

Universidad de Costa Rica



Facultad de Ciencias Agroalimentarias

**Programa de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales**

**Curso: SP-6394
Seminario de Proyecto de Tesis**

**Profesores: Manuel Zeledón Grau
Ronny Barboza M.**

**Proyecto de Tesis de Maestría
con énfasis en Suelos**

**Jorge A. Leiva
Ing. Forestal ITCR
A27993**

**Dr. Oscar J. Rocha
Escuela de Biología
Profesor Consejero**

II Semestre 2003

Regeneración arbórea y variación edáfica en una cronosecuencia de bosques secos tropicales en el Noroeste de Costa Rica

Jorge Armando Leiva ^α
A27993

Introducción

Antes de la colonización española, el bosque seco tropical (BST) llegó a ser uno de los ecosistemas boscosos de mayor extensión en Mesoamérica (Janzen 1988). Los procesos ecológicos de estos bosques están determinados principalmente por la estacionalidad que establece una época seca severa de al menos 3 meses (Murphy y Lugo 1986). Además, se reconoce al fuego como un factor común en la dinámica sucesional de este ecosistema (Janzen 1988).

Actualmente, el BST se considera el ecosistema más amenazado del trópico y en Costa Rica esto no es la excepción (Janzen 1988). Las actividades ganadera y maderera que se han desarrollado en el Pacífico Norte costarricense, han sido las principales causas de la pérdida de este bioma (León *et al.* 1982, Maas 1995).

Para revertir esta pérdida, el Área de Conservación Guanacaste (ACG) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica, ha implementado exitosamente estrategias de conservación y establecimiento de corredores biológicos en esta región del país. La labor de recuperación del BST ha incluido la creación de parques nacionales y corredores biológicos (Janzen 1986), manejo de áreas de amortiguamiento, programas de control de incendios y educación ambiental (ACG 2004), así como reforestación con especies forestales nativas (Gerhardt 1994). Gracias a la protección perpetua y la restauración de estos ecosistemas alterados por el hombre, el ACG fue declarada por la UNESCO como sitio de Patrimonio Natural de la Humanidad (UNESCO 2004).

A pesar del alto grado de impacto que el BST ha sufrido en Mesoamérica, el ACG constituye un ejemplo esperanzador para recuperar ecosistemas que antes se creyeron prácticamente eliminados. Esto se debe a la valiosa regeneración arbórea que se ha establecido en este paisaje fragmentado, la cual es parte de un proceso restaurador de

^α Tesiario del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Maestría con énfasis en Suelos.

ecosistemas vegetales y animales (Guariguata y Ostertag 2001). La regeneración arbórea está determinada por factores como: el banco de semillas del suelo, la vegetación remanente del sitio, el impacto del uso previo de la tierra, los patrones fenológicos, los ambientes de luz, los patrones de polinización y dispersión, así como la variación en las propiedades edáficas (Guariguata y Ostertag 2001).

Los diversos tipos de suelos que se presentan en los bosques del Pacífico Norte de Costa Rica, son el resultado de 5 factores formadores que han interactuado para definir sus propiedades y limitaciones. Esos factores son definidos por Buol y colaboradores (1989) como factores de estado: material mineral inicial y relieve, así como factores de flujo: clima y organismos. Estos factores ejercen su influencia a través del tiempo, que se considera como otro factor formador de suelos. La interacción conjunta de estos 5 factores formadores determina en gran parte las propiedades de un suelo.

El efecto que tienen las propiedades del suelo sobre la regeneración arbórea ha sido poco estudiado en los bosques tropicales, pero es innegable su influencia sobre la distribución y abundancia de las especies arbóreas tropicales (Clark *et al.* 1998, Clark 2002). El conocimiento de esta relación constituye una valiosa información para futuros programas de reforestación con especies nativas, planificación del uso de la tierra y el planeamiento de proyectos de investigación.

El objetivo general del estudio es identificar eventuales influencias de las características edáficas sobre la regeneración arbórea en cada uno de los bosques estudiados, basándose en las diferencias en la composición y riqueza de especies, el desarrollo de los estratos verticales (crecimiento en altura), así como en la distribución espacial de los individuos (densidad y clases diamétricas).

Para lograr lo anterior se requiere identificar la composición del componente arbóreo de varios bosques secos tropicales, en un gradiente de seis edades aproximadas: menos de 10, 15, 20, 30, 60 y más de 100 años. Adicionalmente, se pretende realizar un estudio detallado de los suelos presentes en los bosques estudiados, y analizar su geomorfología, así como sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Objetivo General

- Caracterizar la regeneración arbórea establecida en una cronosecuencia de bosques secos tropicales en el Pacífico Norte de Costa Rica y relacionarla con las variaciones de los factores edáficos de cada sitio.

Objetivos específicos

- Identificar una cronosecuencia de seis edades aproximadas de regeneración arbórea, en bosques secos tropicales en el Pacífico Norte de Costa Rica.
- Describir la geomorfología de los suelos presentes en cada bosque analizado.
- Cuantificar variables químicas, físicas y biológicas de los suelos de cada bosque.
- Comparar la estructura de la vegetación arbórea (estratos verticales, área basal, distribución diamétrica) según la variación edáfica en los sitios de estudio.
- Comparar la riqueza y distribución de especies arbóreas según la variación edáfica en los sitios de estudio.

Revisión de literatura

La siguiente revisión pretende establecer una visión general sobre el BST, aunque se aprovechan estudios realizados en bosques húmedos y lluviosos del neotrópico. La revisión está dividida en varios apartados, en los que se desarrollan temas como la ubicación y el estado actual del BST, el proceso de regeneración de los bosques secundarios y primarios, los factores y procesos formadores de suelos y el sistema de clasificación *Soil Taxonomy*.

Todos los temas anteriores están enfocados en facilitar la comprensión del tema del presente estudio. El mismo consiste en analizar si los factores o propiedades del suelo influyen sobre la distribución y riqueza de las especies arbóreas del bosque seco tropical, así como sobre su proceso de regeneración.

El bosque seco tropical centroamericano

Ubicación y estado actual

En la región centroamericana existen alrededor de 28 zonas de vida, subtropicales y tropicales. A pesar de este gran mosaico de diversidad ecológica, alrededor de la mitad del área centroamericana se encuentra en la zona de vida BST. Este ecosistema se encuentra en áreas libres de nevadas, donde las precipitaciones tienen un promedio entre 250 y 2000 mm·año⁻¹, la biotemperatura promedio anual es >17 °C y la razón entre evapotranspiración potencial y precipitación (EPT:P) está entre 1 y 2 (Holdridge 1978).

El BST llegó a cubrir el pacífico de Mesoamérica, abarcando un área aproximada de 543.000 km², desde el Norte de México hasta el centro de Panamá (Figura 1). Por ende, el BST constituyó al menos la mitad de los bosques tropicales presentes en Mesoamérica (Janzen 1986). Para 1988, en el área quedaba alrededor del 2% del área original cubierta por este ecosistema, lo que lo convierte en el ecosistema boscoso tropical más degradado (Janzen 1988). Esta degradación se ha debido principalmente a que la mayoría de la población en Centroamérica se ha concentrado en regiones de bosques secos y húmedos (Tosi y Voertman 1964, citados por Murphy y Lugo 1995). Esto se debe a que el BST es más fácil de cortar (para fines agrícolas y ganaderos), la maleza y vegetación sucesional son menos agresivas y existe una menor incidencia de enfermedades en humanos (Murphy y Lugo 1986).

En Costa Rica, el impacto sobre el BST ha estado acorde con la realidad centroamericana, donde esta zona de vida se ha perdido casi en su totalidad. Esto se debe a los siglos de haciendas ganaderas y el auge de la exportación de carne a EUA en las décadas de los 50, 60 y 70 del siglo anterior. Además, la deforestación acelerada ha impactado más al Noroeste del país que a cualquier otra zona (Kleinn *et al.* 2002).

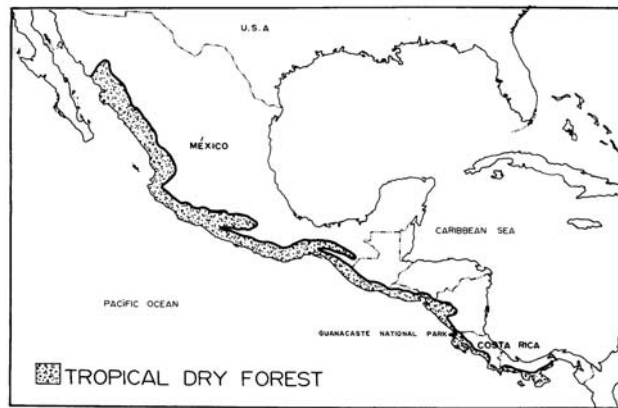


Figura 1. Extensión original del bosque seco tropical en Mesoamérica. Tomado de Janzen (1986).

Estacionalidad y fenología

La mayoría de los ecosistemas del trópico y subtropical tienen periodos de sequía estacional (Bullock *et al.* 1995). En el Pacífico centroamericano se presentan alrededor de 6 meses secos por año (Murphy y Lugo 1995), pero puede experimentarse una alta variabilidad en la distribución y cantidad de lluvia por año. Este periodo sin lluvias genera un déficit hídrico significativo en la vegetación del BST, pues determina en gran parte los patrones fenológicos de los árboles (Frankie *et al.* 1974, Reich y Borchert 1984, Holbrook *et al.* 1995).

Características estructurales y funcionales

El BST comparado con el bosque húmedo tropical (BHT), tiene una menor riqueza de especies, menor complejidad, menor número de estratos verticales y menor área basal (Murphy y Lugo 1986). Además, posee menor cantidad de biomasa aérea y radical, pero desarrolla un mayor porcentaje de biomasa radical respecto del porcentaje de biomasa total (Cuadro 1). El BST tiene una productividad primaria que corresponde entre 50 y 75% de la del BHT, lo que está relacionado con el porcentaje del tiempo en que el crecimiento se ve limitado por el déficit hídrico.

