantemente en la época de lluvia de noviembre a marzo/abril. Las temperaturas medias mensuales llegan en verano a 26°C y en invierno a 22°C.

II. Información general acerca del suelo

- a. Material originario: Aparentemente derivado "en situ" de lutitas terciarias.
- b. Drenaje: Imperfectamente drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Muy húmedo a causa de precipitaciones fuertes en el periodo de observación.
- d. Profundidad de la capa freática: ninguna influencia de la capa freática durante todo el año.
- e. Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: Ninguna.
- f. Evidencia de erosión: No visible.
- g. Presencia de sales o álcalis: Ninguna.
- h. Influencia humana: Ninguna.

III. Descripción del perfil

O 2-0 cm Hojarasca y materia orgánica fina.

Ah 0-6 cm Pardo rojizo en húmedo y amarillo rojizo mate en seco, franco limoso; contenido en MO: medio; agregados redondeados; densidad efectiva: muy suelta; sin carbonatos; enraizamiento: extremadamente fuerte, capa de enraizamiento intensivo hasta 25 cm de profundidad; límite casi recto; pH 5.4

Bw6-60 cm Pardo rojizo claro en húmedo y amarillo rojizo en seco, franco arcilloso; contenido en MO: muy poco; poliedros; densidad efectiva: mediana; sin carbonatos; enraizamiento: fuerte; límite ondulado; pH 5.2

Cw60-75 cm Rojo en húmedo y pardo rojizo en seco, franco; densidad efectiva: densa; sin carbonatos; enraizamiento: poco; pH 5.2

Perfil No. 1: Cambisol dístico (CMd)

IV. Análisis de laboratorio

Horizonte		Color según SSCC		Densidad (g/cm ³)	Vol. Poros (Vol. %)	Estabilidad de agregados
Símbolo	Prof. (cm)	Seco	Húmedo			
Ah	0 - 6	5YR 6/4	5YR 4/6	1.07	59	grande
Bw	-60	5YR 6/6	5YR 5/8	1.54	42	grande
Cw	-75	2.5YR 4/6	10R 4/8	1.75	34	grande

Símb. Hor.	Granulometría (% de peso de Suelo fino)								Y	L/Y	FAO	AGB
	Ag	Am	Af	A total	Lg	Lm	Lf	L total				
Ah	0.4	0.3	25.3	26.1	28	15.2	10.4	53.6	20.3	2.6	FL	Lu
Bw	0.3	0.7	24.1	25.1	21.1	11.2	9.8	42.1	32.8	1.3	FY	Lt2
Cw	0.1	0.6	44.2	44.9	20.3	7	6.2	33.5	21.6	1.6	F	Ls3

Símb. Hor.	pH H ₂ O	KCl	C (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	N (%)	Minerales de arcilla (%)		
							C/N	Ilita	Caolinita
Ah	5.4	4.1	2.54	4.38	0	0.19	13	77	23
Bw	5.2	3.4	0.44	0.76	0	0.02	22	72	28
Cw	5.2	3.7	0.26	0.45	0	0.01	26	73	27

Símb. Hor.	CICef (mval/100g suelo)	Valor S (mval/100g suelo)	SB (%)	Cationes intercambiables (mval/100g suelo)						CICef (mval/ 100g Y)
				Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Ah	10.24	9.68	94.5	0	0.56	0.09	0.33	3.51	5.75	21.07
Bw	6.91	3.44	49.8	2.67	0.8	0.11	0.4	1.88	1.05	
Cw	9.02	4.01	44.5	4.62	0.39	0.41	0.6	2.24	0.76	

