

FACTORES FORMADORES Y DISTRIBUCIÓN DE SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIRRÍS, TALAMANCA, COSTA RICA¹

Miguel Chinchilla^{2/}, Alfredo Alvarado^{**}, Rafael Mata^{**}*

Palabras clave: Clasificación suelos, Ultisoles, Andisoles, Inceptisoles, Entisoles, Los Santos, Talamanca.
Keywords: Soil classification, Ultisols, Andisols, Inceptisols, Entisols, Los Santos, Talamanca.

Recibido: 03/06/10

Aceptado: 21/03/11

RESUMEN

Se estudió la génesis de los suelos en el nivel medio alto de la subcuena del río Pirrís, en la región conocida como Los Santos. El área estudiada fue cercana a 25000 ha, con elevaciones de 1078 a 3140 m, un rango de precipitación promedio anual de 1954 a 2233 mm y un tiempo geológico que varía desde el Holoceno hasta el Oligoceno. Se identificaron 4 grandes unidades: 1) los suelos recientes derivados de cenizas volcánicas (partes altas del relieve); 2) suelos desarrollados sobre superficies geológicas antiguas: terrazas antiguas, Cordillera de Talamanca, Fila Brunqueña (partes medias del relieve); 3) suelos desarrollados sobre y alrededor de los intrusivos de las partes medias altas y 4) los suelos derivados de materiales aluviales recientes de los fondos de valle (partes bajas del relieve). Los suelos desarrollados sobre la unidad de superficies antiguas del Plioceno al Oligoceno poseen horizonte argílico; los suelos formados sobre intrusivos del Pleistoceno al Mioceno superior, presentan un mayor contenido de cuarzo; los suelos desarrollados de aluviones del Holoceno no tienen horizonte argílico y los de cenizas pueden presentar horizonte cámbico e incluso argílicos enterrados. En el área se hallaron 6 consociaciones y 22

ABSTRACT

Soil-forming factors and soils distribution of the middle-upper Pirrís River watershed, Talamanca, Costa Rica. This study emphasizes on the soil-forming factors and soils distribution of the middle-upper Pirrís River watershed, Talamanca, Costa Rica, a region locally known as Los Santos. This area covers around 25 000 ha, at elevations from 1078 to 3140 m, and a range of yearly average rainfall from 1954 to 2233 mm. Geologically, rocks of the area represent a period span from Holocene to Oligocene. Four major soil units were identified: 1) recent soils developed from volcanic ash (high elevation sections); 2) soils developed from old geologic parent materials of the Talamanca Range and the Brunqueña Hills (middle elevation sections); 3) soils developed on and around intrusive volcanic buildings (medium to high elevation sections of the landscape); and 4) soils developed from recent alluvial materials deposited on valley floors (lower positions of the landscape). Soils developed on the older materials from the Pliocene to the Oligocene, present an argillic horizon as a final result of weathering and soil formation. Soils from Pleistocene to Upper Miocene intrusive materials, present a

1 Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mchinchillaa@ice.go.cr

* Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.
** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

asociaciones. Los principales órdenes de suelos en estas unidades corresponden a Ultisoles, Andisoles, Inceptisoles y Entisoles, distribuidos en 4 subórdenes, 6 grandes grupos, 12 subgrupos y 9 familias.

INTRODUCCIÓN

Los factores formadores de suelo son agentes, fuerzas, condiciones o combinación de estos, que actúan sobre un material original para transformarlo en suelo y de acuerdo con Buol et al. (1989) se reconocen: material parental, relieve, clima, organismos, tiempo. Por la interacción de sub factores del clima, por ejemplo viento, temperatura y lluvia, se determinan procesos que finalmente pueden definir propiedades para cada tipo de suelo a través de procesos conocidos como transformaciones, translocaciones, pérdidas y adiciones. Con la génesis de suelos se conoce el origen, distribución espacial en el terreno, taxonomía, morfología, propiedades fisicoquímicas, mineralógicas, grado de meteorización, litologías de donde se desarrollaron y cuál factor formador ha sido determinante en la evolución del suelo. Al sur del Valle Central de Costa Rica, en el nivel medio alto de la subcuenca del río Pirrís, con coordenadas 9°36' y 9°43' latitud norte y 83°51' y 84°06' longitud oeste (IGN 1962, IGN 1963, IGN 1989, IGN 1994) se halla el área de estudio en una extensión de 245 km², 10 km de ancho, 30 km de largo. Esta subcuenca drena sus aguas en el Océano Pacífico (Figura 1) y forma parte del plan de expansión eléctrica de Costa Rica. En ella se caracterizan los aspectos de pedogénesis, geología, topografía, clima, uso de la tierra y socioeconómicos como parte de un Plan de Manejo de Cuenca.

higher quartz content. Soils developed from recent alluvial deposits present a cambic horizon, but not an argillic horizon and the volcanic ash materials may present a cambic horizon or a buried argillic horizon. Six soil consociations and 22 soil associations were described in the area. Mayor soil orders in the region are Ultisols, Andisols, Inceptisols and Entisols, including 4 suborders, 6 great groups, 12 subgroups and 9 soil families.



Fig. 1. Ubicación de la Cuenca del río Pirrís.

Aunque en la subcuenca se han realizado investigaciones en taxonomía (Sancho y Núñez 1985, ICAFE -CIA 2000) y de fertilidad de suelos (Chaves et al. 2009), la génesis del suelo no se ha estudiado. Por tal motivo se realiza la presente investigación, con el objetivo general de cartografiar y clasificar los suelos ubicados aguas arriba del sitio de presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís y los objetivos específicos de 1) identificar los factores formadores de suelos, 2) clasificar taxonómicamente los suelos de acuerdo con el USDA y, 3) confeccionar un mapa fisiográfico de suelos a nivel de semidetalle.

FACTORES FORMADORES DE SUELOS

Factor clima

1. Precipitación: En la cuenca media alta del río Pirrís, la precipitación tiene valores

promedio que varían en el rango de 1954 a 2233 mm anuales, con un período seco de diciembre a marzo y otro lluvioso de mayo a octubre; los meses de transición son abril y noviembre (ICE 2007). La precipitación máxima se presenta en setiembre con una disminución de las lluvias en julio (Figura 2).

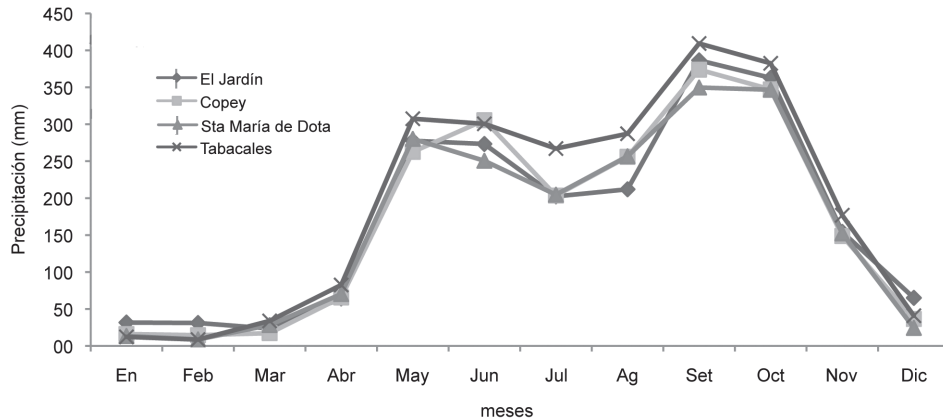


Fig. 2. Precipitación media mensual en 4 estaciones localizadas en el área de estudio. Datos del C.S. Estudios básicos, ICE.

Según el sistema de clasificación de Köppen, la zona tiene un clima templado lluvioso (Cw'a) con un invierno boreal seco, donde las lluvias del mes más lluvioso del verano boreal son por lo menos 10 veces mayores que las del mes más seco en el invierno boreal (ICE 2007).

2. Temperatura

Temperatura del aire: En el área de estudio se mide la temperatura del aire en 3 estaciones meteorológicas. La estación Copey de Dota se encuentra a 1880 m de elevación y desde 1991 muestra un promedio anual de temperatura de 16,86°C, un máximo de 18,60°C y el mínimo de 15,61°C. La estación Carrizales se localiza a 1740 m, en la parte media de la subcuenca y posee un incremento cercano a 1°C en la temperatura del aire respecto con Copey. La estación Sitio de

Presa del P. H. Pirrís, con 1130 m de elevación y un registro de enero de 1999 a junio 2004 y de enero 2006 a la fecha, presentó un aumento de la temperatura máxima, mínima y promedio anual de entre 2,11 y 3,27°C en relación con Copey. Los datos de temperatura promedio para los períodos de registro de las 3 estaciones se presentan en la Figura 3.

De acuerdo con Bolaños y Watson (1993) la temperatura media anual en la parte alta de la cuenca puede alcanzar 6°C. Solano y Villalobos (2001) consideran que toda la región alcanza una temperatura máxima mensual de 20°C y la mínima de 8°C. En el sistema de clasificación de Köppen, la temperatura media del mes más frío es inferior de 18°C, pero superior a los -3°C y en el mes más caluroso la temperatura sobrepasa los 22°C (ICE 2007).

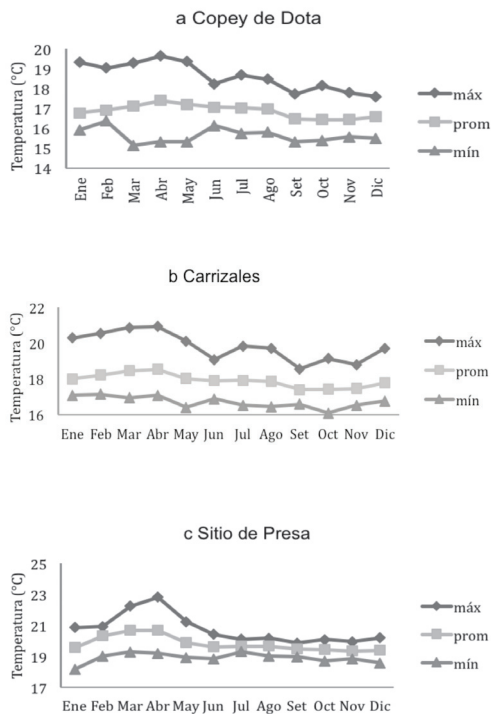


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura media mensual (a) Copey de Dota; (b) Carrizales; (c) Sitio de Presa. Fuente: Elaboración propia a partir de información del C.S. Estudios Básicos del ICE.

Temperatura del aire en el interior del bosque:

Al interior del bosque, la temperatura más alta del aire ocurre al medio día y varía de acuerdo con la altitud y época del año. A 2000 m alcanza 18,7°C en el período seco y 16,4°C en el lluvioso, mientras que a 2700 m, la temperatura del período seco es de 14,5°C y de 12,7°C en el lluvioso. Lo anterior indica que el promedio de temperatura disminuye en 4,0°C en 700 m (3,7°C para período lluvioso y 4,2°C para período seco) y representa un declive de 0,57°C por cada 100 m en este rango de elevación del terreno con bosque (Kappelle et al. 1995).