Cuadro 1. Características estructurales y funcionales de los bosques secos y húmedos de las zonas tropicales y subtropicales.

| Características | Tipo de bosque | |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| | Seco ^a | Húmedo ^b |
| Estructurales | | |
| Número de especies | 35-90 | 50-200 |
| Índice de complejidad ^c | 5-45 | 180-405 |
| Altura del dosel (m) | 10-40 | 20-84 |
| Número de estratos verticales | 1-3 | ≥ 3 |
| Área basal (m ² ·ha ⁻¹) | 17-40 | 20-75 |
| Biomasa vegetal (ton·ha ⁻¹) | 78-320 | 269-1186 |
| % Biomasa radical | 8-50 | <5-33 |
| Funcionales | | |
| Productividad primaria neta (ton·ha ⁻¹ ·año ⁻¹) | 8-21 10-25 ^d | 13-28 10-35 ^d |
| Producción de hojarasca (ton·ha ⁻¹ ·año ⁻¹) | 3-10 | 5-14 |
| Crecimiento diametral (mm·año ⁻¹) | 1-2 | 2-5 o más |
| Periodos de crecimiento | 1-2 por año | Continuo |
| Permanencia del follaje | Deciduo y siempre verde | Generalmente siempre verde |
| Fenología reproductiva | Estacional y no estacional | Menos estacional |

Tomado de Murphy y Lugo (1986).

^a Precipitación anual: 500-2000 mm, estacional, relación EPT:P >1.

^b Precipitación anual >2000 mm, poco a moderadamente estacional, relación EPT:P <1.

^c Calculado como el producto del número de especies, área basal (m²/0,1 ha), altura máxima, número de individuos/0,1 ha, por 10⁻³, en una parcela de 0,1 ha (Holdridge 1979).

^d Jordan (1985), citado por Montagnini y Jordan (2002).

Por otra parte, la dinámica del reciclaje de nutrientes del BST es muy similar a la encontrada en los bosques húmedos, donde la eficiencia del uso del N y el P es extremadamente alta (Jaramillo y Sanford 1995). Se ha encontrado que la eficiencia del uso del P es mayor en el BST, lo que compensa la poca fertilidad de los suelos presentes en estos bosques y el periodo de sequía marcada.

El proceso de regeneración del bosque seco tropical

Dinámica de la regeneración en bosques secundarios

Según Finegan (1997), los bosques secundarios se desarrollan a partir del abandono de un terreno previamente utilizado en actividades agropecuarias. En esos terrenos se empieza a dar una colonización inicial de especies herbáceas de crecimiento rápido (“Fase de colonización”). Posteriormente, comienzan a establecerse especies arbóreas que permanecen en el bosque algunos años, generalmente hasta 20 años, y que se les reconoce como las especies pioneras (“Fase de pioneras efímeras”). Luego, bajo el dosel de las especies efímeras se establecen otras especies, adaptadas a crecer en condiciones de sombra pero que necesitan mucha luz para poder alcanzar el dosel. Esta fase se llama “fase de pioneras durables”.

Esto es aplicable tanto para la zona de vida BST, como para el BHT (Finegan 1992). Asimismo, en otro modelo de regeneración propuesto por Guariguata y Ostertag (2001), se agrega una fase final a las fases mencionadas, donde el bosque expresa su “madurez ecológica” (Cuadro 2).

En trabajos desarrollados sobre pasturas agrícolas abandonadas (Amazonas brasileño), el proceso inicial de colonización vegetal dependió de los siguientes factores: (a) el banco de semillas del suelo, (b) la vegetación remanente luego de haber abandonado el sitio y (c) el destino de semilla luego de ser dispersada (Silva *et al.* 1996, citado por Guariguata y Ostertag 2001).

Otros estudios sugieren más factores incidentes durante la colonización inicial, como: (d) las diferencias fenológicas en la disponibilidad de la semilla y su longevidad en el suelo, (e) las limitaciones en la dispersión (Saldarriaga *et al.* 1988) y (f) la disponibilidad de luz en el sotobosque (Clark *et al.* 1996, Nicotra *et al.* 1999).

Cuadro 2. Modelo conceptual de las fases de regeneración de bosques secundarios neotropicales.

| Fase | Vegetación del dosel | Escala temporal (años) | Características que modifican las fases |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| Colonización inicial | Zacates, hierbas y helechos | 1-5 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Vegetación remanente (Banco semillas, rebrotes, árboles remanentes). 2. Clima y microclima. 3. Distancia al bosque, topografía. 4. Características del sitio (compactación del suelo, disponibilidad de nutrientes, micorrizas, intensidad uso del suelo). 5. Interacción de las especies (depredación de semillas, herbivoría, perchaje de las aves, patógenos, competencia, patrones fenológicos). |
| Desarrollo temprano | Pioneras de vida corta | 5-20 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Biomasa de raíces pequeñas se asemeja a la del bosque maduro. 2. Cierre del dosel. 3. Altas tasas de producción de hojarasca. 4. Rápida acumulación de biomasa. 5. Acumulación de especies y la posibilidad de que la riqueza de especies del sotobosque sea similar a la de los bosques maduros. |
| Desarrollo tardío | Pioneras de vida larga | 20-100 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Disturbios de pequeña escala son más frecuentes, particularmente los claros pequeños en el dosel. 2. Dominio de regeneración avanzada. 3. Mayor acumulación de nutrientes en la biomasa, menores tasas de producción de hojarasca. 4. Baja heterogeneidad en los niveles de luz en el sotobosque |
| Bosque de crecimiento antiguo | Especies tolerantes a la sombra | 100-400 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alta heterogeneidad espacial de los niveles de luz en el sotobosque 2. Alta incidencia de claros grandes en el dosel 3. Presencia de árboles grandes 4. Composición de especies del dosel muy diversa |

Tomado de Guariguata y Ostertag (2001).

Dinámica de la regeneración en bosques primarios

Por otra parte, los bosques primarios o antiguos, son aquellos ecosistemas vegetales que se han desarrollado durante periodos largos de tiempo, donde la intervención humana ha sido poca o nula y donde interactúan numerosos componentes bióticos y abióticos. La mayoría de autores concuerdan que las estrategias de regeneración de bosques primarios que condicionan el establecimiento inicial, se encuentran determinadas por: (a) la tasa de formación de claros (Brokaw 1982), (b) la disponibilidad de luz dentro del bosque (Denslow 1987, Nicotra *et al.* 1999), (c) los procesos fenológicos, (d) la deposición de semilla, (e) la depredación y destrucción de semillas (Dirzo y Domínguez 1995) y (f) la mortalidad. A continuación se presenta una síntesis de algunos de estos factores.

La formación de claros. Un claro es una discontinuidad o hueco en el perfil del bosque, siendo los límites del mismo los bordes de las copas de los árboles que rodean la apertura del dosel (Brokaw 1982). La dinámica de los claros está determinada principalmente por la acción de factores externos como el viento, tormentas, incendios, derrumbes y algunos tipos de animales; pero al mismo tiempo el tamaño y el estado senil de un árbol pueden generar su caída (Richards 1996). El claro incrementa la cantidad de luz disponible para las plantas en las partes bajas del bosque, aumentando la temperatura y los flujos de viento (Whitmore 1989, Runkle 1989). Esto genera cambios sustanciales en el microclima del suelo, lo cual incide directamente en los individuos y especies que se establecen (Whitmore 1989).

La lluvia de semillas. Los vectores dispersores bióticos y abióticos interfieren o favorecen constantemente la deposición de las semillas en el piso del bosque. Generalmente, las estructuras florales y frutales de los árboles del trópico están adaptadas evolutivamente para que los animales sean atraídos a comerlas, con la posibilidad implícita de preparar la dispersión de la progenie. En el caso del BST del Noroeste de Costa Rica, la mayoría de especies leñosas son dispersadas por animales y por el viento (Gillespie 1999).

Área de Conservación Guanacaste: la recuperación de un ambiente degradado

En Costa Rica como en el resto de Mesoamérica, el BST ha sido sometido a una explotación mayor que cualquier otra zona de vida del trópico (Murphy y Lugo 1986). Esto ha generado un paisaje fragmentado donde se mezclan asentamientos humanos, zonas agrícolas e industriales, áreas silvestres protegidas y propiedades privadas. Actualmente existen muy pocos sitios donde se conservan áreas de BST estacional. Entre los principales reductos se encuentran el Parque Nacional Santa Rosa (PNSR), el Parque Nacional Guanacaste (PNG) y las zonas aledañas a los mismos.

Por ejemplo, la creación del PNG se dio por Decreto Ejecutivo del MIRENEM (actual Ministerio del Ambiente y Energía), el 9 de Julio de 1991 (SINAC 2004). El PNG protegería un área de alrededor de 700 km², que junto con la extensión del Parque Nacional Santa Rosa (212 km²) y la Reserva Forestal Orosí (96 km²), totalizarían alrededor de 1008 km² bajo protección estatal (McLarney 1988). Según Janzen (1986), esta es un área suficientemente grande como para mantener y recuperar a perpetuidad este singular ecosistema. Es importante señalar que los principales núcleos de regeneración están en el PNSR, donde se vienen realizando ambiciosos programas de recuperación de áreas degradadas de bosque, combate de incendios y adquisición de tierras para protección. La adquisición de tierras para el PNG fue realizada gracias al aporte económico de organizaciones como The Nature Conservancy, la Fundación Neotrópica y la Fundación de Parques Nacionales. Esta labor se vio facilitada por varios factores, especialmente el abandono paulatino de las haciendas por sus suelos poco fértiles y los endeudamientos de las pocas familias propietarias (Janzen 1987, McLarney 1988).