Perfil No. 4

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 4
- b. Clasificación a nivel de generalización amplia:
FAO: Acrisol háplico (ACh)
USDA: Orthoxic Tropudult
- c. Fecha de la observación: 8 de noviembre de 1990
- d. Autor: Jorge Elbers
- e. Ubicación: En el lote de Martín Ticona, el No. 91 de la colonia San Pedro, 100 m al sudoeste de la casa, unos 2.5 km al noroeste de Sapecho, Provincia Sud Yungas, Departamento La Paz, Bolivia. Aproximadamente 15°32' S., 67°21' O.
- f. Altitud: 570 metros s.n.m.
- g. Forma del terreno:
 - i) posición fisiográfica: pendiente media recta.
 - ii) forma del terreno circundante: ondulado a fuertemente ondulado, 50 m al oeste traspaso a la pendiente superior fuertemente socavada.
 - iii) microtopografía: levemente ondulada.
- h. Pendiente donde el perfil está situado: inclinado (5°)
- i. Exposición: este
- j. Vegetación y uso de la tierra: Cacaotal (*Theobroma cacao*) de 19 años de edad con cítricos (*Citrus spp.*) y mangos (*Manifera indica*).
- k. Clima: Precipitación anual 1.600 mm, predominantemente en la época de lluvia de noviembre a marzo/abril. Las temperaturas medias mensuales llegan en verano a 26°C y en invierno a 22°C.

II. Información general acerca del suelo

- a. Material originario: Aparentemente derivado "en situ" de areniscas terciarias.
- b. Drenaje: Bien drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo a causa de precipitaciones fuertes en el período de observación.
- d. Profundidad de la capa freática: ninguna influencia de la capa freática durante todo el año.
- e. Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: muy pocas piedras en el perfil (< 2 %).
- f. Evidencia de erosión: No visible.
- g. Presencia de sales o álcalis: Ninguna.
- h. Influencia humana: Ninguna.

III. Descripción del perfil

O 2-0 cm Hojarasca y materia orgánica fina.

Ah 0-12 cm Pardo en húmedo y amarillo rojizo mate en seco, franco arenoso; contenido en MO: poco; agregados redondeados; densidad efectiva: mediana; sin carbonatos; enraizamiento: muy fuerte, capa de enraizamiento intensivo hasta 20 cm de profundidad; límite casi recto; pH 5.9

E 12-55 cm Amarillo rojizo en húmedo y amarillo rojizo pálido en seco, franco arenoso; contenido en MO: muy poco; granos singulares; densidad efectiva: denso; porción de esqueleto < 2 %; sin carbonatos; enraizamiento: mediano; límite ondulado; pH 6.1

Bt 55-130 cm+Pardo claro en húmedo y amarillo rojizo mate en seco, franco arenoso; subpoliedros; densidad efectiva: densa; porción de esqueleto < 2 %; sin carbonatos; enraizamiento: poco; pH 5.3

Perfil No. 4: Acrisol háplico (ACh)

IV. Análisis de laboratorio

Horizonte Símbolo	Color según SSCC			Densidad (g/cm ³)	Vol. Poros (Vol. %)	Estabilidad de agregados
	Prof. (cm)	Seco	Húmedo			
Ah	0 - 12	7.5YR 6/4	7.5YR 4/3	1.49	44	moderada
E	-55	5YR 8/3	7.5YR 4/3	1.75	34	baja
Bt	- 130+	5YR 6/4	7.5YR 5/8	1.78	33	moderada

Símb. Hor.	Granulometría (% de peso de Suelo fino)				Lg	Lm	Lf	L total	Y	L/Y	FAO	AGB
	Ag	Am	Af	A total								
Ah	1.7	13	46.2	60.9	23.1	8.7	4.4	36.2	2.9	12.5	FA	Su3
E	2.1	11.9	45.6	58.9	22.2	8	5.1	35.3	5.8	6.1	FA	Su3
Bt	1.6	10.1	42.1	53.8	21.4	8.9	5.6	34.9	11.3	3.1	FA	Sl3