Temperatura del suelo: Van Uffelen (1993), encontró que la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad registra valores de alrededor de 9-10°C para elevaciones entre 2900 y 3100 m.

Kappelle et al. (1995) describen la relación entre la altitud (1500-3400 m) y la temperatura del suelo a 30 cm de profundidad (19,8-8,0°C) con una tendencia exponencial decreciente en función de la elevación del terreno (Figura 4).

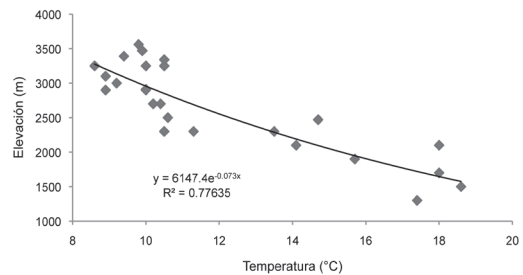


Fig. 4. Temperatura del suelo en relación con la altitud. Fuente: Datos de Van Uffelen (1991) y Kappelle et al. (1995).

3. Humedad relativa en el interior del bosque:

Entre los 2000 y 2700 m de altura, la humedad relativa en el bosque alcanza valores superiores a 85%. Entre el período lluvioso y el seco, la menor humedad relativa se presenta al medio día del período seco. Durante el período lluvioso son menores las fluctuaciones de humedad relativa (Kappelle et al. 1995).

4. Viento:

Las estaciones meteorológicas de la cuenca media y alta, no cuentan con registros históricos de velocidad y dirección del viento. Sin embargo, se conoce que en la troposfera y estratosfera, hay un predominio de vientos provenientes del Este durante casi todo el año (Alvarado y Fernández 2001). De acuerdo con ICE (2007) para esta área hay que considerar la influencia de flujos de viento importantes como son los "oestes sinópticos" y los "oestes ecuatoriales", consecuencia de la presencia de disturbios de origen ciclónico (huracanes, tormentas tropicales y ondas en los estes) en el mar Caribe. En la estación meteorológica Damas, ubicada en la parte baja de la cuenca, el viento tiene una dirección predominante Sur (Muñoz 2002).

5. Balance hídrico: Datos de precipitación y evaporación en Copey de Dota y Carrizales de León Cortés muestran un déficit de humedad en el suelo durante los meses de baja pluviosidad (diciembre a abril), con evaporación más reducida en las partes más altas de la Cordillera de Talamanca, como se observa en la estación Cerro de la Muerte del ICE. La Figura 5 muestra balances hídricos en Copey de Dota, Carrizales de León Cortés y en la estación Cerro de la Muerte (cercana a la parte alta de la cuenca y con una vegetación de páramo).

En el Cerro de la Muerte la evaporación y la precipitación calculadas con datos climáticos muestran que la primera es mayor que la segunda

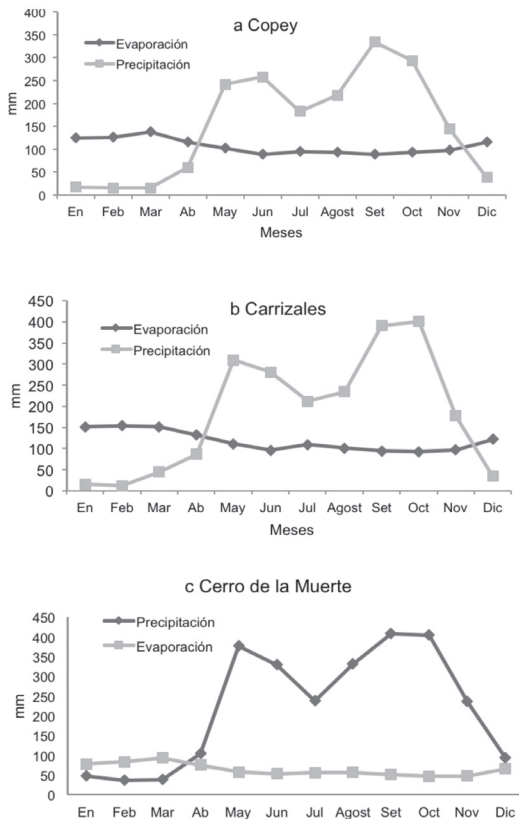


Fig. 5. Balance hídrico de las estaciones (a) Copey; (b) Carrizales y (c) Cerro de la Muerte. Fuente: Datos suministrados por el C.S. Estudios Básicos del ICE.

durante enero a marzo, lo que coincide con la ocurrencia de incendios en la región durante esta época (Williamson et al. 1986, Horn y Sabdford 1992) y corrobora que en el páramo, Copey y Carrizales el régimen de humedad de suelo es ústico.

Factor cobertura vegetal

Kappelle y Juárez (1995) y Kappelle et al. (1995), proponen para el área una zonificación de la región por piso altitudinal, y se hizo la diferencia a 2300 m de altitud el Montano Bajo del Montano Alto. De acuerdo con Camacho y Orozco (1998) y el INBio (2001), los bosques Montanos Altos de Costa Rica, han sido comúnmente llamados robledales (*Quercus*), e incluyen el *Q. costarricensis* (roble negro), *Q. copeyensis* (roble blanco), *Q. oocarpa* (roble blanco) y *Q. seemanii* (roble encino). Edafológicamente, Blazer y Camacho (1991) asocian los bosques mixtos de encino con suelos Placandeps y los bosques de encinos blancos con Dystrandeps. Kappelle y Juárez (1995) hallaron en el bosque montano, contenidos de materia orgánica altos (12,1 a 20,4%), pH en agua bajo (4,2 a 4,8) y porcentajes de saturación de bases muy bajo (3 a 7%). Datos similares reportan Sancho y Núñez (1985) en un suelo Humic "Alic" Dystrustepts a 2500 m de elevación cubierto por encinos (*Q. seemanii*), donde el pH en agua es de 4,4 a 5,0 y en KCl de 3,3 a 4,0, la saturación de acidez muy alta (94 y 96%) y alto en materia orgánica (9%). Varios autores (Blazer y Camacho 1991, Kappelle y Juárez 1995, INBio 2001), reportan suelos ácidos (pH 3,3 a 6,0) en el bosque Montano, con especies del género *Chusquea* (*C. longifolia*, *C. talamancensis* y *C. tormentosa*). Widmer (1998) indica que los suelos bajo cobertura de *C. talamancensis* son significativamente más ricos en materia orgánica, una relación C/N más alta, más ácidos, con mayor contenido de acidez intercambiable y mayor porcentaje de saturación de acidez, que los suelos bajo cobertura de *C. longifolia* y *C. tormentosa*. La *C. longifolia* usualmente se presenta en suelos con valores de pH intermedios de las otras 2 especies. De acuerdo con Kappelle y

Juárez (1995) y Camacho y Orozco (1998), otros árboles importantes en el bosque montano de Costa Rica son especies de Araliaceae (*Schefflera rodriguesiana*), Cunoniaceae (*Weinmannia pinnata*), Ericaceae (*Vaccinium consanguineum*), Lauraceae (*Ocotea pitierii* y *Ocotea austinii*), Magnoliaceae (*Magnolia sororum*), Styracaceae (*Styrax argenteus*), Theaceae (*Cleyera theioides*) y Winteraceae (*Drimys granadensis*). El INBio (2001) indica que entre 1200 y 2100 msnm del bosque Montano, también hay otras especies como cedro maría (*Calophyllum brasiliense*) y el

tirrá (*Ulmus mexicana*) y que entre 2100 y 3100 msnm, se encuentra además el cipresillo (*Podocarpus macrotachyus*).

Al utilizar el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge, que utiliza características de clima (temperatura y precipitación) y pisos altitudinales (Bolaños y Watson 1993), se encuentra que el área de estudio tiene bosque pluvial Montano (bp-M), bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB); bosque muy húmedo Premontano (bmh-P) y bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Figura 6).

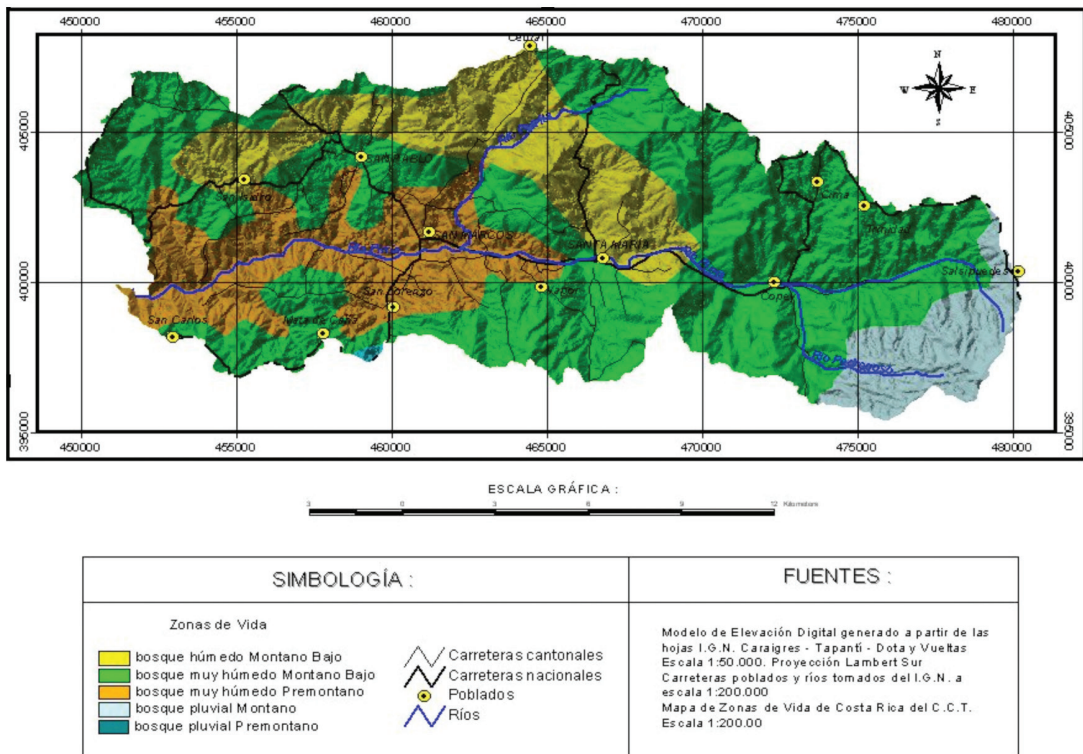


Fig. 6. Zonas de Vida en la subcuenca media alta del río Pirris.