Otro ejemplo interesante dentro del ACG, lo constituye la Hacienda El Pelón de la Altura (HPA), una propiedad privada donde actualmente se está desarrollando un programa habitacional ecológico, junto con una serie de programas de reforestación en pasturas ganaderas abandonadas y recuperación de bosques secos ^a. La HPA limita al Noroeste con el PNG y constituye un caso ejemplar de manejo de zonas de amortiguamiento de Parques Nacionales. El complejo habitacional de la HPA pretende establecer una comunidad consciente de la naturaleza que le rodea, así como del patrimonio histórico que albergan los

^a Negrini, A. 2004. Hacienda el Pelón: historia y futuro (entrevista). San Pedro, CR. Comunicación personal.

terrenos donde será establecida. Esto se debe a que la hacienda tiene evidencias de sitios arqueológicos. Además, cuenta con más de 300 años de historia, que abarca el desarrollo de la Batalla de Santa Rosa en 1856 y personajes como Minor C. Keith (constructor del antiguo Ferrocarril al Atlántico) (Koutnik 2002).

Los factores formadores del suelo en el Noroeste de Costa Rica

Factores de estado: material inicial y relieve

En Costa Rica se distinguen cuatro unidades geológicas principales (Castillo 1991): (i) las rocas volcánicas y sedimentarias del Mesozoico; (ii) las rocas volcánicas y sedimentarias del Terciario; (iii) las rocas plutónicas del Cretácico y Terciario; y (iv) las rocas volcánicas y sedimentarias del Cuaternario.

Las rocas presentes en la Vertiente Pacífica de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, forman parte de la última unidad geológica mencionada. En esta vertiente se encuentran las formaciones Bagaces, Liberia y Cote; así como las rocas no diferenciadas que forman los conos volcánicos de la cordillera (Figura 4). En estas formaciones se han desarrollado suelos sobre un material inicial llamado rocas ignimbríticas. Estas corresponden a las formaciones Bagaces y Liberia, cuyas rocas fueron depositadas en erupciones volcánicas violentas, llamadas flujos piroclásticos (Bergoeing 1998). Actualmente, estas coladas tienen espesores variables que van desde los 40 a 100 m de profundidad.

Las rocas de la formación Bagaces (QTb, Figura 2), cuyo origen tomó parte durante el Pleistoceno, son ignimbríticas de tipo dacítico a cuarzo-latítico en algunas secciones (Castillo 1991). La composición química de estas rocas es ácida a medianamente ácida, de naturaleza calcoalcalina, donde las más frecuentes son riolitas y riodacitas (Bergoeing 1998). Estas rocas tienen la particularidad de tener una composición mineral semejante a las cenizas volcánicas, pero con una deficiencia de nutrientes mayor. Esto sucede especialmente con el P, debido a la fijación química de fosfatos (Buch 1988).

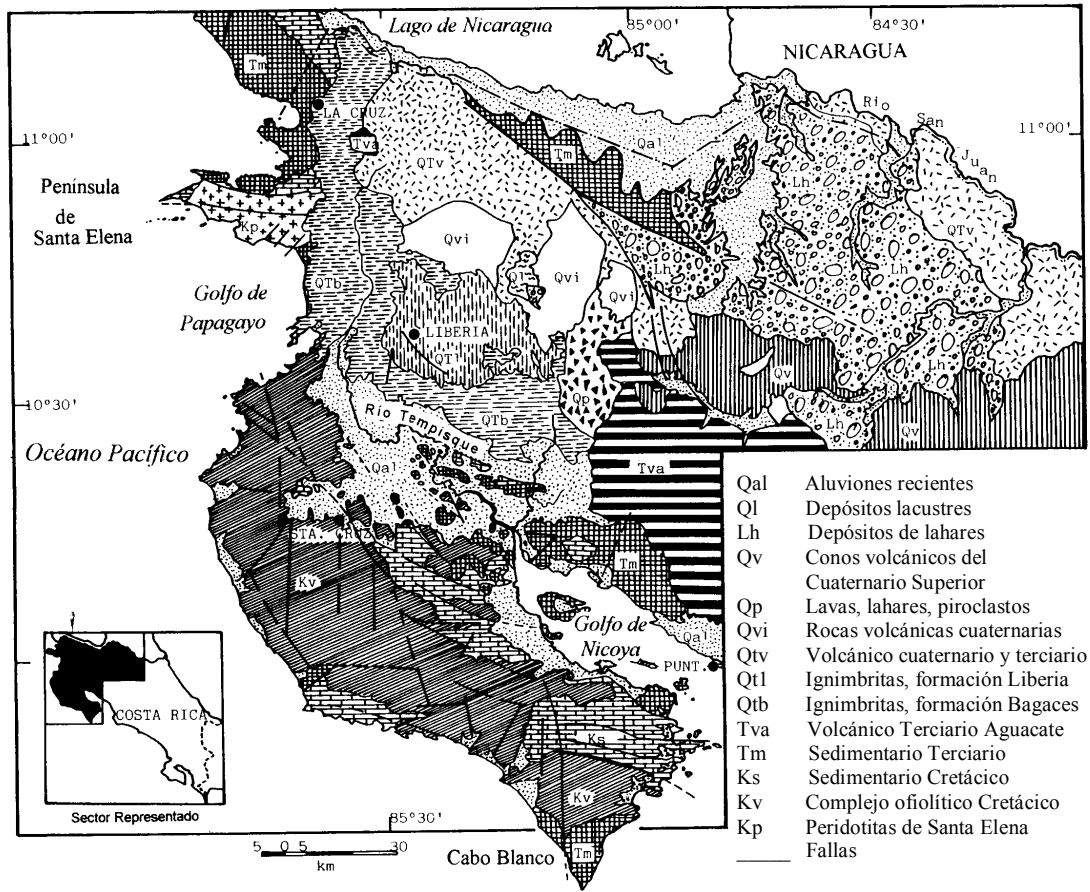
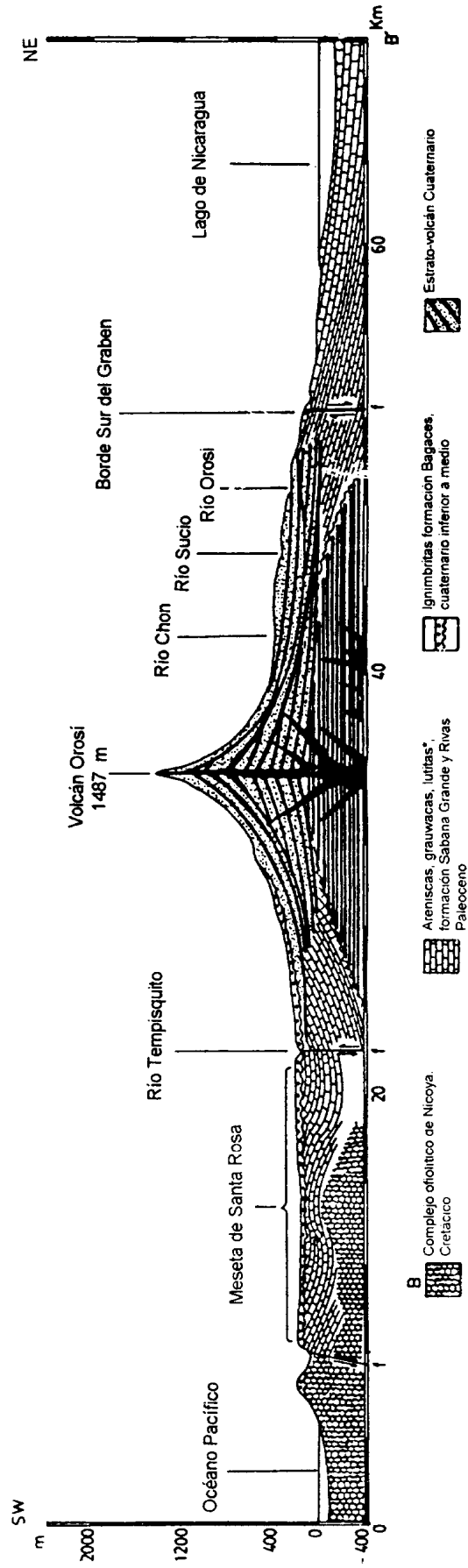


Figura 2. Mapa geológico del Noroeste de Costa Rica. Tomado de Bergoeing (1998).

En la Figura 4 se muestran las principales geoformas del Pacífico Norte de Costa Rica. La formación de ignimbritas se extiende a los pies de la Cordillera Volcánica de Guanacaste. Así, la vertiente que se extiende hacia el Suroeste de la cordillera puede dividirse en tres sectores: los cráteres volcánicos desbocados hacia el Oeste, el área de pastoreo altitudinal y la meseta ignimbrítica (Bergoeing 1998).

Las deposiciones ignimbríticas mencionadas, fosilizaron el relieve colinado que existió durante el Eoceno, constituyendo las formaciones Santa Rosa, Liberia y Bagaces. Esta configuración del paisaje se muestra en el corte geológico de la Figura 3. La meseta de Santa Rosa es más elevada que las demás (>300 msnm) y posee evidencias de antiguos depósitos lacustres del Río Tempisque. La formación situada al Norte del cañón del mismo río está limitada por la quebrada Aserradero al Noroeste. Sobre la misma formación existen zonas planas (mesetas) disectadas por ríos (Ej.: Río Tempisquito), los cuales desaguan en el sector Norte y Oeste, a los pies del Volcán Orosí.



El corte geológico va desde el océano Pacífico hasta el lago de Nicaragua. Al Suroeste, encontramos las rocas volcánicas Cretácicas del Complejo de Nicoya sobre las cuales reposan en discordancia las ignimbritas* plio-cuaternarias de la formación Bagaces. La meseta topográfica de Santa Rosa no es sino la continuación lógica de las ignimbritas* que reposan en discordancia sobre las series plegadas del Cretácico Superior Paleoceno-Eoceno. El volcán Orosí, con su cono perfecto es un estrato volcán Cuaternario que marca el comienzo de la cordillera Volcánica de Guanacaste.