Símb. Hor.	pH H ₂ O	KCl	C (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	N (%)	Minerales de arcilla (%)		
							C/N	Ilita	Caolinita
Ah	5.9	5.2	1	1.72	0	0.06	17	50	50
E	6.1	4.5	0.11	0.19	0	0.01	11	33	67
Bt	5.3	3.8	0.12	0.21	0	0.01	12	50	50

Símb. Hor.	CICef Valor S (mval/100g suelo)		SB (%)	Cationes intercambiables (mval/100g suelo)						CICef (mval/ 100g Y)
				Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Ah	3.44	2.94	85.5	0	0.5	0.04	0.08	0.18	2.64	21.42
E	1.49	0.99	66.4	0	0.5	0.09	0.07	0.2	0.63	
Bt	2.42	0.97	40.1	1.07	0.38	0.12	0.15	0.32	0.38	

Perfil No. 6

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 6
- b. Clasificación a nivel de generalización amplia:
FAO: Cambisol crómico (CMx)
USDA: Typic Eutropept
- c. Fecha de la observación: 12 de noviembre de 1990
- d. Autor: Jorge Elbers
- e. Ubicación: Terraza aluvial en la orilla izquierda del arroyo de Sapecho, en el lote de Placido Vaquiata, el No. 58 de la colonia San Pedro, unos 1.5 km al noroeste de Sapecho, Provincia Sud Yungas, Departamento La Paz, Bolivia. Aproximadamente 15°32' S., 67°21' O.
- f. Altitud: 465 metros s.n.m.
- g. Forma del terreno:
 - i) posición fisiográfica: terraza aluvial.
 - ii) forma del terreno circundante: terraza plana a casi plana con borde marcado hacia el arroyo de Sapecho.
 - iii) microtopografía: plana.
- h. Pendiente donde el perfil está situado: llano (0°)
- i. Exposición: -
- j. Vegetación y uso de la tierra: Cacaotal (*Theobroma cacao*) de 6 años de edad con motacú (*Scheelea princeps*).
- k. Clima: Precipitación anual 1.600 mm, predominantemente en la época de lluvia de noviembre a marzo/abril. Las temperaturas medias mensuales llegan en verano a 26°C y en invierno a 22°C.

II. Información general acerca del suelo

- a. Material originario: Aparentemente derivado de material aluvial del arroyo de Sapecho.
- b. Drenaje: Bien drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo a causa de precipitaciones fuertes en el período de observación.
- d. Profundidad de la capa freática: ninguna influencia ninguna de la capa freática durante el período de observación.
- e. Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: Tanto en la superficie como en el perfil se encuentran bloques de areniscas redondos con tamaños que llegan a más de 1 m de diámetro.
- f. Evidencia de erosión: No visible.
- g. Presencia de sales o álcalis: Ninguna.
- h. Influencia humana: Ninguna.

III. Descripción del perfil

Ah 0-12 cm Pardo rojizo mate en húmedo y pardo claro en seco, franco arenoso; contenido en MO: poco; agregados redondeados; densidad efectiva: mediana; porción esqueleta < 2%; sin carbonatos; enraizamiento: muy fuerte, capa de enraizamiento intensivo hasta 30 cm de profundidad; límite casi recto; pH 5.5

Bw 12-140 cm+ Pardo rojizo en húmedo y pardo claro en seco, franco arenoso; contenido en MO: muy poco; granos singulares; densidad efectiva: denso; bloque de arenisca redondo en la pared trasera de la calicata, de 25 cm hasta más de 140 cm de profundidad; sin carbonatos; enraizamiento: poco a mediano; pH 5.5

Horizonte		Color según SSCC		Densidad (g/cm)	Vol. Poros (Vol. %)	Estabilidad de agregados
Símbolo	Prof. (cm)	Seco	Húmedo			
Ah	0 - 12	2.5YR 5/6	2.5YR 4/4	1.51	43	moderada
Bw	- 140+	2.5YR 5/8	2.5YR 4/6	1.75	34	mediana

Perfil No. 6: Cambisol crómico (CMx)