1. Bosque Pluvial Montano (bp-M): Esta zona de vida presenta limitantes para muchas actividades de uso de la tierra y se considera como poco atractiva para asentamientos humanos. Las temperaturas son bajas (6-12°C), el rango de precipitación promedio anual varía entre 2200 y 4500 mm y tiene un período seco de 0 a 2 meses

de duración. La vegetación es de altura baja a mediana (10 a 30 m), siempre verde y con epífitas (Bolaños y Watson 1993). En esta zona de vida se encuentran los poblados de Salsipuedes y Tres de Junio (IGN 1963). El uso actual de la tierra en esta zona de vida son los bosques intervenidos y el páramo, no obstante, hay pequeños parches

de pastos con árboles (ICE 2007). El bosque montano alto y el páramo costarricense han sido datados a partir de polen, esporas y carbón (^{14}C) provenientes de sedimentos del Lago las Morenas y del Lago Chirripó. La vegetación en el páramo fue estimada en una edad cercana a los 10 000 años (Horn y League 2005). A menor elevación, muestras de polen y carbón recolectadas en La Chonta a 2310 y Trinidad a 2700 m de elevación, Islebe et al. (1996) indican un desarrollo postglacial del bosque Montano de *Quercus* durante el Holoceno temprano (9500-7000 años), Holoceno medio (7000-4500 años) y Holoceno tardío (4500-1500 años).

2. Bosque Muy Húmedo Montano Bajo

(bmh-MB): Esta zona de vida ocupa un área importante de la zona de estudio. Se caracteriza por tener alta humedad y neblina. La vegetación es siempreverde, sus árboles son de altura moderada (25 a 35 m) y con epífitas. La temperatura media anual varía entre 12 y 17°C. La precipitación promedio anual oscila entre 1850 y 4000 mm y tiene de 0 a 4 meses secos (Bolaños y Watson 1993). En la parte alta, al este de la cuenca, se ubican las comunidades: El Jardín, La Chonta, Cañón, Macho Gaff, La Cima, Trinidad, Río Blanco, Pedregoso, Copey, Florida (IGN 1962, 1963). El uso actual de la tierra está dedicado a bosques intervenidos, ganadería de leche, frutales de altura, mora, hortalizas y cultivo de truchas (ICE 2007). En el sector sur de la parte media de la cuenca, se encuentran las comunidades Higueñonal, El Vapor y Mata de Caña. La Esperanza y San Carlos (IGN 1962, 1994) están en el límite con el bosque muy húmedo premontano (Bolaños y Watson 1993). El uso de la tierra es principalmente cultivo del café y áreas con pastos (ICE 2007). En el sector central se localizan los poblados de San Pedro, San Pablo, Carrizales, Llano Bonito y San Rafael cuya actividad principal es el cultivo del café. El poblado de Santa María de Dota (IGN 1962, 1989, 1994) se encuentra en el límite de esta zona de vida con el bosque muy húmedo premontano (Bolaños y Watson 1993). En el sector norte, se ubican las comunidades

de San Francisco, Bajo Gamboa y Cedral (IGN 1989), con usos de la tierra de pastos y aguacate (ICE 2007).

3. Bosque Muy Húmedo Premontano

(bmh-P): Esta zona de vida domina el sector central de la parte media de la cuenca del río Pirrís, donde se ubican las comunidades de San Marcos, Guadalupe, Rodeo, San Lorenzo, San Cayetano, Salado, San Rafael Abajo, San Jerónimo y Santa Juana (IGN 1994). La vegetación natural es siempre verde, con algunas especies deciduas durante la estación seca y cantidad moderada de epífitas (Bolaños y Watson 1993). El uso actual de la tierra en el área de estudio es café, con presencia de parches de bosque intervenido, charrales y pastos (ICE 2007). Este bioclima tiene un rango de precipitación anual entre 2000 y 4000 mm y una temperatura que varía entre 17 y 24°C (Bolaños y Watson 1993).

4. Bosque Húmedo Montano Bajo

(bh-MB): Se le ubica en la parte media de la cuenca, hacia el sector norte, donde se encuentran las comunidades de San Rafael, Canet, Rosario y San Isidro (IGN 1963, 1989). El uso actual de la tierra en este bioclima es café, plantaciones forestales, bosque intervenido y pastizales (ICE 2007). La vegetación natural consiste de un bosque siempreverde con presencia de especies caducifolias en la época seca. El rango de precipitación varía entre 1400 a 2000 mm como promedio anual, con un período seco de entre 2,0 y 4,5 meses. El promedio de temperatura anual oscila de 12 a 17°C (Bolaños y Watson 1993).

Factor material parental

La historia geológica de la Cordillera de Talamanca se remonta al Mioceno (Drummond et al. 1995), sin embargo, la mayoría de los suelos del macizo son relativamente jóvenes debido a varios factores que han posibilitado la formación de paleosoles (Harris 1971a, Driese et al. 2007). Entre los factores que coadyuvan a que los suelos sean jóvenes se pueden mencionar, erupciones de cenizas volcánicas periódicas durante el

Holoceno (Harris 1971b), la glaciación en la parte más alta de la Cordillera (Orvis y Horn 2005) y las quemas periódicas de la cobertura vegetal (Williamson et al. 1986, Horn y Sandford 1992) que junto al relieve empinado del páramo y la elevada precipitación pluvial favorecen la erosión de los suelos. En áreas depresionales, los suelos son igualmente jóvenes, debido al acumulo de materiales acarreados por los ríos y que se depositan al cambiar la pendiente del terreno.

En la zona de estudio, varios autores (Mora et al. 1985, Denyer y Arias 1991, ICE 2007) han reportado importantes extensiones de litologías volcánicas (Grifo Alto) y sedimentarias (Térraba) con superficies menores de litologías intrusivas (grupo Comagmático Talamanca) y de sedimentos no consolidados del Cuaternario (Figura 7). La unidad Grifo Alto está compuesta por lavas de composición basáltico andesíticas, tobas estratificadas e ignimbritas, así como de conglomerados volcánico-litoclastos altamente silicificados, ubicados

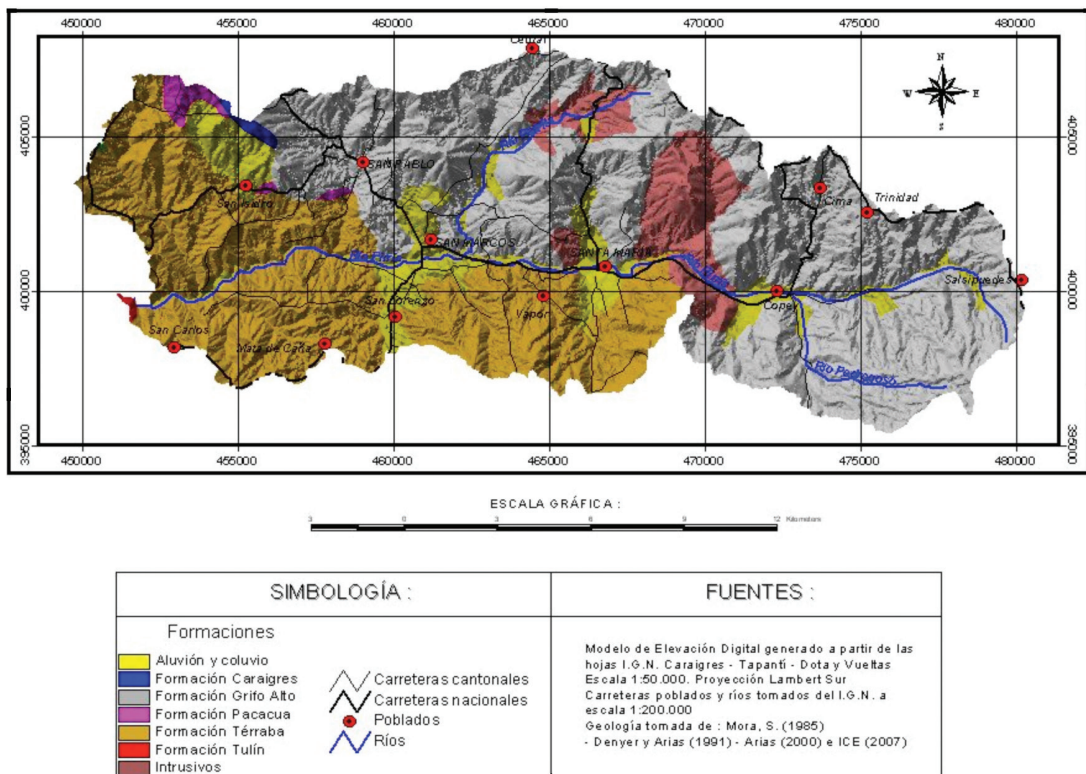


Fig. 7. Mapa Geológico de la subcuenca media alta río Pirrís.

principalmente en los cerros Abejónal, Trinidad y San Pedro (ICE 2007); esta unidad se ubica en el Plioceno y según van Uffelen (1993) está representada por lavas provenientes de cráteres muy erosionados y depósitos piroclásticos depositados sobre estructuras geológicas más antiguas.

Linkimer y Aguilar (2000), indican que la unidad Térraba consiste en una secuencia de lutitas, limolitas y areniscas calcáreas de color gris oscuro a negro del Oligoceno a Mioceno Inferior por su contenido faunístico (Cuadro 1). El Grupo Comagmático Talamanca es una manifestación

Cuadro 1. Cronoestratigrafía de la zona de estudio.

| Era | Sub-Era | Época | Edad Ma | Formación | |
|-----------|-------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------|
| Cenozoico | Cuaternario | Holoceno | Actual-0,0118 | Depósito recientes | |
| | | Pleistoceno | 0,0118-1,8 | Depósito recientes | |
| | Terciario | Plioceno | 1,8 – 5,0 | Grifo Alto, Intrusivos Talamanca | |
| | | Mioceno | 5,0-23,0 | Intrusivos Talamanca | |
| | | Oligoceno | | 23,0-34,0 | Térraba |
| | | | | | |

de intrusivos que incluye monzonitas, monzodioritas, latiandesitas, diabasas, gabros y granodioritas del Mioceno al Plioceno (Mora et al. 1985). Existen depósitos recientes en las pocas zonas planas, correspondientes con las áreas urbanas de San Marcos, Santa María y Copey; esos terrenos se reconocen como aluviones y coluvios del Cuaternario con edad no mayor a 1,8 Ma (ICE 2007).

Factor relieve

1. Unidades Geomorfológicas: El área de estudio se enmarca mayormente dentro 2 unidades geomórficas: 1) de origen tectónico–erosivo y 2) de sedimentación aluvial (ICE s.f).

Tectónico y erosivo: Se divide en 2 subunidades llamadas Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña. La subunidad Cordillera de Talamanca se caracteriza por tener valles profundos con laderas de fuerte pendiente y divisoras angostas. La forma de la Cordillera es compleja por estar influenciada por la presencia de fallas y pliegues, lo mismo que la diversidad de rocas; su origen se debió a una sedimentación marina que ocurrió hasta el Mioceno Medio, luego se inició un ascenso y plegamiento durante el Mioceno Medio al Superior, posteriormente un Plutonismo con magmas ácidos y básicos que originan las intrusiones, el cual es posible se prolongara hasta el Plioceno. El cantón de Dota se localiza en la zona comprendida por el poblado San Joaquín, las filas Pangolín y Quebrada Seca, y el sector de Cedral, excluyendo el área próxima a la ciudad de Santa

María y Copey. En el cantón de Tarrazú se localiza en el sector aledaño al poblado de Santa Rosa, así como la zona comprendida por el poblado de San Pedro, cerro Trinidad y límite norte del cantón. El cantón de Dota, ocupa el sector Noreste, poblados de Cedral y fila San Lucas.