Figura 3. Corte geológico NE-SO que muestra la meseta ignimbrítica de Santa Rosa a los pies del volcán Orosí. Tomado de Bergoeing (1998).

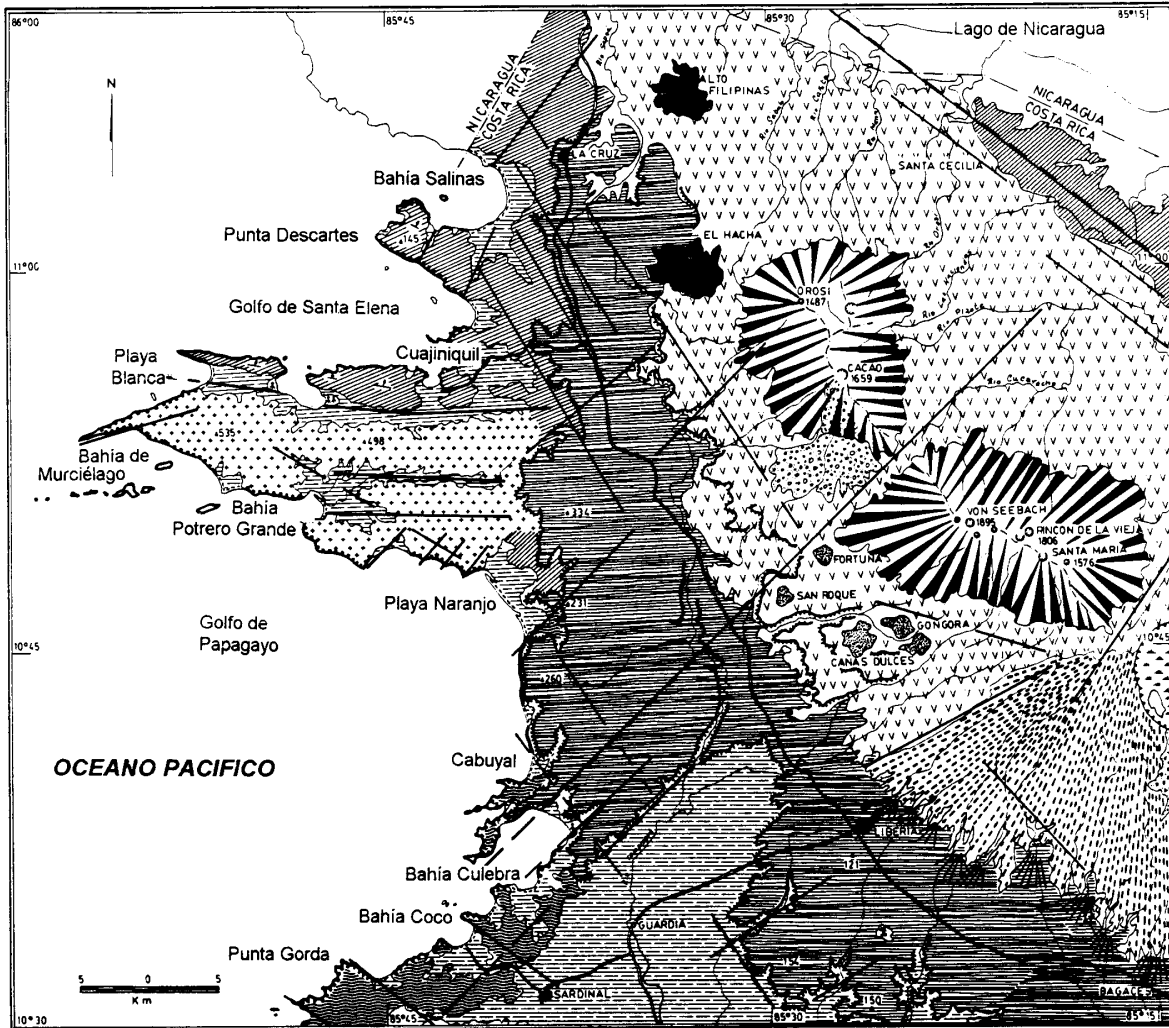
Factores de flujo: clima

El Noroeste de Costa Rica se ve sometido a un clima tropical marcadamente estacional, con épocas seca y lluviosa muy definidas. Este patrón es consistente en el Pacífico de América Central (Murphy y Lugo 1995). En la zona de vida BST, común del Noroeste de Costa Rica, la precipitación anual varía entre 1500 y 1950 mm, la temperatura media anual entre 24 y 27,8 °C, la biotemperatura media anual entre 24 y 24,5 °C y el periodo seco fluctúa entre 3,5 y 5 meses o más (Hartshorn 1991).

Otro punto importante a considerar dentro de los factores formadores del suelo, es el clima edáfico presente en la zona. El mismo se define con base en los regímenes de humedad y temperatura, propuestos por el Soil Survey Staff (1999). En este caso, la región de estudio está sometida a un régimen de temperatura isohipertérmico, es decir con una temperatura media anual >22 °C y con una diferencia menor de 6 °C entre las temperaturas medias de la época seca y lluviosa (Figura 5).

El régimen de humedad corresponde al Régimen Ústico (Soil Survey Staff 1999), pues bajo las condiciones ambientales imperantes en la región, es de esperarse que el suelo se encuentre seco en alguna o todas sus partes por 90 días acumulativos o más (en años de clima normal). Esto ocurre principalmente entre Diciembre y Abril; sin embargo, el suelo puede estar húmedo por más de 180 días acumulativos o 90 días o más consecutivos; como podría suceder durante el periodo entre Mayo y Noviembre.

En el trabajo desarrollado por Wambeke (1987), se utilizó un modelo desarrollado por Newhall en 1972 para subdividir más finamente los 5 regímenes de humedad propuestos para estudios de suelos. En este trabajo se desarrollaron listas y mapas de México, Centroamérica y el Caribe; donde se clasificaron los regímenes de humedad y temperatura en decenas de estaciones meteorológicas. Para el caso del PNSR, su estación clasificó como un régimen de humedad “Udic Tropustic”, una categoría propuesta en el trabajo. El autor señala que en esta categoría la sección control del suelo permanece seca en alguna o todas sus partes por más de 3 meses acumulativos, pero al menos 9 meses consecutivos hay agua disponible. El régimen de temperatura no fue cambiado.



1) Costa rocosa elevada sin acantilados vivos. 2) Costa rocosa elevada con acantilados vivos. 3) Cordón arenoso flandense. 4) Llanura de nivel de base. 5) Manglar. 6) Peridotitas de Santa Elena. 7) Terrenos vulcano-sedimentarios cretácicos del complejo de Nicoya. 8) Terrenos sedimentarios cretácicos eocenos. 9) Volcán El Hacha, probablemente Plioceno. 10) Domos dacítico de Cañas Dulces. 11) Meseta de ignimbritas de La Cruz - Santa Rosa - Liberia. 12) Coladas principales andesíticas alteradas. 13) Grandes conos volcánicos cuaternarios con cráteres. 14) Principales fracturas 15) Cono-glaciés ignimbrítico de la caldera de Guayabo. 16) Depósitos de lahares. 17) Principales escarpes (en particular borde de la meseta de ignimbritas).



Figura 4. Geoformas del Pacífico Norte de Costa Rica. Tomado de Bergoeing (1998).

La clasificación “Udic Tropustic” es muy similar al régimen ústico mencionado, pero elimina la posibilidad de que haya 180 días acumulativos de humedad en el suelo. Además debe existir una mayor cantidad de días húmedos consecutivos (9 meses o 270 días) en la sección control del suelo.

Factores de flujo: organismos

En cuanto a las características de los organismos de la zona, se puede comenzar con el BST y algunas de sus especies arbóreas comunes. Este bosque es semicaducifolio, tiene una altura media de 25 m y está dividido en dos estratos verticales. Las copas de los árboles son planas y anchas, sus troncos son cortos, con un diámetro amplio y de corteza gruesa, escamosa y agrietada (Hartshorn 1991). La cobertura del suelo es bastante rala, las epífitas son escasas, abundan los bejucos leñosos, flexibles y de tallos delgados.

En un estudio de Burnham (1997), desarrollado en un bosque antiguo del PNSR, se encontró que el 74.8 % del área basal de los árboles mayores a 10 cm de diámetro estaba comprendida en ocho especies de un total de 56 encontradas en el estudio. El trabajo buscaba encontrar una correlación entre las especies dominantes y la hojarasca del bosque. Las especies más comunes del estudio integran una lista muy similar a la que puede encontrarse en el dosel de los bosques maduros de la región (Poveda y Sánchez-Vindas 1999). Ellas son: *Quercus oleoides* (Roble encino), *Hymenaea courbaril* (Guapinol), *Manilkara zapota* (Nispero), *Sloanea ternifolia* (Paleta), *Luehea* sp. (Guácimo), *Ficus* sp. (Higuerón), *Dilodendron costarricense* (Come negro) y *Calycophyllum candidissimum* (Madroño).

Por otra parte, existe un proceso de formación muy evidente en los suelos de los bosques secos que se denomina pedoturbación (Buol *et al.* 1989), el cual consiste en una mezcla constante de la matriz del suelo, ocasionada principalmente por artrópodos.

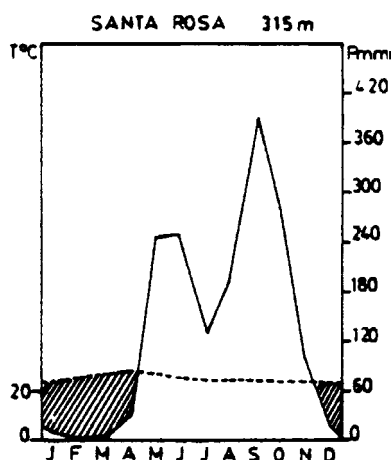


Figura 5. Diagrama ombrotérmico de Santa Rosa. Tomado de Bergoeing (1998).