IV. Análisis de laboratorio

Símb. Hor.	Granulometría (% de peso de Suelo fino)				Lg	Lm	Lf	L total	Y	L/Y	FAO	AGB
	Ag	Am	Af	A total								
Ah	0.8	9.1	42.8	52.7	23.5	7.9	6.8	38.2	9.1	4.2	FA	SI3
Bw	1	10.9	46	57.9	17.4	7.3	4.6	29.3	12.8	2.3	FA	SI4

Símb. Hor.	pH HO	KCl	C (%)	MO (%)	CaCO (%)	N (%)	Minerales de arcilla (%)		
							C/N	Ilita	Caolinita
Ah	5.5	4	1.08	1.86	0	0.15	7	61	39
Bw	5.5	3.8	0.2	0.34	0	0.04	5	76	24

Símb. Hor.	CICef (mval/100g suelo)	Valor S (mval/100g suelo)	SB (%)	Cationes intercambiables (mval/100g suelo)						CICef (mval/ 100g Y)
				Al	H	Na	K	Mg	Ca	
Ah	5.04	4.6	91.3	0.09	0.35	0.11	0.15	0.82	3.52	
Bw	3.9	2.25	57.7	1.11	0.54	0	0.3	0.86	1.09	30.47

Perfil No. 7

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 7
- b. Clasificación a nivel de generalización amplia:
FAO: Lixisol háplico (LXh)
USDA: Oxic Tropudalf
- c. Fecha de la observación: 13 de noviembre de 1990
- d. Autor: Jorge Elbers
- e. Ubicación: Al borde del camino vecinal a 16 de Julio en el lote de Gerardo Rivas, el No. 100 de la colonia San Pedro, unos 1.5 km al noroeste de Sapecho, Provincia Sud Yungas, Departamento La Paz, Bolivia. Aproximadamente 15°32' S., 67°21' O.
- f. Altitud: 445 metros s.n.m.
- g. Forma del terreno:
 - i) posición fisiográfica: loma pequeña inclinada hacia el arroyo de Sapecho en SO.
 - ii) forma del terreno circundante: fuertemente ondulado a colinado.
 - iii) microtopografía: ondulada.
- h. Pendiente donde el perfil está situado: inclinado (7°)
- i. Exposición: suroeste
- j. Vegetación y uso de la tierra: Cacaotal (*Theobroma cacao*) abandonado de 25 años de edad, con motacú (*Scheelea princeps*), ambaibo (*Cecropia spp.*) y pacay (*Inga spp.*).
- k. Clima: Precipitación anual 1.600 mm, predominantemente en la época de lluvia de noviembre a marzo/abril. Las temperaturas medias mensuales llegan en verano a 26°C y en invierno a 22°C.

II. Información general acerca del suelo

- a. Material originario: Aparentemente derivado "en situ" de conglomerados terciarios.
- b. Drenaje: Moderadamente bien drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo a causa de precipitaciones fuertes en el período de observación.
- d. Profundidad de la capa freática: ninguna influencia de la capa freática durante todo el año.
- e. Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: Ninguna.
- f. Evidencia de erosión: Escasa erosión hídrica laminar en el borde del camino causada por precipitaciones fuertes.
- g. Presencia de sales o álcalis: Ninguna.
- h. Influencia humana: Ninguna.

III. Descripción del perfil

O 2-0 cm Hojarasca y materia orgánica fina.