La subunidad Fila Brunqueña presenta una orientación de acuerdo con la dirección estratigráfica de las rocas sedimentarias que la forman, la pendiente es fuerte con un pequeño escalón entre los 400 y 500 m de elevación, su sistema de drenaje se aproxima al dendrítico, muy poco desarrollado y algo afectado por fracturas; las diferencias de relieve son grandes (100 a 200 m) entre el fondo de valle y la cima; su origen se debe al levantamiento de un bloque de corteza desde el fondo oceánico, el cual ascendió a lo largo de fallas, inclinándose en las últimas etapas hacia el noreste; la erosión fluvial terminó de modelar la subunidad. El cantón de Dota se localiza en la ladera sur de fila Pangolín. El cantón de Tarrazú se localiza en la zona comprendida por los poblados de Salado, Naranjillo y los límites sur y oeste del cantón. El cantón de Dota se localiza en la zona comprendida por el poblado de Carrizal.

Sedimentario coluvio aluvial: Su origen se debe en gran medida al relleno efectuado por el río Pirrís, el cual es muy antiguo. Corresponde a una superficie plana, afectada en mayor o menor grado por un micro relieve de viejos canales fluviales o por la erosión posterior. Esta unidad se puede diferenciar en edad de sedimentación.

La más reciente está compuesta por bloques de aluviones sanos de rocas volcánicas e intrusivas dentro de una matriz franco arenosa a arcillosa y las más antiguas la conforman coluvios con los bloques muy meteorizados inmersos en una matriz arcillosa. En el cantón de Dota, esta unidad constituye 2 áreas separadas y está representada por la planicie aluvial de Dota, que se ubica en el sector aledaño a la ciudad de Santa María y al poblado de Copey. En el cantón de Tarrazú, está representada por la planicie aluvial de San Marcos y se localiza en la zona comprendida por los poblados de San Lorenzo, La Sabana, Guadalupe y el Rodeo. En el cantón de León Cortés se sitúa en el sector aledaño a la ciudad de San Pablo y al poblado de Montes de Oro.

2. Fisiografía: En la zona se pueden diferenciar 1) las laderas del Terciario (Cordillera

de Talamanca y Fila Brunqueña), 2) las terrazas medias en piedemonte del Cuaternario, relacionadas con la tectónica de alzamiento de Talamanca (sedimentos coluvio aluvial antiguos) y 3) los sedimentos no consolidados del Cuaternario que conforman las terrazas medias del aluvión subreciente (ICE s.f); a esta unidad pertenecen las terrazas a lo largo del río Pirrís, donde se localizan importantes poblaciones como Copey, Santa María de Dota, San Marcos de Tarrazú y San Pablo de León Cortés y sus actividades agrícolas (ICE s.f).

3. Relieve y drenaje natural: En el nivel alto de la subcuenca, el rango de elevación varía de 1078 a 3140 m en 30 km (Figura 8). Los relieves dominantes son los fuertemente ondulados (63% del terreno), acompañados de relieves ondulados que ocupan el 23% del área. En la unidad

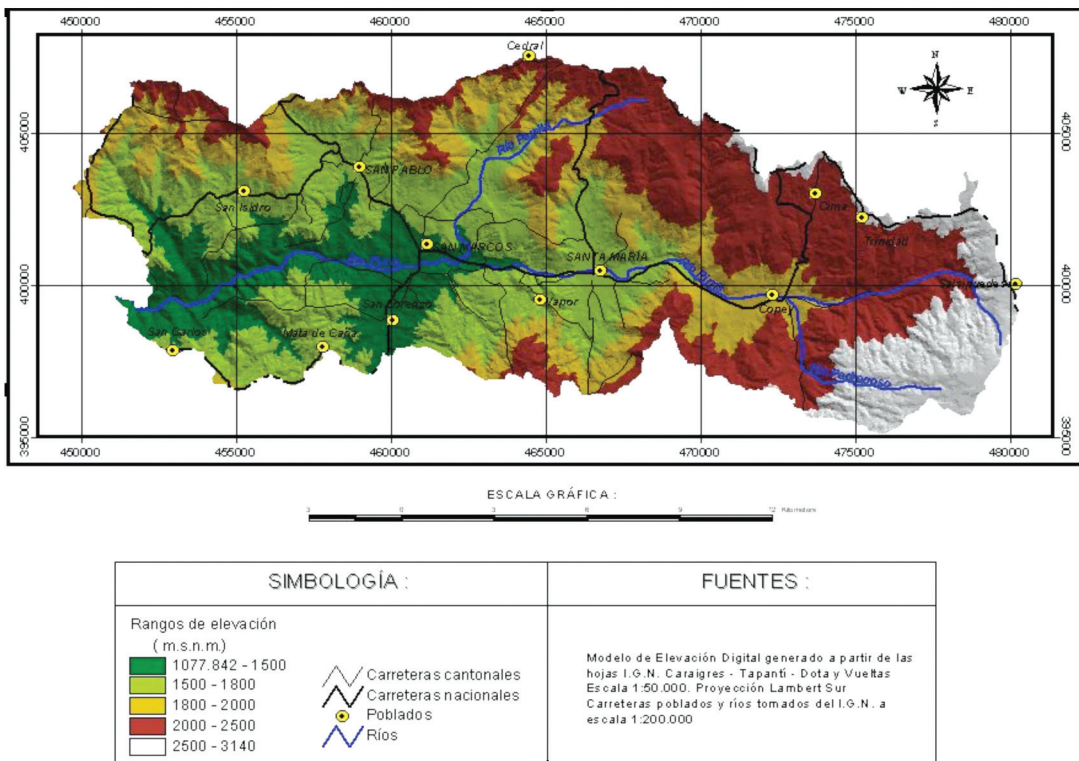


Fig. 8. Pisos altitudinales en la subcuenca media alta del río Pirrís.

de sedimentación coluvio aluvial reciente las pendientes son menores a 15% y representan el 4% del área estudiada (IGN 1962, 1963, 1989, 1994).

En relación con el drenaje natural, el río Pirrís tiene rumbo Este-Oeste (Figura 8), nace con el nombre del río Blanco en el cantón de Dota, sus afluentes son los ríos Pedregoso, San Rafael y las quebradas Palmital, Loaiza, Chontal, Yugo y Rivas. Estos cursos de agua aparecen en la fila Dota y los cerros Vueltas y San Francisco, con rumbos sureste a noroeste, este a oeste y norte a sur. También se encuentra en este sector de la subcuenca de la laguna Chonta. A la altura del cantón de Tarrazú, al río Pirrís se le une el río Parrita Chiquito con su afluente el río Martínez, así como las quebradas Zapotal, Salado, La Cruz y Monterrey. En este sector los cursos de agua presentan un rumbo noreste-suroeste y sureste-noroeste. En el cantón de León Cortés, se unen el río San Pablo y las quebradas San Rafael, San Isidro y Delicias. Estas quebradas tienen rumbo norte-sur y sureste-noroeste, mientras que el río Pirrís va de este a oeste (ICE s.f.).

Factor Tiempo

Con ^{14}C , Harris (1971a) establece que el horizonte superficial de los suelos de la Cordillera de Talamanca a 2485 m de altura poseen una edad de 590 ± 95 años (ceniza volcánica), mientras que los horizontes B arcillosos del subsuelo datan desde 8620 ± 140 (28-42 cm profundidad) a $20\ 000\pm 400$ (183-187 cm profundidad). Driese et al. (2007), mediante análisis de isótopos estables de carbono a muestras de un suelo a 2507 m de elevación de la misma región, datan las partes medias y bajas de los horizontes Bt2b (75-107 cm profundidad) y 2Bwb (107-162 cm profundidad) en $36\ 620\pm 650$ y más de $43\ 640$ años antes del presente. Al estudiar los suelos de los abanicos aluviales coalescentes del pie de monte de la Cordillera de Talamanca (900-1000 msnm), Kesel y Spicer (1985) encontraron que los suelos más recientes tienen una edad de 45 000 años estimados con ^{14}C , mientras que los más antiguos tienen más de 65 000 años. Los últimos datos coinciden con estudios de meteorización

de un basalto recolectado en la cuenca alta del río General realizado por Pelt et al. (2008), al emplear cronometría uranio-torio. Con base en lo anterior, se concluye que los Andisoles y los horizontes superficiales de otros suelos con influencia de cenizas volcánicas tienen una edad de aproximadamente 600 años en el horizonte superior (Holoceno), aunque otros pueden haberse formado a partir de cenizas volcánicas más viejas proveniente de los esqueletos volcánicos “Piedra del Fuego” y “Sinsal” descritos originalmente por Barquero y Sáenz (1987) y luego confirmados por van Uffelen (1993). Los suelos o subsuelos arcillosos encontrados en los Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Oxisoles, son mucho más antiguos y su formación data de 9000 a 65 000 años dependiendo de la profundidad a la que se determine la edad (Pleistoceno). Harris (1971b), menciona como posible fuente de origen de las cenizas en Talamanca la Cordillera Volcánica Central (probablemente el macizo Irazú-Turrialba), basado en que la mineralogía de las cenizas de la región presenta un 42 y 62% de hornablenda e hiperstena, respectivamente, minerales típicos de las cenizas andesíticas del vulcanismo moderno del país, en contraste con la mineralogía dacítica de las rocas plutónicas y volcánicas y las rocas intrusivas (metamórficas y sedimentarias) que conforman el basamento de la Cordillera (Drummond et al. 1995). La deposición de las cenizas pudo ocurrir durante los períodos invernales (noviembre a mayo), cuando los vientos de la troposfera alta y la estratosfera baja (unos 5,5 km de altitud) tienen dirección este dominante, de manera que los vientos de la troposfera baja, de dirección sureste, redistribuyen la ceniza en esa dirección cuando esta comienza a caer (Alvarado y Fernández 2001), siempre y cuando las erupciones de ceniza volcánica alcancen la altura necesaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Recopilación y análisis de información básica: Se recopiló información de factores formadores (geología, clima, vegetación, relieve, tiempo) y de estudios de suelos existentes,

además del material cartográfico básico del área de estudio: hojas topográficas Vueltas (1962), Tapantí (1963), Carraigres (1989) y Dota (1994), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional y fotografías aéreas del proyecto Carta 2003, escala 1:40 000.

2. Mapeo preliminar: Se confeccionó un mapa preliminar fisiográfico de suelos a partir de la fotointerpretación y de la información de sistemas geográficos existentes. Este mapa sirvió de base para la selección e ubicación de puntos de muestreo y establecimiento de unidades de mapeo durante la etapa de campo.