Esto sucede por la presencia de megahormigueros de *Atta cephalotes* (Zompopas), así como por hormigas del género *Azteca* que usan los troncos de *Samanea saman* (Cenízaro) y *Cecropia* spp (Guarumo) como sostén de sus hormigueros (Carrol 1991, Stevens 1991).

El tiempo como factor formador del suelo

La meseta ignimbrítica del Guanacaste actual, es el resultado de varios procesos eruptivos de modelado que han ocurrido en los últimos tres millones de años (Bergoeing 1998). Las fases presentadas en el Cuadro 3, son una descripción breve del posible desarrollo temporal de las tobas (ignimbrita), que es el material inicial de los suelos que se han formado en esta región.

Con base en el cuadro se podría suponer que los suelos desarrollados sobre la formación Bagaces tienen un material genético con una edad entre 160 mil y 12 mil años, relacionada a las últimas deposiciones de ignimbritas que se presentaron en la zona durante el Cuaternario Superior. De esta manera, es muy probable que los suelos desarrollados en el Pacífico Norte de Costa Rica han tenido un tiempo relativamente amplio para la formación de suelos maduros, es decir suelos que presentan horizontes maestros B (Buol *et al.* 1989).

Cuadro 3. Periodos geológicos de formación de la meseta ignimbrítica de Guanacaste.

| Periodo | Duración * | Descripción |
|-----------------------------|-------------------|---|
| Mioceno | 18-3 | Se forman colinas sedimentarias Paleocenas-Eocenas que comienzan a emerger formando islotes. |
| Plioceno | 3-2 | La región se encuentra totalmente emergida, se dan los primeros derrames de ignimbritas. |
| Cuaternario Antiguo | 2-0,6 | Formación de Cordillera Volcánica de Guanacaste, continúan derrames de ignimbritas, hay depósitos lacustres en las mesetas de Santa Rosa y Liberia. |
| Cuaternario Medio | 0,6-0,160 | Nueva fase volcánica ácida, más depósitos de ignimbritas. |
| Cuaternario Superior | 0,160-0,012 | Depósitos de ignimbritas entre Santa Rosa y Bagaces, se fractura la formación en escarpes de falla. |
| Holoceno | 0,012-0,006 | Descanso de actividad volcánica, aparece ser humano. |

Adaptado de Bergoeing (1998).

* Millones de años.

El sistema de clasificación de cuerpos de suelo “Soil Taxonomy”

Principios

Todos los sistemas de clasificación de suelos tienen por objetivo proveer la mayor cantidad de información con el menor esfuerzo cognoscitivo. Por otra parte, el ordenamiento de la información que se obtiene del suelo, facilita el trabajo y la toma de decisiones técnicas (Buol *et al.* 1989). El sistema “Soil Taxonomy”, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), utiliza características diferenciadoras o diagnósticas para definir cada tipo de suelo (Soil Survey Staff 1999). Asimismo, el sistema no enfatiza el origen o génesis inicial del suelo para establecer las categorías de clasificación (Buol *et al.* 1989).

El sistema “Soil Taxonomy” puede considerarse de inclusión totalitaria, pues pretende clasificar todos los suelos del globo. En otras palabras, el sistema pretende llegar a clasificar todos los medios naturales que permiten el desarrollo y crecimiento de las plantas. Estos medios de desarrollo o suelos tienen una morfología característica expresada en una sección vertical con horizontes, resultado de diferentes procesos genéticos.

Las características diagnósticas

Las características diagnósticas (CD) están expresadas en los horizontes o capas de un perfil de suelo y constituyen la guía principal para definir la categoría de un cuerpo de suelo. Entiéndase por *horizonte* como una capa relativamente paralela a la superficie del suelo y *perfil* como aquella exposición vertical de la corteza terrestre, cuyas capas han sido alteradas por diversos factores y procesos formadores de suelo (Soil Survey Staff 1999).

Las CD se identifican en los horizontes maestros del suelo (A, B, C, E, O), con el fin de establecer su posición dentro del perfil (Mejía 1983). Asimismo, muchas de las CD tienen rangos cuantitativos como espesor, % materia orgánica y % de materiales minerales. El objetivo de esta revisión de literatura no es ahondar detalladamente en cada una de las CD, pero más adelante se mencionarán algunas CD principales que definen a los órdenes de suelos propuestos por el sistema de clasificación (Cuadro 5).

Estructura del sistema

El sistema “Soil Taxonomy” está dividido en seis categorías: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie. Las mismas asignan propiedades a los suelos, desde niveles de abstracción generales hasta niveles específicos. En el Cuadro 4 se resumen las diferencias más notorias de cada categoría, las cuales sientan las bases para implementar el sistema taxonómico. Cada una de las categorías está basada en propiedades cualitativas y cuantitativas que dan sentido jerárquico a la clasificación. El sistema se emplea de manera ordenada (de Orden a Serie) y debe tenerse en cuenta que algunas CD no son aplicables a ciertos órdenes de suelo.

Para definir correctamente el “nombre” o nomenclatura de un suelo en particular, se utilizan “elementos formadores” extraídos de raíces latinas y griegas, principalmente (Soil Survey Staff 1999). Los elementos formadores se disponen de manera inversa a las categorías del sistema. Por ejemplo, si un suelo se clasifica como *Ultic Haplustalfs*, nos encontramos frente a un suelo clasificado como del orden Alfisol (raíz alf), del suborden Ustalfs (con régimen de humedad ústico), del gran grupo Haplustalfs (con horizonte argílico) y del subgrupo Ultic (suelos con características intermedias entre los grandes grupos Haplustalfs y Hapludults).

Cuadro 4. Naturaleza de las características diferenciadoras de las categorías del sistema de clasificación de suelos “Soil Taxonomy”.

| Categoría | Características diferenciadoras |
|-------------------|---|
| Orden | Procesos formadores. Según la presencia de horizontes con características diagnósticas. |
| Suborden | Homogeneidad genética. Según propiedades asociadas a humedad del suelo, material parental, vegetación, residuos orgánicos. |
| Gran grupo | Subdivisión del Suborden según el tipo, arreglo y grado de expresión de horizontes. Además cantidad de bases, regímenes de temperatura y humedad, así como presencia de capas diagnósticas. |
| Subgrupo | Indica intergradaciones a otros Grandes grupos, Subórdenes y Órdenes. Además, extragradaciones a cuerpos de “no suelo” |
| Familia | Indica clases texturales, mineralógicas y de temperatura |
| Serie | Tipo y arreglo de horizontes; color, textura, estructura, consistencia, pH; además propiedades químicas y mineralógicas |

Tomado de Buol *et al.* (1989).

Principales órdenes de suelo en el mundo y en el ACG

En el Cuadro 5 se expone la llave simplificada para identificar los 12 órdenes (nivel más general de clasificación) de suelos propuestos por el sistema “Soil Taxonomy”. Asimismo, se agregan los elementos formadores de cada orden y su denotación en el sistema.

Según el Mapa General de Suelos de Costa Rica (Vásquez 1991), en una escala muy general, los suelos presentes en el ACG pueden clasificarse en 3 categorías:

- (i) Suelos de relieve ondulado (con pendientes de 3-15%) tipo B-3, formados sobre las tobas volcánicas. Su profundidad es de moderada a poca, de color parduzco, de texturas medias a moderadamente livianas, con drenaje bueno a excesivo y de baja fertilidad (Inceptisoles).
- (ii) Suelos residuales de relieve colinado (con pendientes de 15-40%) tipo C-2, moderadamente profundos a profundos, muy erodados, pardo rojizos, de texturas medias a pesadas, con drenaje externo excesivo y de baja fertilidad (Inceptisoles, Ustalfs).
- (iii) Suelos muy erodados de relieve montañoso (con pendientes >50%) tipo D-3, poco profundos y donde aflora la roca madre (Orthents).

Además, según el trabajo de Buol *et al.* (1989), los suelos de la parte NO de Guanacaste se relacionan con “suelos de montaña”, tipo “X4”, de alta variación en distancias cortas. Estos suelos se encuentran relacionados con grandes grupos ústicos de Alfisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles. Esta descripción de órdenes para el ACG, puede extraerse del mapa mundial de distribución de Órdenes y Subórdenes del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de 1972.

Otro estudio de suelos de la zona, fue desarrollado por Winters (1997) en la Estación Experimental Horizontes, ubicada al Sur del PNSR. El estudio no estaba enfocado a clasificar los suelos según el sistema *Soil Taxonomy*, sino en identificar tipos y génesis de suelos, según descripciones morfológicas y mineralógicas. Se identificaron siete tipos morfológicos de suelos, donde predominaron los de textura arcillosa (relacionados con ignimbritas densas), con excepción de dos tipos que tuvieron textura franca y francoarenosa (relacionados con ignimbritas de estructura suelta). El tipo de suelo más extenso estuvo relacionado con posiciones de relieve plano y cimas de colina, que correspondieron con

suelos de colores oscuros en todo el perfil y grietas durante la época seca (probablemente Vertisoles). Estos suelos son comunes en paisajes sometidos a climas marcadamente estacionales (Buol *et al.* 1989).