Ah 0-10 cm Pardo en húmedo y amarillo rojizo mate en seco, franco arenoso; contenido en MO: medio; agregados redondeados; densidad efectiva: suelta; sin carbonatos; enraizamiento: muy fuerte, capa de enraizamiento intensivo hasta 120 cm de profundidad; límite casi recto; pH 6.8

E 10-45 cm Pardo claro en húmedo y amarillo rojizo mate en seco, franco; contenido en MO: muy poco; coherente; densidad efectiva: mediana; sin carbonatos; enraizamiento: fuerte; límite ondulado; pH 5.8

Bt 45-100 cm Pardo claro en húmedo y amarillo rojizo en seco, franco arcilloso; poliedros; densidad efectiva: mediana; sin carbonatos; enraizamiento: mediano; límite ondulado; pH 5.6

Cw 100-200 cm+ Pardo claro en húmedo y amarillo rojizo en seco, franco arcilloso; poliedros; densidad efectiva: densa; porción de esqueleto 50 %; sin carbonatos; enraizamiento: poco; pH 5.5

Perfil No. 7: Lixisol háplico (LXh)

IV. Análisis de laboratorio

Horizonte Símbolo	Color según SSCC			Densidad (g/cm ³)	Vol. Poros (Vol. %)	Estabilidad de agregados
	Prof. (cm)	Seco	Húmedo			
Ah	0 - 10	7.5YR 6/4	7.5YR 4/4	1.3	50	moderada
E	-45	7.5YR 7/4	7.5YR 5/6	1.61	39	moderada
Bt	-100	7.5YR 6/8	7.5YR 5/8	1.7	36	grande
Cw	- 200+	7.5YR 6/8	7.5YR 5/8			mediana

Símb. Hor.	Granulometría (% de peso de Suelo fino)				Lg	Lm	Lf	L total	Y	L/Y	FAO	AGB
	Ag	Am	Af	A total								
Ah	2.2	9.9	35.2	47.3	30	9.9	7.5	47.4	5.3	8.9	FA	Su4
E	1.9	8.7	35.3	45.9	25.9	11.3	8.1	45.3	8.8	5.1	F	Slu
Bt	1.4	5.2	22.6	29.2	19.3	10.2	7.3	36.8	34	1.1	YF	Lt2
Cw	3.6	7.1	26.1	36.8	21	9.2	5.9	36.1	27.1	1.3	FY	Lt2

Símb. Hor.	pH H ₂ O	KCl	C (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	N (%)	Minerales de arcilla (%)		
							C/N	Ilita	Caolinita
Ah	6.8	6.1	1.77	3.05	0	0.15	12	56	44
E	5.8	4.1	0.51	0.88	0	0.07	7	54	46
Bt	5.6	3.5	0.4	0.69	0	0.09	4	80	20
Cw	5.5	3.7	0.29	0.5	0	0.19	2	52	48

Símb. Hor.	ClCef Valor S (mval/100g suelo)		SB (%)	Cationes intercambiables (mval/100g suelo)						ClCef (mval/ 100g Y)
				Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Ah	9.45	9.45	100	0	0	0	0.11	2.11	7.23	17.03
E	3.67	3.28	89.4	0.04	0.35	0	0.13	1.08	2.07	
Bt	5.79	5.04	87	0.62	0.13	0.1	0.25	1.81	2.88	
Cw	4.71	3.85	81.7	0.75	0.11	0.18	0.29	1.42	1.96	

Perfil No. 8

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 8
- b. Clasificación a nivel de generalización amplia:
FAO: Cambisol crómico (CMx)
USDA: Typic Eutropept
- c. Fecha de la observación: 13 de noviembre de 1990
- d. Autor: Jorge Elbers
- e. Ubicación: Al borde del camino vecinal a Sapecho en el lote de José Roque, el No. 102 de la colonia San Pedro, unos 1.5 km al norte de Sapecho, Provincia Sud Yungas, Departamento La Paz, Bolivia. Aproximadamente 15°32' S., 67°21' O.
- f. Altitud: 435 metros s.n.m.
- g. Forma del terreno:
 - i) posición fisiográfica: pendiente inferior recta.
 - ii) forma del terreno circundante: ondulado a fuertemente ondulado.
 - iii) microtopografía: ondulada.
- h. Pendiente donde el perfil está situado: suavemente inclinado (3°)
- i. Exposición: noreste
- j. Vegetación y uso de la tierra: Chaco quemado un mes antes de la observación con plantines de yuca (*Manihot esculenta*) plátano (*Musa spp.*), y maíz (*Zea mays*) sembrado.
- k. Clima: Precipitación anual 1.600 mm, predominantemente en la época de lluvia de noviembre a marzo/abril. Las temperaturas medio mensuales llegan en verano a 26°C y en invierno a 22°C.