3. Trabajo de campo: El trabajo de campo se realizó en las unidades de mapeo establecidas en el mapa base y en donde se definieron sitios de muestreo. Para facilidad de orientación se utilizaron los caminos. Se llevaron a cabo las siguientes observaciones:

Barrenada simple en levantamiento libre: Son perforaciones de 120 cm de profundidad, realizadas con barreno (tipo holandés) en los sitios previamente ubicados en el terreno. Este tipo de observación se usó también para delimitar en el campo las unidades cartográficas. En estas observaciones se señaló la ubicación, se separaron los distintos horizontes genéticos que componen el perfil del suelo y se caracterizó en cuanto a su nomenclatura genética, textura, color, presencia de estratos compactos y permeabilidad, también se describieron otras características importantes como pendiente y uso actual.

Observación detallada: Por cada 20 observaciones con barreno, se realizaron pequeñas fosas de 50 cm de ancho, 50 cm de largo y 50 cm de profundidad, donde se detalló el estrato superficial y parte del subsuelo. Posteriormente se continúa con el barreno hasta 120 cm como si fuera una barrenada simple.

Apertura de calicatas: Las calicatas son fosas de alrededor 100 cm de ancho, 150 cm de

largo y 150 cm de profundidad, ubicadas en sitios representativos de las principales unidades cartográficas de los suelos. Como parte del proceso investigativo se abrieron y describieron 19 calicatas y se acudió a 32 calicatas descritas por otros autores en la zona de estudio. Su estudio permite caracterizar morfológicamente el perfil del suelo por horizontes genéticos (color, textura, estructura, consistencia en húmedo y mojado, porosidad, contenido de raíces, límite y pH) y tomar las muestras de suelos para el análisis físico, químico y mineralógico. Además permiten anotar características importantes como coordenadas, ubicación, fisiografía, presencia o ausencia de rocas, uso actual, drenaje, erosión, etc. (USDA-NRCS 2002).

4. Clasificación de Suelos

Criterios de mapeo: El mapa de suelos, mediante las unidades de mapeo, muestra la distribución geográfica de los suelos; estas unidades presentan características similares de uso y manejo. La unidad taxonómica para el presente estudio fue la Familia, como unidad de mapeo se utiliza la Consociación y la Asociación. La primera, considera la agrupación de por lo menos el 70% de una unidad taxonómica y como máximo un 30% de impurezas que son denominadas inclusiones (suelos de otra unidad taxonómica) y la segunda, se presenta cuando se reúnen 2 o más unidades taxonómicas debidamente identificadas, pero que por razones de escala o nivel del estudio no se han separado todavía. Además, las unidades cartográficas, presentan subdivisiones denominadas fases, basadas en aspectos del punto de vista de manejo tales como topografía (pendiente), pedregosidad superficial y erosión. Para fijar los límites en el campo y determinar el concepto de unidad de mapeo, se consideró la relación existente entre las características: profundidad efectiva, textura superficial, textura subsuperficial, drenaje, pendiente, riesgo de inundación, pedregosidad y desarrollo genético.

Criterios de clasificación taxonómica: Los suelos se clasificaron taxonómicamente con base en la taxonomía USDA (Soil Survey Staff

2006). Para ello se tomó en consideración los factores edafogenéticos que participan en la formación del suelo. La clasificación es en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familia.

5. Elaboración de mapas: A partir de las unidades de mapeo establecidas en el mapa base, las observaciones con barreno permitieron definir los límites de los suelos encontrados: el cartografiado general y las áreas se realizaron con el Sistema de Información Geográfica ArcView, 3.3.

6. Métodos de análisis físicos y químicos utilizados en el laboratorio de suelos Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR:

En el laboratorio, una parte de las muestras se seco al aire y se tamizó en una criba de 2 mm. Se determinó el pH en H₂O con determinación potenciométrica en relación suelo/agua 1:2,5 (Jackson 1958 en Henríquez et al. 1995), la acidez intercambiable, el Ca y Mg por extracción con cloruro de potasio 1 M (Briceño y Pacheco 1984), el P, K, Zn, Mn, Cu, Fe con Olsen modificado pH 8,5 (Henríquez et al. 1995), la materia orgánica con el método de Walkley y Black (1938); la capacidad de intercambio catiónico por extracción con acetato de amonio (NH₄OAc 1N) pH 7 (Henríquez et al. 1995), los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na) por extracción con acetato de amonio y determinación espectrofotometría de absorción atómica (Henríquez et al. 1995); el hierro y aluminio en extracción con oxalatos de amonio y la retención de fosfatos con el método Blakemore et al. (1987). La textura de suelo por el método de Bouyoucos (Forsythe 1985), la densidad aparente con muestra volumétrica (Blacke 1965 en Forsythe 1985), la densidad de partículas con el método del Picnómetro (Blacke 1965 en Forsythe 1985), la retención de humedad con ollas de presión de Richards (1941) y la conductividad hidráulica con el método de cilindro de metal (Henríquez y Cabalceta 1999). Consistencia de suelos método de Atterberg y Casagrande (1948) en Lambe y Whitman (1998). Con lo anterior, se realizó la

clasificación taxonómica de los suelos a nivel de subgrupo (Soil Survey Staff 2006) y se interpretó la fertilidad según los criterios de Bertsch (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región estudiada se identificaron 2 unidades geomorfológicas: tectónica-erosiva y de sedimentación; 5 grandes paisajes; 4 paisajes y 3 subpaisajes (Cuadro 2).

Se identificaron 29 unidades cartográficas, de las cuales 6 son consociaciones, 22 asociaciones y una tierra miscelánea (Cuadro 3 y Figura 9).

Se identificaron 4 órdenes de suelos (Cuadro 4). Los Ultisoles con régimen de humedad ústico, ocupan el 38% del área estudiada. Estos suelos se formaron a partir de materiales parentales de origen: 1) sedimentario marino, 2) volcánico andesítico-basáltico y 3) coluvial; las edades de estos materiales va del Pleistoceno al Oligoceno. Los perfiles que poseen acumulación de materia orgánica se clasificaron dentro del suborden Humults y los que no cumplen este requisito como Ustults. Se ubicaron en 5 grandes grupos: Haplustults, Paleustults, Haplohumults, Palehumults, Rhodustults y en 9 subgrupos: Typic Haplustults, Aquic Haplustults, Typic Paleustults, Andic Haplohumults, Aquic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic Haplohumults, Andic Palehumults y Typic Rhodustults. Los Ultisoles con cenizas volcánicas en superficie se clasificaron como del subgrupo Andic. A nivel de familia y por clases granulométricas, la clasificación es arcillosa y arcillosa muy fina, la clase mineralógica caolinítica y el régimen de temperatura isotérmico, a excepción de la unidad cartográfica La Virgen-Abejónal que es isomésico.

Otros suelos con horizonte cámbico y de evolución incipiente son del orden de los Inceptisoles que representan el 23% de la superficie cartografiada. Se han formado en: 1) áreas de rocas ígneas; 2) alrededor de las litologías intrusivas y 3) sobre depósitos aluviales recientes. El régimen de humedad ústico los ubica en el suborden Ustepts. El bajo contenido de bases los clasifica en el gran grupo Dystrustepts. Los subgrupos

Cuadro 2. Fisiografía de los Suelos en la Cuenca Media Alta del río Pirrís.

| Unidades Geomorfológicas | Gran paisaje | Paisaje fisiográfico | Sub paisaje | Unidad Cartográfica |
|----------------------------|--|--|------------------------------|---|
| Tectónico-erosivo | Cordillera de Talamanca con litologías volcánicas y vulcano-sedimentaria del Terciario | Montañas erosivas con deposición de ceniza volcánica en régimen ústico | Lomas, laderas y colinas | Asociación Trinidad Consociación Cedral Trinidad Asociación Cañón-La Cima Asociación Cerro Vueltas |
| | | Montañas erosivas en régimen ústico | Lomas, laderas y colinas | Asociación Vara Blanca Asociación San Pedro Asociación Cerro Trinidad Asociación La Virgen-Abejonal Consociación La Cachimba Asociación Carrizales Asociación Pedregoso |
| Tectónico-erosivo | Cordillera de Talamanca con litología intrusiva del Terciario | Montañas erosivas en régimen ústico | Laderas | Asociación Intrusivos |
| Tectónico-erosivo | Fila Brunqueña con litología sedimentaria del Terciario | Montañas erosivas en régimen ústico | Lomas, laderas y colinas | Asociación San Isidro Asociación Llano Bonito Consociación Santa Rosa Asociación Higuieron-La Bandera Asociación Llano La Piedra-El Vapor Asociación Guadalupe-La Pastora Asociación Zapotal-La Esperanza Asociación Mata de Caña Consociación San Carlos |
| Sedimentos no consolidados | Planicie coluvial del Cuaternario | Terraza erosionada por viejos canales fluviales con régimen ústico | Colinas | Asociación San Lorenzo Asociación San Marcos Asociación El Balar |
| Sedimentos no consolidados | Planicie aluvial del Holoceno | Terraza reciente con régimen ústico | Terraza en valle fondo plano | Consociación Guzmán Asociación San Rafael-Santa María Consociación Bajo San Juan Asociación Copey Tierras Misceláneas |

Cuadro 3. Unidades cartográficas y taxonómicas en la zona de estudio.

| Unidad cartográfica | Símbolo | Unidad taxonómica | ha | % |
|------------------------------------|---------|--|---------|-------|
| Asociación Trinidad-Salsipuedes | Tri-Sa | Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico; Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico | 1481,77 | 6,04 |
| Consociación Cedral Trinidad | Ce-Tri | Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico; Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico | 2487,10 | 10,14 |
| Asociación Cañón - La Cima | Ca-Ci | Humic Haplustands, media, amorfo, isomésico; Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico | 204,55 | 0,83 |
| Asociación Cerro Vueltas | Vue | Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico; Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico | 2300,33 | 9,38 |
| Asociación Vara Blanca | VB | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Aquic Haplohumults; arcillosa muy fina, Isotérmico | 428,23 | 1,75 |
| Asociación San Pedro | SP | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico | 561,89 | 2,29 |
| Asociación Cerro Trinidad | Tri | Typic Dystrustepts francosa fina, isomésico; Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isomésico | 877,24 | 3,58 |
| Asociación La Virgen-Abejonal | Vi-Ab | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isomésico; Andic Dystrustepts, francosa fina, isomésico | 462,98 | 1,89 |
| Consociación La Cachimba | Cach | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 164,87 | 0,67 |
| Asociación Carrizales | Car | Typic Paleustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico | 564,42 | 2,30 |
| Asociación Pedregoso | Pe | Typic Ustorthents, francosa fina, isomésico; Humic "Alic" Dystrustepts, francosa fina, isomésico | 1086,74 | 4,43 |
| Asociación Intrusivos | Int | Andic Dystrustepts; Typic Ustorthents | 2920,21 | 11,90 |
| Asociación San Isidro | SI | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Paleustults; arcillosa fina, Isotérmico | 1334,93 | 5,44 |
| Asociación Llano Bonito | Llabo | Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico; Typic Ustorthents, francosa fina, isotérmico | 1296,38 | 5,28 |
| Consociación Santa Rosa | Sro | Typic "Alic" Dystrustepts, francosa fina, isomésico | 887,24 | 3,62 |
| Asociación Higueñonal - La Bandera | Hi-Ba | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 1128,62 | 4,60 |