Cuadro 5. Llave simplificada de órdenes de suelo del mundo.

| Orden | Características Diagnósticas | Elemento formador | Significado |
|--------------------|--|--------------------------|---|
| Gelisols | Suelos con materiales gélicos ¹ y con presencia de “permafrost” ² . | <i>el</i> | L. ^a <i>gelare</i> , congelar |
| Histosols | Suelos con >30% de materia orgánica, hasta una profundidad >40 cm. Por lo general están saturados con agua. | <i>is</i> | Gr. ^b <i>histos</i> , tejido |
| Spodosols | Suelos con horizonte espódico en los primeros dos metros de profundidad, que ha acumulado materia orgánica, Fe y Al. | <i>od</i> | Gr. <i>spodos</i> , ceniza de madera |
| Andisols | Suelos derivados de cenizas volcánicas, con propiedades ándicas ³ en >35cm de su espesor. | <i>and</i> | Jap. ^c <i>ando</i> , suelo negro |
| Oxisols | Suelos muy meteorizados, sin grandes diferencias entre sus horizontes. Poseen un nivel de nutrientes muy bajo. | <i>ox</i> | Fr. ^d <i>oxide</i> , óxido |
| Vertisols | Suelos con >30% de arcilla en todos los horizontes. Cuando secos presentan grietas a 50 cm de profundidad. | <i>ert</i> | L. <i>verto</i> , voltear |
| Aridisols | Otros suelos que permanecen secos >50% del año. Suelo de desierto, con poca materia orgánica. | <i>id</i> | L. <i>arid</i> , seco |
| Ultisols | Suelos con hte. argílico ⁴ , con baja saturación de bases. | <i>ult</i> | L. <i>ultimus</i> , último |
| Mollisols | Suelos alta concentración de nutrientes, con htes. Profundos y mucha materia orgánica. | <i>oll</i> | L. <i>mollis</i> , suave |
| Alfisols | Suelos enriquecidos con arcilla, de pH moderado, con un nivel moderado de nutrientes. | <i>alf</i> | <i>Pedalfer</i> : término edafológico |
| Inceptisols | Otros suelos sin horizontes diagnósticos bien diferenciados. | <i>ept</i> | L. <i>inceptum</i> , comienzo |
| Entisols | Suelos de origen reciente, con htes. poco desarrollados. No clasifican en ningún orden anterior. | <i>ent</i> | Sin significado, <i>reciente</i> |

Adaptada de Soil Survey Staff (1999).

¹ Materiales orgánicos y minerales que muestran evidencia de crioturbación (mezcla de la matriz del suelo por efecto del congelamiento y descongelamiento).

² Material que permanece a temperaturas <0 °C durante al menos 2 años consecutivos.

³ Presencia significativa de minerales secundarios amorfos como alofana, imogolita, ferrihidrita o complejos órgano-minerales; todos comunes a la meteorización del vidrio volcánico.

⁴ Horizonte del subsuelo con un porcentaje significativamente mayor de arcilla que el horizonte suprayacente, con evidencias de movimiento de arcilla o iluviación.

^a Latín, ^b Griego, ^c Japonés, ^d Francés.

En este mismo estudio (Winters 1997) se realizaron análisis mineralógicos que encontraron un predominio del mineral secundario caolinita, con excepción del suelo de características vérticas donde dominó la esmectita, mineral altamente expansible al absorber agua. El mineral secundario halloisita también estuvo presente. Como conclusión, el autor consideró que las primeras fases de meteorización del material inicial están más determinadas por el clima y los contenidos de cristales en el mismo. Mientras que conforme avanza el proceso otros factores se vuelven más determinantes, como la posición topográfica y la hidrología (Winters 1997).

Efecto de los factores edáficos en la distribución y riqueza de las especies arbóreas tropicales

Consideraciones iniciales

A nivel global, la distribución de las especies vegetales en ecosistemas silvestres poco alterados, se encuentra determinada por factores como la incidencia de energía solar y las precipitaciones (Currie 1991). Pero cuando se estudian escalas espaciales más pequeñas, intervienen otros factores como la temperatura, el paisaje y los suelos (Latham y Ricklefs 1993).

Según Clark (2002), en las regiones tropicales existen pocos estudios que relacionen los cambios en distribución de las especies arbóreas, según los cambios en los factores edáficos. Este tipo de estudios se ha visto obstaculizado por una serie de factores: la naturaleza compleja de los suelos, la variabilidad edáfica en distancias cortas, la cantidad elevada de especies raras en los trópicos y dificultades estadísticas en el análisis de los factores mencionados (Clark 2002). Además, el mismo autor señala que pueden existir otros “factores no edáficos” que pueden afectar la distribución de las plantas dentro de un bosque. Entre ellos se señala: la historia biogeográfica de los grupos de plantas y animales (es decir, sus patrones evolutivos), el factor del azar y el impacto de los asentamientos humanos pasados.

Los factores edáficos afectan la distribución espacial de las especies arbóreas

En un resumen desarrollado por Huston (1997), se discute la diversidad de las especies vegetales según la fertilidad del suelo. En este estudio se muestra que la relación diversidad-fertilidad podría tener tres formas: (i) en suelos poco fértiles la diversidad es

baja, luego (ii) conforme aumenta la fertilidad la diversidad aumenta y llega a un punto donde se mantiene; y por último (iii) se da una correlación negativa con el número de especies en suelos muy fértiles, donde las especies mejores competidoras son las predominantes. El mismo autor, en 46 sitios boscosos de Costa Rica, demostró que el número de especies correlacionaba negativamente con el índice de fertilidad usado en su estudio (Huston 1980).

Estos comportamientos podrían estar relacionados al modelo agronómico que establece una relación directa entre la productividad de un suelo y los niveles de nutrimentos. Cuando un nutrimento alcanza concentraciones elevadas, podría producirse un efecto tóxico para las plantas (Bertsch 1995).

Otros estudios demuestran una relación evidente entre la distribución de especies arbóreas según el tipo de suelo y posición topográfica, lo cual podría estar relacionado a la enorme riqueza de especies que tienen los bosques tropicales (Clark *et al.* 1998). Por ejemplo, Clark y colaboradores (1999) en la Estación Biológica La Selva (Sarapiquí, Costa Rica), analizaron 134 especies en 573 ha de bosque primario. Encontraron que aproximadamente 25% de las especies mostraron distribuciones no aleatorias respecto a cinco tipos de suelos: suelos residuales o ultisoles, suelos aluviales recientes, suelos aluviales antiguos, suelos pantanosos y suelos de quebrada). Es decir, estas especies “prefirieron” cierto tipo de suelo con respecto a los demás. De igual forma, un 10% de las especies tuvieron distribuciones no aleatorias respecto a las cuatro clases de posición topográfica analizadas: plana o en cima de ladera, pendiente alta, mitad de la pendiente y base de la pendiente. Curiosamente, las especies con “preferencias” edáficas no estaban relacionadas exclusivamente a un suelo en particular, sino que muchas especies estuvieron presentes en los demás tipos de suelos pero en menor densidad (Clark *et al.* 1999).

Metodología

Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localizará en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Específicamente, los sitios de estudio se ubicarán en bosques fragmentados dentro del Parque Nacional Santa Rosa (PNSR) y la Hacienda El Pelón de la Altura (HPA) ubicada al Sureste del PNSR.

Los bosques de esta zona del país están sometidos a una estación seca marcada de cinco meses, con un comportamiento deciduo en bosques de edades tempranas y semideciduo en bosques antiguos. Los sitios de estudio se encuentran en zonas de vida definidas como *Bs-t*, bosque seco tropical y *Bh-PV*, bosque húmedo premontano transición a basal (Bolaños y Watson 1993).

Establecimiento de la cronosecuencia

Las parcelas de estudio se establecerán en bosques secos secundarios y primarios de comportamiento deciduo y semideciduo, es decir su fenología (floración y fructificación) está definida por la caída de sus hojas durante la estación seca.

Se considerará como bosque secundario aquella vegetación arborescente que se establece en un potrero abandonado desde la última quema. Los bosques primarios corresponderán a bosques de edad aproximada mayor a 100 años y que fueron sometidos a extracción maderera en el pasado.

Se identificarán en el campo fragmentos de bosques con 6 edades aproximadas desde el abandono, buscando establecer una secuencia cronológica del proceso de regeneración (Cuadro 6). La extensión del fragmento se delimitará con la experiencia del personal del PNSR y la HPA.

Área de muestreo

El área de muestreo (AM) para cada bosque tendrá 1 ha de extensión, en las fases sucesionales de edad conocida y 0.5 ha en cada uno de los bosques antiguos (Cuadro 6). Por lo tanto, el área total a muestrear en el campo será de 6,5 ha.

Cuadro 6. Ubicación general de los bosques a inventariar.

| Nombre | Edad (años) | Ubicación | Área de muestreo (ha) |
|------------------------------|----------------------|------------------|------------------------------|
| El Jaragual | <10* | PNSR | 1,0 |
| Las Mesas | 15* | PNSR | 1,0 |
| Entrada a PNSR | 20* | PNSR | 1,0 |
| Los Cedros | 30* | HPA | 1,0 |
| San Emilio | 60* | PNSR | 1,0 |
| Poza de la Cueva | Antiguo ¹ | HPA | 0,5 |
| Bosque Húmedo | Antiguo ¹ | PNSR | 0,5 |
| Base Cero-Santa Elena | Antiguo ¹ | PNSR | 0,5 |
| Total | - | - | 6,5 |

* Definidas desde la última quema o abandono de pasturas ganaderas.

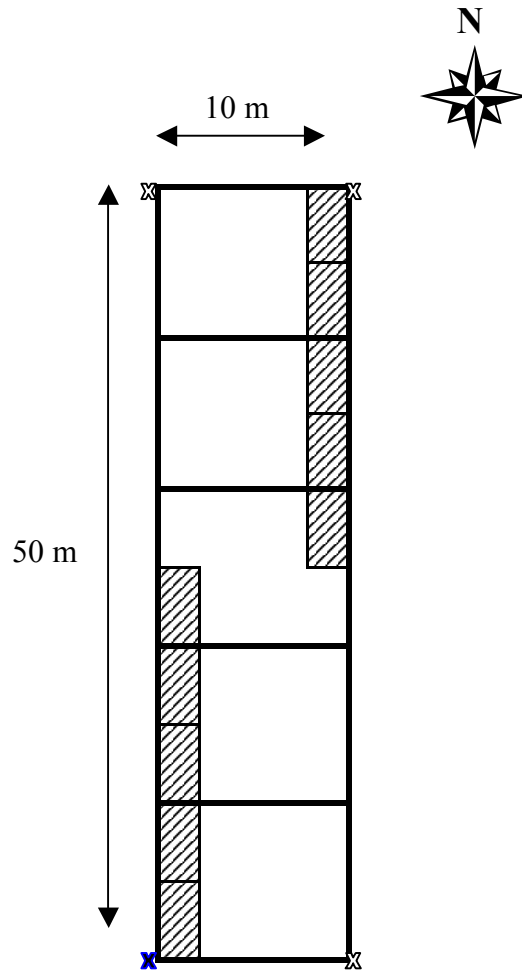
¹ Edad superior a 100 años, antiguamente intervenido (explotación maderera).