II. Información general acerca del suelo

- a. Material originario: Aparentemente derivado "en situ" de lutitas terciarias.
- b. Drenaje: Imperfectamente drenado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo a causa de precipitaciones fuertes en el período de observación.
- d. Profundidad de la capa freática: ninguna influencia de la capa freática durante todo el año.
- e. Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: Ninguna.
- f. Evidencia de erosión: Fuerte erosión hídrica laminar en el borde del camino causada por precipitaciones fuertes.
- g. Presencia de sales o álcalis: Ninguna.
- h. Influencia humana: Ninguna.

III. Descripción del perfil

O 1-0 cm Ceniza.

Ah 0-8 cm Pardo rojizo oscuro en húmedo y pardo rojizo mate en seco, franco limoso; contenido en MO: muy fuerte; agregados redondeados; densidad efectiva: muy suelta; sin carbonatos; enraizamiento: mediano, capa de enraizamiento intensivo hasta 70 cm de profundidad; límite casi recto; pH 9.3

Bw1 8-55 cm Pardo rojizo en húmedo y amarillo rojizo en seco, franco limoso; contenido en MO: muy poco; poliedros; densidad efectiva: mediana; sin carbonatos; enraizamiento: poco; límite ondulado, zona de transición: indistinta; pH 6.5

Bw2 55-150 cm+ Pardo rojizo en húmedo y pardo claro en seco, franco limoso; poliedros; densidad efectiva: densa; sin carbonatos; enraizamiento: poco; pH 5.9

Perfil 8: Cambisol crómico (CMx)
IV. Análisis de laboratorio

Horizonte Símbolo	Color según SSCC			Densidad (g/cm ³)	Vol. Poros (Vol. %)	Estabilidad de agregados
	Prof. (cm)	Seco	Húmedo			
Ah	0 - 8	5YR 4/4	5YR 3/3	1.09	56	grande
Bw1	-55	5YR 6/6	5YR 4/8	1.66	37	grande
Bw2	- 150+	2.5YR 5/6	2.5YR 4/6	1.75	34	grande

Símb. Hor.	Granulometría (% de peso de Suelo fino)								Y	L/Y	FAO	AGB
	Ag	Am	Af	A total	Lg	Lm	Lf	L total				
Ah	0.4	1.2	12.3	13.9	38.9	20.6	12.6	72.1	14	5.2	FL	UI3
Bw1	0.1	0.7	12.8	13.6	28.5	18.2	14.9	61.6	25.1	2.5	FL	Lu
Bw2	0.2	0.4	8.1	8.7	29	24.9	15.7	69.9	21.7	3.2	FL	Lu

Símb. Hor.	pH H ₂ O	KCl	C (%)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	N (%)	Minerales de arcilla (%)		
							C/N	Ilita	Caolinita
Ah	7.1	6.9	5.43	9.36	0	0.39	14	63	37
Bw1	6.5	5	0.49	0.84	0	0.11	5	75	25
Bw2	5.9	3.8	0.23	0.4	0	0.05	5	79	21

Símb. Hor.	CICef Valor S (mval/100g suelo)		SB (%)	Cationes intercambiables (mval/100g suelo)						CICef (mval/ 100g Y)
				Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Ah	36.35	36.35	100	0	0	0	1	2.81	32.54	
Bw1	8.52	8.43	98.9	0.09	0	0.11	0.34	1.14	6.84	33.94
Bw2	11.49	10.62	92.4	0.49	0.38	0.16	0.57	3.03	6.86	52.95