Cuadro 3. Unidades cartográficas y taxonómicas en la zona de estudio (continúa).

| Unidad cartográfica | Símbolo | Unidad taxonómica | ha | % |
|---------------------------------------|---------|--|---------|------|
| Asociación Llano La Piedra - El Vapor | Lla-Va | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Ustic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 357,69 | 1,46 |
| Asociación Guadalupe-La Pastora | Gua-Pa | Andic Palehumults, arcillosa fina, isotérmica; Typic Rhodustults, arcillosa fina, kaolínica con mala cristalización, isotérmica | 1334,66 | 5,44 |
| Asociación Zapotal - La Esperanza | Za-Es | Aquic Haplustults arcillosa muy fina, isotérmico; Typic "Aquic" Paleustults, arcillosa muy fina, isotérmica | 942,26 | 3,84 |
| Asociación Mata de Caña | MC | Andic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica con mala cristalización, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 742,4 | 3,03 |
| Consociación San Carlos | SC | Andic Haplohumults, arcilloso muy fino, isotérmico | 328,03 | 1,34 |
| Asociación San Lorenzo | SL | Ustic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica | 414,05 | 1,69 |
| Asociación San Marcos | SM | Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmico; Kanhaplic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico | 1060,98 | 4,32 |
| Asociación El Balar | Bal | Aquandic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica | 251,21 | 1,02 |
| Consociación Guzmán | Guz | Fluventic Haplustepts, francosa fina, isotérmica | 88,82 | 0,36 |
| Asociación San Rafael - Santa María | SR-SM | Typic "Andic" Ustifluvents, francosa gruesa, isotérmico; Fluventic Dystrustepts, francosa fina, isotérmica | 302,29 | 1,23 |
| Consociación Bajo San Juan | BSJ | Fluventic Dystrustepts, francosa fina, isotérmica | 87,99 | 0,36 |
| Asociación Copey | Co | Typic "Andic" Ustifluvents, francosa gruesa, isotérmica; Humic Dystrustepts, arcillosa fina, isotérmica | 190,58 | 0,78 |
| Tierras Misceláneas | Mis | Typic Ustifluvents, esquelética-arenosa, isotérmico | 248,20 | 1,01 |

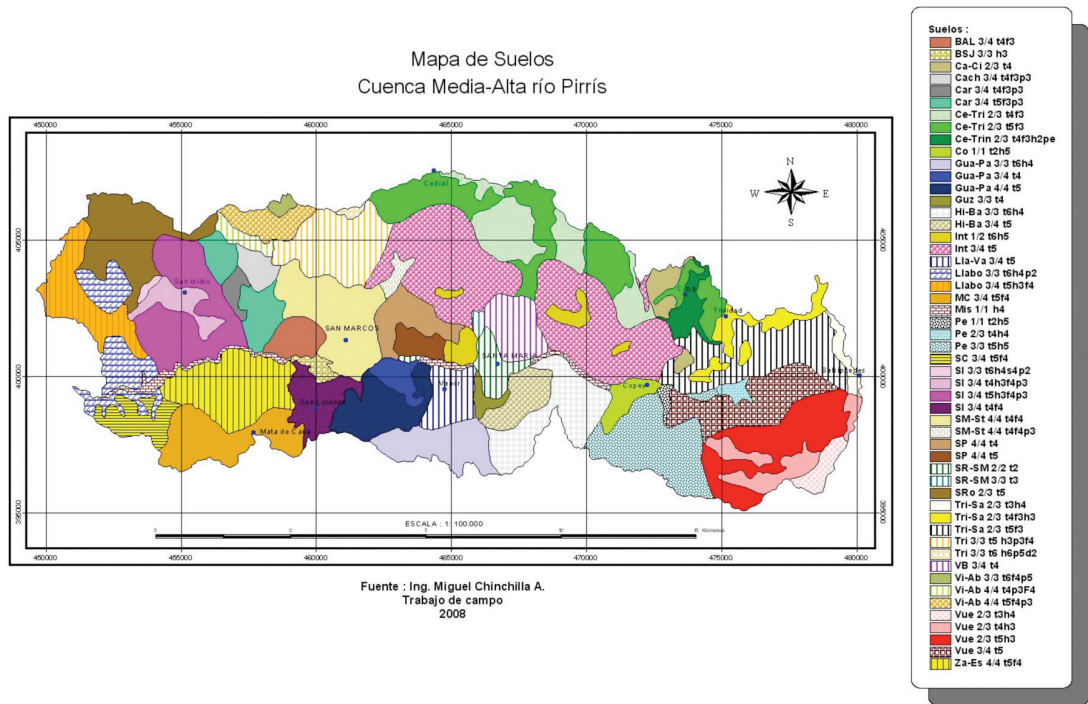


Fig. 9. Mapa de suelos del nivel medio alto en la subcuenca río Pirrís.

Cuadro 4. Ordenes de suelos en la subcuenca media alta.

| Orden de suelo | ha | % |
|----------------|--------|-----|
| Ultisoles | 9287 | 38 |
| Andisoles | 4062 | 17 |
| Inceptisoles | 5799 | 23 |
| Entisoles | 5388 | 22 |
| Total | 24 537 | 100 |

encontrados son Andic, Fluventic y Typic. A nivel de familia, la clasificación por clases granulométricas es Francosa fina, con régimen de temperatura isomésico e isotérmico en función de la altitud a la que se encuentren.

En niveles altos de la subcuenca la deposición de cenizas volcánicas permitieron la formación de suelos: del orden de los Andisoles (17% del área), los que presentan una capa de 35 cm con propiedades ándicas y en ocasiones horizontes argílicos sepultados. Los horizontes que están encima del argílico son

frágiles, vulnerables a erosionarse y deslizarse. El régimen de humedad ústico los clasifica en el suborden Ustands. En general son del gran grupo Haplustands y en función de su contenido de bases de los subgrupos Dystric y Humic. A nivel de familia, la clasificación por clase granulométrica es medial, la mineralógica amorfa y por temperatura isomésicos.

Los Entisoles (22% del área estudiada) están localizados en fondos de valle de aluviones recientes y en superficies erosionadas con fuerte pendiente de las litologías sedimentarias, ígneas e intrusivas. Son suelos con muy poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos que pertenecen a los subórdenes Fluvents y Orthents. De acuerdo con su régimen de humedad ústico son del gran grupo Ustifluvents, Ustorthents y fueron ubicados en el subgrupo Typic. A nivel de familia, la clase granulométrica es Francosa fina, con régimen de temperatura isomésico e

isotérmico en función de la altitud a la que se encuentren. La Figura 9 muestra el mapa de suelos a escala 1:50 000.

Los valores promedios, mínimo y máximo de las principales características químicas de los suelos de la subcuenca se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores químicos de algunas variables químicas en todos los suelos de la subcuenca del río Pirrís.

| | pH H ₂ O | M.O % | C.O % | Ca | Mg cmol(+).kg ⁻¹ | K cmol(+).kg ⁻¹ | Na |
|------------------|---------------------|----------|----------|-------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| Horizontes A | | | | | | | |
| Máximo | 6,40 | 25,12 | 14,57 | 27,70 | 6,34 | 2,20 | 0,32 |
| Media | 5,18 | 8,52 | 4,94 | 6,72 | 1,64 | 0,53 | 0,12 |
| Mínimo | 4,10 | 0,65 | 0,38 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,10 |
| Horizontes A y B | | | | | | | |
| Máximo | 6,90 | 12,50 | 7,25 | 34,90 | 39,67 | 1,03 | 1,48 |
| Media | 5,31 | 1,57 | 0,80 | 4,37 | 1,15 | 0,22 | 0,15 |
| Mínimo | 4,00 | 0,10 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,10 |

En el horizonte A el valor promedio de materia orgánica es de 8,52%, con mínimos y máximos de 0,65 y 25,12%, respectivamente. La materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo, de manera que en los horizontes B y C son de 1,57%, con un valor máximo de 12,50% y otro mínimo de 0,10%. En la Figura 10 se nota que el 47% de las muestras del horizonte A tienen materia orgánica de entre 5 y 10%, valor considerado como óptimo, y que el 71% de los horizontes B y C poseen valores menores a 2%, considerados como bajos.

El contenido promedio de Ca intercambiable en el horizonte A es de 6,72 cmol(+).kg⁻¹,

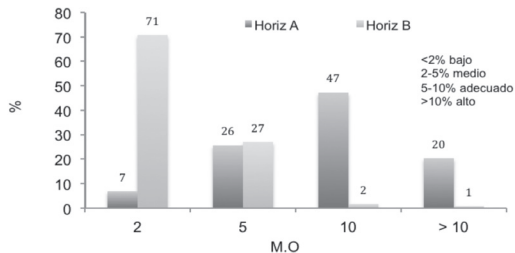


Fig.10. Materia orgánica (%) en la subcuenca río Pirrís.

con valores máximos y mínimos de 27,70 y 0,10 cmol(+).kg⁻¹ suelo. En los horizontes B y C el Ca intercambiable el valor promedio de esta variable es 4,37 cmol(+).kg⁻¹ suelo, extremos de 34,9 y 0,05 cmol(+).kg⁻¹ suelo.

El valor promedio de Mg intercambiable en el horizonte A es de 1,64 cmol(+).kg⁻¹, con valores máximos y mínimos de 6,34 y 0,11 cmol(+).kg⁻¹ suelo. En los horizontes B y C el Mg intercambiable el valor promedio de esta variable es 1,04 cmol(+).kg⁻¹ suelo, extremos de 5,47 y 0,02 cmol(+).kg⁻¹ suelo.

El valor promedio de K intercambiable en el horizonte A es de 0,50 cmol(+).kg⁻¹, con valores máximos y mínimos de 2,20 y 0,10 cmol(+).kg⁻¹ suelo. En los horizontes B y C el K intercambiable el valor promedio de esta variable es 0,22 cmol(+).kg⁻¹ suelo, extremos de 1,30 y 0,03 cmol(+).kg⁻¹ suelo.

El contenido promedio de Na intercambiable en el horizonte A es de 0,12 cmol(+).kg⁻¹, con valores máximos y mínimos de 0,32 y 0,10 cmol(+).kg⁻¹ suelo. En los horizontes B y C el Na intercambiable el valor promedio de esta variable

es $0,15 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo, extremos de $0,50$ y $0,01 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo.

El valor promedio de la Suma de Bases en el horizonte A es de $8,46 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, con valores máximos y mínimos de $35,68$ y $0,47 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es $5,92 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo, extremos de $38,41$ y $0,40 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo.