La unidad de registro (UR) consistirá en parcelas de 10x50 m, divididas en subparcelas de 10x10 m y de 1x5 m (Figura 6). Cada una de estas parcelas tendrá un total de 500 m², por lo que en cada bosque se establecerán 20 UR (1 ha en total). Para los bosques con 0,5 ha de AM se establecerán 10 UR.

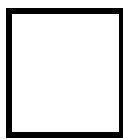
En total se establecerán 130 UR, las cuales se levantarán sistemáticamente en cada bosque utilizando un rumbo Norte franco. Si el sitio es plano, las UR se dispondrán en fila y con un distanciamiento de al menos 20 m (Figura 7A). Si el sitio es de relieve ondulado o con pendientes fuertes, las UR se establecerán de tal forma que representen: la cima, la mitad y la base de la pendiente (Figura 7B). Además, se evitará el establecimiento de parcelas en quebradas naturales y senderos.

En esta zona del país, los bosques secundarios tienen extensiones entre 20 y 40 ha^a. Los bosques de estudio contendrían un AM entre 0,5 y 1,0 ha, lo cual representaría una intensidad de muestreo entre 1,25 y 5,0 %, adecuada para las posibles extensiones de los fragmentos. En el Cuadro 7 se exponen las intensidades de muestreo (i) que se podrían presentar en los bosques estudiados, respecto al área total del fragmento de bosque.

^a Quesada, R. 2003. El bosque seco tropical secundario (entrevista). Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Comunicación Personal.



Donde:



Subparcela de 10x10 m (con vértices respectivos)



Vértice de ubicación temporal de la parcela



Punto de origen del sistema de coordenadas (0,0)



Subparcela de 1x5 m

Figura 6. Esquema de las unidades de registro del inventario florístico y el estudio de suelos, orientadas con un rumbo Norte franco.

Cuadro 7. Intensidades de muestreo (% de área a muestrear) para cinco extensiones hipotéticas de bosques secundarios y primarios.

| Área de muestreo (ha) | Tamaño del fragmento sucesional (ha) | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|------|-----|------|------|
| | 5 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| 0,5 ^a | 10,0 | 5,0 | 2,5 | 1,25 | 0,63 |
| 1,0 ^b | 20,0 | 10,0 | 5,0 | 2,50 | 1,25 |

^a AM para bosques antiguos.

^b AM para bosques de edad conocida.

Identificación y Medición de la Regeneración

La identificación de la regeneración se realizará con la ayuda de los paradendrólogos del PNSR, cuyo proyecto “Plantas” se está encargando de inventariar todas las especies vegetales que se encuentran dentro del ACG, en una base de datos digital^b. Además, se consultarán claves taxonómicas desarrolladas para esta zona del país (Poveda y Sánchez-Vindas 1999, Enquist y Sullivan 2001). Con base en las listas, se procederá a establecer un código de identificación para cada especie, con el objetivo de facilitar la anotación en el campo. El mismo estará conformado por las primeras 3 letras del género y la especie. Por ejemplo, la caoba (*Swietenia macrophylla*) se anotará como **Swimac**.

Tradicionalmente, el inventario forestal ha considerado 10 cm como el diámetro de referencia para realizar un inventario. Este diámetro a la altura de pecho (DAP) se mide a 1,3 m desde la base del árbol, de acuerdo con varias condiciones específicas del terreno y el individuo (Condit 1998). En los bosques secos guanacastecos este DAP ha tenido que reducirse a 5 cm^c. Por lo tanto, se propone utilizar este “umbral” como punto divisor de la medición.

Es decir, en el 100% del AM (en todas las UR) se medirán e identificarán los individuos con un DAP \geq 5 cm. En el caso de la regeneración con un DAP \geq 1 cm y $<$ 5 cm, se medirá el 10% del AM, es decir 50 m² en cada UR. Estos 50 m² corresponden a las subparcelas de 1 por 5 m establecidas en dos filas de 1 por 25 m dentro de cada UR (Figura 6). De esta

^b Chavarría, MM. 2003. Proyecto Plantas (entrevistas). PNSR, CR, Área de Conservación Guanacaste. Comunicación personal.

^c Quesada, R. 2003. El bosque seco tropical secundario (entrevista). Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Comunicación Personal.

forma se medirá la regeneración que se está estableciendo en los estratos inferiores de los bosques secundarios y los bosques antiguos.

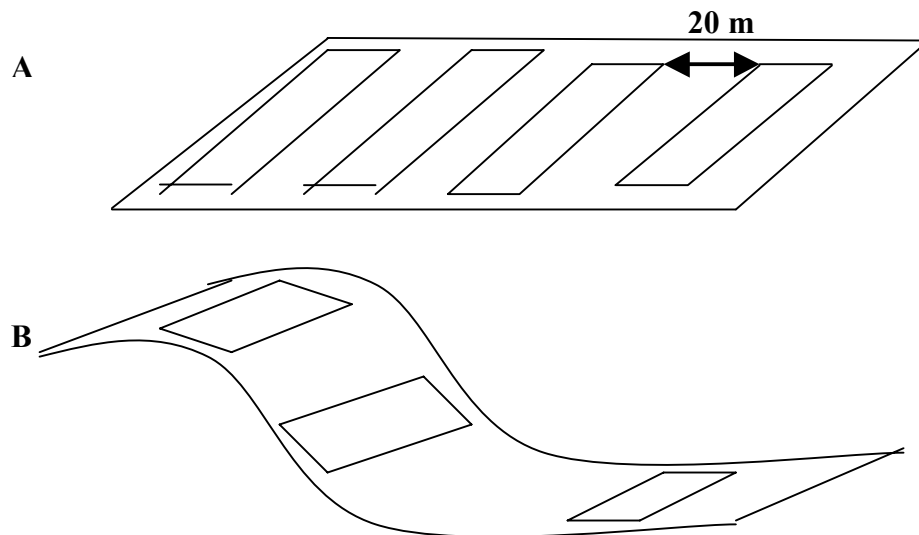


Figura 7. Esquema previo del establecimiento de las UR en parches de bosque hipotéticos, según las condiciones topográficas del sitio. A: Sitios planos, B: Sitios de relieve ondulado.

Estudio de Suelos

Descripción preliminar de suelos

En cada una de las parcelas se realizará una barrenada, es decir se obtendrá una muestra descriptiva preliminar del perfil del suelo, realizada con un barreno holandés. La ubicación del punto a barrenar se determinará eligiendo dos coordenadas xy , correspondientes a un número al azar entre 0 y 10, así como entre 0 y 50, respectivamente. Estos números están asociados a las dimensiones de las parcelas de muestreo, donde el punto de origen (coordenadas 0,0) será la esquina SO de cada UR (Figura 7). Es decir, se trabajará con una intensidad de muestreo de 20 observaciones por hectárea, lo cual constituye un estudio de suelos ultra detallado ^d. Este tipo de intensidad es adecuado para estudios de suelo (mapeo) de primer orden, es decir, estudios muy intensivos ubicados en parcelas experimentales (Soil Survey Division Staff 1993).

^d Mata, R. 2003. El estudio de suelos agronómico (entrevista). San José, CR, Centro de investigaciones Agronómicas. Comunicación personal.

Las barrenadas preliminares consisten en describir el paisaje circundante, así como delimitar los horizontes del suelo según su profundidad, color y textura (parte superior y primeras cuatro columnas del Cuadro 9). Todos los datos de las planillas de descripción (Cuadro 9), están definidos de acuerdo con los lineamientos establecidos por el USDA (Soil Survey Division Staff 1993).

Con base en esta información preliminar, se espera reconocer y definir los cuerpos edáficos dominantes (según la moda), así como determinar los sitios adecuados para abrir las calicatas que representarán los perfiles modales. Es decir, dentro del AM pueden llegar a existir varios pedones modales o cuerpos de suelo dominantes. Según las barrenadas preliminares realizadas hasta el momento, en cada bosque se presentan por lo general 2 perfiles modales (2 tipos de suelos con características diferenciadoras).

Entonces se procederá a describir en su totalidad cada perfil modal (según el Cuadro 9), tomando muestras de fertilidad y de caracterización. Al considerar los análisis físicos y químicos expuestos en la sección siguiente, se clasificarán los pedones a nivel de Subgrupo, según el sistema de clasificación de cuerpos de suelo *Soil Taxonomy* del USDA (Buol *et al.* 1989, Soil Survey Staff 1999).

Análisis químicos y físicos de suelos

Se tomarán muestras de cada horizonte de los perfiles modales, para los correspondientes análisis físicos y químicos. Estos análisis se realizarán en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), en la Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica. Las metodologías empleadas en los análisis se resumen en el Cuadro 8.

Relación de los factores edáficos y la estructura de cada bosque

Para establecer una relación entre la estructura del bosque y las características de los suelos presentes, es necesario asignar a cada una de las parcelas de 10x50 m el tipo de suelo que le corresponde. En el estudio de suelos preliminar, no solo se definirán los perfiles modales sino que se asignarán los tipos de suelo correspondientes para cada parcela.