En relación con el % Saturación de Bases, en el horizonte A, el valor promedio es de $22,15$ (bajo), el valor máximo 94% y el mínimo $1,88\%$. Como se muestra en la Figura 11, un 66% de las muestras de los horizontes A y el 78% de los horizontes B y C, poseen la saturación de bases menor a 20% .

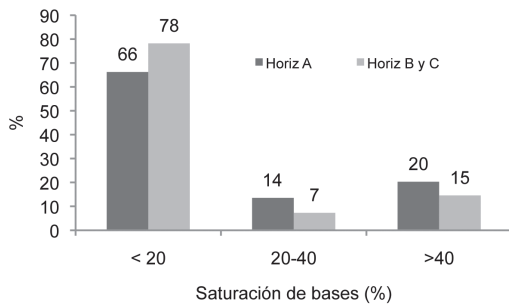


Fig. 11. Porcentaje de saturación de bases en la subcuenca río Pirrís.

El valor promedio de la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) en el horizonte A es de $40 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, con valores máximos y mínimos de 74 y $14 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es $31 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo, extremos de 29 y $18 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo.

El valor promedio de pH en el horizonte A es de $5,2$ valor considerado como fuertemente ácido, con valores máximos y mínimos de $6,4$ y $4,1$. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es $5,3$, con extremos de $7,1$ y $4,0$. En la Figura 12 para pH en agua, el 76% de las muestras del horizonte A tienen un pH menor a $5,5$ y de estas, el 42% es menor a pH $5,0$. El 68% de los horizontes B y C tienen un pH menor a $5,5$.

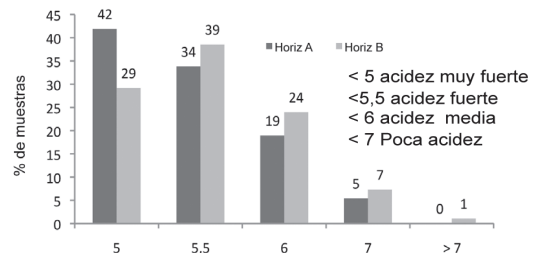


Fig. 12. pH en la subcuenca río Pirrís.

El valor promedio de la Acidez Intercambiable en el horizonte A es de $2,47 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$, con valores máximos y mínimos de $27,7$ y $0,15 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es $4,60 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ suelo, extremos de $28,3$ y $0,19 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ suelo. La acidez intercambiable mayor a $1 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$, considerada como muy alta, ocurre en un 67% de las muestras de los horizontes A, B y C. Solo un 11% de horizontes A y 14% de horizontes B y C muestran valores óptimos de acidez inferiores a $0,3 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ (Figura 13).

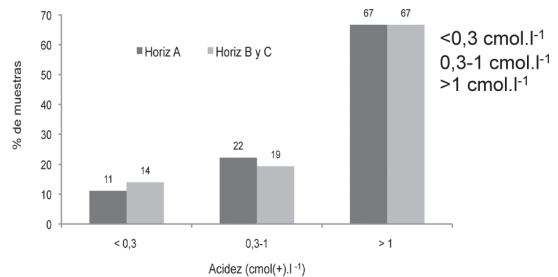


Fig. 13. Acidez de suelos en la Subcuenca río Pirrís.

En relación con el % Saturación de Acidez en el horizonte A, el valor promedio es de $36,5$, el valor máximo 95% y el mínimo $0,76\%$. El índice de saturación de acidez fue alto en el 47% de los horizontes A, B y C. Los valores menores a 30% fueron encontrados en un 53% de las muestras, y solo el 24% de los horizontes A tuvieron una saturación de acidez menor a 10% (Figura 14).

El valor promedio de Retención de P en el horizonte A es de 82% , con valores máximos y mínimos de 98 y 55% . En los horizontes B y C el valor promedio de la Retención de P es de 56% , con extremos de 80 y 42% .

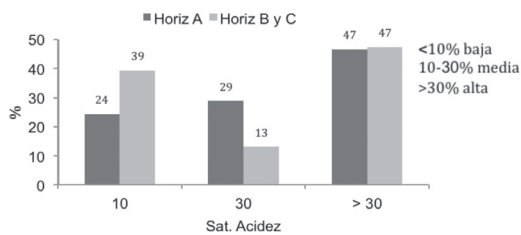


Fig. 14. Saturación de acidez en suelos de la subcuenca río Pirrís.

Entre las principales propiedades físicas de los suelos, se consideran la Densidad Aparente y la Densidad de Partículas, con las cuales se puede calcular la Porosidad del suelo. En la región bajo estudio estas propiedades variaron de la siguiente manera:

El valor promedio de la Densidad Aparente (Da) en el horizonte A es de $0,91 \text{ Mg.m}^{-3}$, con valores máximos y mínimos de $1,34$ y $0,52 \text{ Mg.m}^{-3}$. En los horizontes B y C el valor promedio de la Da es de $1,16$, con extremos de $1,44$ y $0,77 \text{ Mg.m}^{-3}$.

El valor promedio de la Densidad de Partículas (Dp) en el horizonte A es de $2,56 \text{ Mg.m}^{-3}$, con valores máximos y mínimos de $2,87$ y $1,73 \text{ Mg.m}^{-3}$. En los horizontes B y C el valor promedio de la Dp es de $2,46$, con extremos de $3,79$ y $1,67 \text{ Mg.m}^{-3}$.

CONCLUSIONES

En el Cuadro 6 se resume la forma en que los diferentes factores afectan la génesis de los suelos en la cuenca media-alta del río Pirrís.

Los suelos desarrollados sobre deposiciones de cenizas volcánicas son recientes. Sobre este material parental piroclástico de deposición reciente (700 años) actúa el clima. La dispersión de las cenizas hasta la subcuenca ocurren por la acción del viento del noreste que circula a elevaciones de entre 1750 y 4000 m dentro de la troposfera entre los meses de Diciembre a Febrero (Alvarado y Fernández 2001). De acuerdo con el Soil Survey Staff (2006) clasifican en el orden Andisol, pueden presentar horizonte

cámbico formado por alteración de cenizas. Por efecto del relieve y la precipitación se erosionan las capas superficiales, exponiendo algunas veces una discontinuidad cronológica expresada como un horizonte argílico.

Los suelos desarrollados a partir de terrazas recientes, son en general de poco desarrollo morfológico con secuencia de horizontes tipo A/C y A/Bw/C. El principal factor formador de los suelos son las deposiciones de aluviones provenientes de los ríos Pirrís y Pedregoso en un tiempo geológico reciente (11 mil años al presente), sobre los que actúa el clima en un relieve casi plano. En este paisaje se han clasificado los órdenes Entisoles e Inceptisoles con presencia de grava de diverso tamaño en el subsuelo y pedregosidad superficial en algunos sectores.

Cerca de los materiales intrusivos ácidos de la Cordillera de Talamanca, cuya edad varía de 8,5-11 Ma (Kussmaul 1987), se desarrolló una aureola de metamorfismo de contacto con un intenso proceso de alteración hidrotermal de la roca preexistente. Las rocas intrusivas como la granodiorita, presentan contenidos importantes de cuarzo, plagioclasas sódicas, menor cantidad de feldspatos alcalinos y pequeñas cantidades de hornablenda y biotitas. Por su parte las monzodioritas exhiben plagioclasas, poco feldespato potásico y menos de 5% de cuarzo. Las monzonitas tienen igual cantidad de feldspatos y plagioclasas con poco contenido de hornablenda y, o, piróxenos (Le Maitre 2002). Las rocas resultantes del metamorfismo de contacto tienen composición silíceas con contenido importante de óxidos de hierro y manganeso. La granulometría del anillo alrededor de la roca intrusiva es fina (ICE 2002). En estas áreas el material parental y el relieve han sido fundamentales como factores formadores de suelo. Los suelos formados en este paisaje se han clasificado en 2 órdenes: Entisoles e Inceptisoles. Los Entisoles son de muy escaso desarrollo morfológico (A/R). Los Inceptisoles tienen más desarrollo con secuencia de horizontes es tipo A/Bw/C; A/Bw/2BC/Cr y se han formado alrededor de las litologías intrusivas, en relieves fuertemente ondulados. Son pedregosos,

Cuadro 6. Factores ambientales para la formación de suelos.

| Paisaje | Material parental | Edad geológica | Clima | Relieve | Cobertura vegetal | Orden suelos |
|---|---|---|-------------------------------|---|--|-------------------------|
| Laderas con deposiciones de cenizas sobre litología volcánica en la Cordillera de Talamanca | Cenizas volcánicas provenientes de la Cordillera Volcánica Central | Holoceno, 590±95 años (superficie) y Pleistoceno Superior a 1,50 m de profundidad (36 620±650 y >43 640 años ¹⁴ C antes del presente) | ústico, isomésico | Ondulado a fuertemente ondulado (>15%) | Robledales (<i>Quercus</i> spp). Vegetación Páramo. Ciprecillo (<i>Podocarpus macrotachy</i>) | Andisoles |
| Terrazas subcrecientes del llenado de los ríos Pirrís y Pedregoso | Aluviones | Holoceno con edad menor a 11 000 años | ústico, isotérmico | Plano a ligeramente ondulado (<15%) | Cedro, Tirrá, Guarumo, Burío ¿? | Entisoles, Inceptisoles |
| Terrazas levantadas por la tectónica de Talamanca con erosión de drenajes antiguos | Coluvios | Pleistoceno con edad entre 11 000 años y 1,8 Ma. Suelos de abanicos aluviales del pie de monte de la Cordillera de Talamanca tienen 45 000 a 65 000 años de carbono | ústico, isotérmico | Ondulado (15 a 30%) | Cedro, Tirrá, Guarumo, Burío (<i>Apeiba tiburhou</i>), Capulín (<i>Muntingia calaburia</i>) | Ultisoles |
| Laderas con litologías volcánicas de la Cordillera de Talamanca (Grifo Alto) | Lavas basálticas, andesíticas a andesítica basáltica. Rocas piroclásticas | Plioceno (5,0-1,8 M a) | ústico, isomésico, isotérmico | Ondulado a escarpado (>15%) | Robledales Cedro maría (<i>Calophyllum brasiliense</i>), Tirrá (<i>Ulmus mexicana</i>) | Ultisoles, Inceptisoles |
| Laderas con litologías intrusivas y materiales con alteración hidrotermal de Talamanca | Monzonitas, monzodioritas, granodioritas, diabasas, lavas | Intrusivos Mioceno Superior al Pleistoceno (23- 5 M.a) | ústico, isomésico, | Fuertemente ondulado a escarpado (>30%) | Robledales | Inceptisoles, Entisoles |
| Laderas con litologías sedimentarias Fila Brunquena (Formación Térraba) | Areniscas, limonitas y arcillolitas | Oligoceno a Mioceno Inferior (34 a 23 M.a) | ústico, isotérmico | Ondulado a escarpado (>15%) | Cedro, Tirrá, Burío, Burío, Capulín Guarumo, (<i>Cecropia obtusifolia</i>) | Ultisoles |

poco profundos, ácidos, amarillos. Procesos de formación de estos Inceptisoles son la iluviación, lixiviación, lavado, formación de humus, descomposición, síntesis y erosión superficial.

Los suelos Ultisoles de esta parte de la Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña se hallan sobre litologías volcánicas (lavas basálticas, andesíticas, andesitas basálticas) y sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio). Químicamente, estas rocas volcánicas del Plioceno son intermedias en cuanto al contenido de sílice (cuarzo) y muestran olivinos, piróxenos, feldespatos, plagioclasas cálcicas (rocas basálticas) a plagioclasas de carácter intermedio y sódicas (Andesitas). Las rocas sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio) son de origen marino del Oligoceno al Mioceno Medio. En algunos sectores de rocas sedimentarias pueden presentar grietas rellenas por arcillas que de acuerdo con el análisis difractométrico, son esmectitas y caolines mal cristalizados (ICE 2005). La meteorización de estos materiales parentales produce abundantes óxidos de hierro (hematita y limonita) que proporcionan colores rojos y amarillos a los suelos de la región.

En general, la textura superficial de los suelos en la subcuenca es 69% moderadamente fina a fina, 28% media y 3% gruesa. En el subsuelo el 96% es arcilloso, el 2% es de textura mediana y el 2% es de granulometría gruesa.

El régimen climático presenta 2 períodos: uno seco de diciembre a marzo y otro lluvioso de mayo a octubre, hay una transición entre el período seco y lluvioso en abril y noviembre. Las regiones climáticas dominantes son el régimen de humedad de suelo ústico y el régimen de temperatura de suelo isomésico e isotérmico.

La elevación sobre el nivel del mar determina la cobertura vegetal de la subcuenca. La vegetación natural tiene una zonificación por piso altitudinal cerca de los 2300 m de altura y que separa el bosque Montano Bajo y Montano Alto. Los bosques Montanos Altos son llamados robledales (*Quercus*), aunque incluyen especies del género *Chusquea* y cipresillo (*Podocarpus*

macrotachyus). Algunos árboles importantes en el montano bajo son el cedro maría (*Calophyllum brasiliense*) y el tirrá (*Ulmus mexicana*). La zonación agroecológica también está delimitada por la elevación sobre el nivel del mar. Por encima de los 1800 m se observa ecoturismo de montaña, potreros, frutales de altura, hortalizas, flores, piscicultura y extracción artesanal de carbón, mientras que la parte media se usa con plantaciones de café.

Los principales tipos de relieve son las tierras montañosas de fuerte pendiente, con áreas de relieve suave que ocupan valles y terrazas de poca extensión.

Las principales unidades geológicas son del Terciario con litologías volcánicas (Grifo Alto), sedimentarias (Térraba), superficies menores de intrusivos (grupo Comagmático Talamanca) y de sedimentos no consolidados del Cuaternario.

La edad de formación por tipo de depósito que da origen al suelo varía entre el Holoceno y el Paleoceno Inferior a Mioceno Medio.

RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones expuestas, se hacen las siguientes recomendaciones:

Los promedios de las características químicas de los suelos de la cuenca muestran suelos ácidos de acuerdo con lo siguiente: pH bajo a moderadamente ácido, aluminio intercambiable alto, bajo porcentaje de saturación de bases, deficientes en calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, lo que se traduce en fertilidad actual baja. Consecuentemente la fertilización sostenida y el encalado periódico deben constituir prácticas corrientes de manejo aplicadas en forma controlada, adaptadas al tipo de uso de la tierra y los pastizales.

En relación con los contenidos de aluminio presente en la cuenca, se recomienda la implementación de parcelas de encalado que indiquen la dosis de cal más eficiente en relación con la respuesta del cultivo y el Al en el suelo.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO L.F., FERNÁNDEZ W. 2001. Climatología de la atmósfera libre sobre Costa Rica. *Tópicos de Meteorología y Oceanografía* 8(2):89-115.
- BARQUERO H., SÁENZ R. 1987. Mapa de aparatos de Costa Rica. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. Universidad Nacional s.p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- BLAKEMORE L.C., SEARLE P.L., DALY B.K. 1987. Method for chemical analysis of soil. *Soil Bureau Scientific*, N°. 2. pp. 45-46.
- BLASER J., CAMACHO M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus* spp.) del piso montano en Costa Rica. Proyecto CATIE/COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N°. 1. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- BOLAÑOS R.A., WATSON V. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica: según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. San José, CR, Centro Científico Tropical. 1:200 000. Color. (San José CR-2CM-5; Quepos CR-2CM-7).
- BRICEÑO J.A., PACHECO R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, UCR. 137 p.
- BUOL S., HOLE F.D., McCRAKEN R.J. 1989. Soil genesis and classification. 3ª ed. Iowa State University Press, Ames. USA. 446 p.
- CAMACHO M., OROZCO L. 1998. Patrones fenológicos de doce especies arbóreas del bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46(3):533-542.
- CHAVES V.M., UREÑA J.L., GUZMAN J.A., ALPIZAR Y., NÚÑEZ A. 2009. Caracterización de la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de café en Costa Rica: II- Los Santos Norte, Aserrí, Acosta, Desamparados, Cartago, Guarco. Heredia, Costa Rica. Instituto del Café de Costa Rica. 45 p.
- DENYER P., ARIAS O. 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *América Central. Revista Geológica de América Central* 12:1-59.
- DRIESE S.G., ORVIS K.H., HORN S.P., LI Z., JENNINGS D.S. 2007. Paleosol evidence for Quaternary uplift and the climate and ecosystem changes in the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 248:1-23.
- DRUMMONT M.K., BORDELON M., de BOER J.Z., DEFANT M.J., BELLON H., FEIGENSON M.D. 1995. Igneous petrogenesis and tectonic setting of plutonic and volcanic rocks of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica-Panamá, Central American Arc. *American Journal of Science* 295:875-919.
- FORSYTHE W. 1985. Física de suelos: manual de laboratorio. San José, CR, IICA. 212 p.
- HARRIS S.A. 1971a. Podsol development on volcanic ash deposits in the Talamanca range, Costa Rica. In *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Halsted Press. New York, USA. pp. 191-209.
- HARRIS S.A. 1971b. Quaternary vulcanicity in the Talamanca range of Costa Rica. *Canadian Geographer* 15(2):141-145.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1995. Fertilidad de suelo: Manual de laboratorio. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 112 p.
- HORN S.P., LEAGUE B.L. 2005. Registros de sedimentos lacustres de la vegetación del Holoceno e historia del fuego en el páramo de Costa Rica. *Páramos de Costa Rica*, pp. 253-273. M. Kappelle, S.P. Horn (eds). Editorial INBio. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- HORN S.P., SANDFORD R.L. 1992. Holocene fires in Costa Rica. *Biotropica* 24(3):354-361.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica), CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2000. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de los Santos. En Prensa.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). s.f. Descripción área de influencia PH Pirrís. San José, CR, UEN PSA. sp.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2002. Proyecto Hidroeléctrico Pirrís: Sitio de Presa. San José, CR, UEN PSA. v.1. 213 p.

- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2005. Excavación de la Presa. Informe Geológico-Geotécnico de Avance N° 1. San José, CR, UEN PSA. 54 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2007. Estudio de amenazas naturales y antrópicas en la cuenca del Río Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 83 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1962. Hoja cartográfica Vueltas (3344 IV). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1963. Hoja cartográfica Tapantí (3345 III). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1989. Hoja cartográfica Caraiques (3345 II). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50,000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1994. Hoja cartográfica Dota (3344 I). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50,000. Color.
- INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad) 2001. Caracterización de la vegetación de la cuenca del río Savegre. Informe Técnico. Costa Rica. 118 p.
- ISLEBE G.A., HOOGHMSTRA H., van't VEER R. 1996. Holocene vegetation and water level history in two bogs of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Vegetatio* 124(2):155-171.
- KAPPELLE M., JUÁREZ M.E. 1995. Agroecological zonation along an altitudinal gradient in the montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica, pp. 215-247 In: *Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus Forests*, CR. University of Amsterdam.
- KAPPELLE M., van UFFELEN J.G., CLEEF A.M. 1995. Altitudinal zonation of montane *Quercus* forest along two transects in the Chirripó National Park, Costa Rica, pp. 55-106. In: *Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus forest*, Costa Rica. University of Amsterdam.
- KESEL R.H., SPICER B.E. 1985. Geomorphological relationships and ages of soils on alluvial fans in the río General valley, Costa Rica. *Catena* 12:149-166.
- KUSSMAUL S. 1987. Petrología de las rocas intrusivas neógenas de Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central* 7:83-111.
- LAMBE W., WHITMAN R. 1998. *Mecánica de suelos*. México DF, Editorial Limusa. 563 p.
- Le MAITRE R.W. 2002 (ed.). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2 ed. Cambridge University Press. 236 p.
- LINKIMER L., AGUILAR T. 2000. Estratigrafía sedimentaria, pp. 42-63. In: P Denyer, S Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MORA S., VALVERDE R., BRENES G. 1985. Análisis geológico-geomorfológico de la Cuenca del Río Pirrís (Parrita). Cartago, CR, ITCR. 44 p.
- MUÑOZ A.C. 2002. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog.* 9(1):1-13.
- ORVIS K.H., HORN S.P. 2005. Los glaciares cuaternarios y el clima del cerro Chirripó, Costa Rica. Instituto nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, pp. 185-213.
- PELT E., CHABEAUX F., INNOCENT C., NAVARRE A.K., SAK P.B., BRANTLEY S.L. 2008. Uranium-thorium chronometry of weathering rinds: rock alteration rate and paleo-isotopic record of weathering fluids. *Earth and Planetary Science Letters* 276:98-105.
- SANCHO F., NUÑEZ J. 1985. Estudio de suelos. Secciones I y II de la Cuenca del Río Parrita. San José, CR, UCR. 167 p.
- RICHARDS L.A. 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Science* 51:377-386.
- SOIL SURVEY STAFF 2006. *Soil taxonomy: A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Tenth ed. Washington DC, USDA. 341 p.
- SOLANO J., VILLALOBOS R. 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climáticos de Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog.* 8(1):26-39.
- USDA-NRCS (National Soil Survey Center; Natural Resource Conservation Service; US Department of Agriculture). 2002. *Field book for describing and sampling soils*. Lincoln, Nebraska, USA. s.p.
- VAHRSON G. 1991. Taller de erosión de suelos. Resultados, comentarios y recomendaciones. *Agronomía Costarricense*. 15 (1/2):197-203.

- van UFFELEN J.G. 1993. A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría, Wageningen University, Wageningen. 72 p.
- WALKLEY A., BLACK C.A. 1938. An examination of Degtjareffs method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.
- WIDMER Y. 1998. Soil characteristics and *Chusquea* bamboos in the *Quercus* forests of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH*. V64. pp. 3-14.
- WILLIAMSON G.B., SCHATS G.E., ALVARADO A., REDHEAD C.S., STERNER R.W. 1986. Effects of repeated fire on tropical paramo vegetation. *Tropical Ecology* 27(1):62-69.