Una vez asignado el tipo de suelo de cada UR se analizarán las diferencias en la estructura de la vegetación presente en tipos de suelo distintos. Se procederá de la siguiente forma:

Cuadro 8. Análisis químicos y físicos solicitados para las muestras de los perfiles modales identificados.

| Análisis solicitado | Metodología de extracción y/o determinación |
|--|--|
| CIC y Bases (Ca, Mg, K, Na) | Extraíbles en Acetato de Amonio 1N |
| Fe y Al Amorfos | Extraíbles en Oxalato de Amonio |
| % Materia Orgánica | Digestión húmeda, por el método Walkley y Black (Henríquez y Cabalceta 1999) |
| Curva de Retención de P | Según Díaz-Romeu y Hunter (1978) |
| pH en Agua | Determinación Potenciométrica |
| Ca, Mg, K, Acidez | Extracción en KCl |
| P, Cu, Fe, Mn, Zn | Extracción en solución Olsen Modificada, Determinación colorimétrica |
| Textura | Método Bouyoucos |
| Densidad Aparente, Densidad de partículas y Conductividad Hidráulica | Descrita según Henríquez y Cabalceta (1999) |

- *En cada sitio* o bosque analizado, se establecerán correlaciones entre los datos estructurales de las UR (área basal, altura promedio, distribución diamétrica, # especies, índices de diversidad) y los datos descriptivos de los *perfiles modales* de suelo presentes en el fragmento analizado (profundidad efectiva, pedregosidad, % pendiente). La misma relación se realizará con las características químicas y físicas (Acidez, Bases extractables, CIC, textura, estructura, porosidad). Esto se realizará para identificar diferencias significativas en la estructura de la vegetación de dos tipos de suelos, presentes en un bosque.
- En la secuencia cronológica establecida, se evaluará la recuperación de las características estructurales conforme aumenta la edad de la regeneración. Este tipo de análisis es muy utilizado para reconocer el cambio en estructura y diversidad que experimenta el bosque antes de alcanzar su madurez (Guariguata y Ostertag 2001).
- Se analizará el cambio de las características edáficas conforme avanza la edad de la sucesión, estudio similar al desarrollado por Alfaro (2001). Esto debe establecerse en perfiles edáficos que sean comparables entre sí (de clasificación similar) y que estén en fragmentos de bosque con edades distintas. Se analizará el efecto conjunto de la vegetación sobre las propiedades del suelo conforme avanza el proceso de sucesión.

Cuadro 9. Ejemplo de una descripción morfológica de campo para un perfil modal de suelo.

| | | | | | |
|-----------------------|--|--------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| Fecha | 27-Jun-03 | Unidad de manejo | V e12s123d1c24 | Proyecto | Tesis Maestría Jorge Leiva |
| Perfil No | 1 | Hoja o foto | | Zona de Vida | Bh-PV |
| Nombre del suelo | Bosque Santa Elena | | | Elevación | 300-400 |
| Clasificación | Dystric Haplustepts | | | Dirección de la pendiente | 90° |
| Localización | 2 km al N de la entrada principal del PNSR, Guanacaste, 10° 53' 49.60" LN, 85° 38' 27.69" LO | | | | |
| Fisiografía | Meseta ignimbrítica de Santa Rosa | Topografía | Meseta disectada por ríos | | |
| Gradiente | -32% | Vegetación/Cultivo | Bosque tropical deciduo, antiguamente intervenido | Relieve | Fuertemente ondulado |
| Fertilidad aparente | Baja | Clima | Ústico | Nivel freático | No |
| Material Parental | Ignimbritas riolíticas | Drenaje | Moderadamente excesivo | Sales/Alcali | No / No |
| Pedr/Roca Superficial | Fuertemente Pedregoso | Erosión | Leve a Moderada | | |
| Descripción | | | | | |

| Horizontes | Prof (cm) | Color (húmedo) | Textura | Estructura | Consistencia (hum) | Formaciones especiales | Pruebas especiales | Poros | Raíces | Límites |
|------------|-----------|--|---------|--|---------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| A | 0-14 | 7.5 YR 2.5/1 Café oscuro a Negro | FA | Blocosa subangular a Granular, Muy finos, Moderada | Friable, Adhesivo, Plástico | - | NaF (no) | Finos/Medios Comunes | Finas abundantes, Medias comunes | Gradual, Plano |
| Bw | 14-28 | 7.5 YR 3/2.5 Café oscuro | A | Blocosa subangular a Granular, Finos, Moderada | Friable, Adhesivo, Plástico | - | NaF (no) | Medios a Finos, Comunes a Pocos | Gruesas comunes, Finas pocas | Gradual, Ondulado |
| Bw2 | 28-53 | 7.5 YR 4.5/2 Café | A | Blocosa subangular a Finos a Muy finos, Débil a Moderada | Friable, Adhesivo, Plástico | Gravillas de la toba | NaF (leve) | Finos a Muy Finos, Comunes | Medias pocas | Gradual, Ondulado |
| BC | 53-77 | 7.5 YR 5/2 Café | FA | Blocosa subangular a Muy finos, Débil | Muy friable, Adhesivo, Plástico | Gravillas de la toba | NaF (leve) | Finos comunes, Medios pocos | Medias pocas | Gradual, Ondulado |
| C | 77-90 | Café grisáceo a 10YR 5.5/2 Griz cafézusco claro | FA | Masiva | Friable, Adhesivo, Plástico | - | NaF (leve) | Finos y Muy finos, Comunes | Medias pocas | Gradual, Ondulado |
| C2 | 90-103 | 10YR 5/2 Café grisáceo | FA | Masiva | Friable, Adhesivo, Plástico | - | NaF (leve) | Finos y Muy finos, Comunes | Medias pocas | Gradual, Ondulado |
| Cr | 103-174 | 5YR 6.5/1 Griz claro | - | | | | | | | |
| R | >174 | | - | | | | | | | |

Observaciones Parte del perfil expuesto es roca alterada (30%)
 Estimar la diferencia de elevación entre la parte alta y baja, para calcular el delta H (en el lado derecho del perfil)
 Cr se extrajo con barreno, contacto paraliítico a los 90 cm de profundidad

- Para las especies más abundantes de cada bosque, se realizarán análisis individuales, con el fin de relacionar su distribución (densidad) y características estructurales (desarrollo de altura y diámetro) con los tipos de suelo encontrados. Esto se hará para identificar eventuales influencias de los cuerpos de suelo en la distribución espacial de las especies.
- Se desarrollarán índices de similitud (índice de Jaccard) entre las parcelas con suelos similares, con el fin de establecer comparaciones con la vegetación presente en suelos de características distintas.

Financiamiento del estudio

El estudio propuesto se realizará gracias al financiamiento otorgado por el proyecto “Fundación Mellon Árboles Tropicales”, desarrollado en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. El proyecto es dirigido por los investigadores Dr. Marco Vinicio Gutiérrez y Dr. Oscar Rocha Núñez, ambos profesores de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias y de la Escuela de Biología, respectivamente. El financiamiento incluye: equipo de campo, transporte a todos los sitios de estudio y hospedaje en el PNSR.

Cronograma

En la Figura 6 se proponen los periodos aproximados para la realización del trabajo de campo y del trabajo escrito del proyecto de tesis. El mismo se encuentra dividido en semestres y corresponden a los periodos estimados en que se realizarán las actividades.

| Actividades | 2004 | | 2005 | | 2006 | |
|---|------|----|------|----|------|----|
| | I | II | I | II | I | II |
| Reconocimiento y delimitación de sitios de estudio | ■ | | | | | |
| Establecimiento de parcelas experimentales | | ■ | | | | |
| Muestreo preliminar de suelos | | | ■ | | | |
| Determinación y muestreo de perfiles modales de suelo | | | ■ | | | |
| Medición de la regeneración arbórea ≥ 5 cm dap | | | | ■ | | |
| Medición de la regeneración arbórea ≥ 1 y < 5 cm dap | | | | ■ | | |
| Procesamiento y análisis de la información | | | | ■ | ■ | |
| Redacción y revisión del documento | | | | | ■ | ■ |
| Presentación final de tesis | | | | | | ■ |

Figura 6. Cronograma de actividades propuesto para el desarrollo del proyecto de tesis.

Literatura consultada

- Alfaro, E. 2001. Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de bosque tropical seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 25(1):7-20.
- Área de Conservación Guanacaste. 2004. Programa de prevención y control de incendios forestales (en línea). Guanacaste, CR. Consultado 11 dic. 2004. Disponible en http://www.acguanacaste.ac.cr/1999/manejo_admin/fuegos.html
- Bergoeing, JP. 1998. Geomorfología de Costa Rica. Trad. C Vaglio. San José, CR, Instituto Geográfico Nacional. 409 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bolaños, RA; Watson, V. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica: según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de LR Holdridge. San José, CR, CCT. 1:200,000. Color. (Liberia)
- Brokaw, NVL. 1982. The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. *Biotropica* 15(2):125-128.
- Buch, MW von. 1988. Degradation of ignimbrite soils and the destruction of pine forests in Honduras. *Plant Research and Development* 28:32-46.
- Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. 1995. Introduction. *In* Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p 1-8.
- Buol, SW; Hole, FD; McCracken, RJ. 1989. *Soil Genesis and Classification*. 3 ed. Iowa, US, Iowa State University Press. 446 p.
- Burnham, RJ. 1997. Stand characteristics and leaf litter composition of a dry forest hectare in Santa Rosa National Park, Costa Rica. *Biotropica* 29(4):384-395.

- Carrol, CR. 1991. Azteca (Hormiga Azteca, Azteca Ants, Cecropia Ants). *In* Janzen, H. ed. Historia Natural de Costa Rica. Trad. M Chavarría. San José, CR, Editorial UCR. p. 703-705.
- Castillo, R. 1991. Geología de Costa Rica. *In* Janzen, H. ed. Historia Natural de Costa Rica. Trad. M Chavarría. San José, CR, Editorial UCR. p. 47-61.
- Clark, DA; Rich, PM; Weiss, S; Oberbauer, SF. 1996. Landscape-scale analyses of forest structure and understory light environments in a neotropical lowland rain forest. *Canadian Journal of Forest Research* 26:747-757.
- Clark, DB; Clark, DA; Read, JM. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. *Journal of Ecology* 86:101-112.
- _____; Palmer, MW; Clark, DA. 1999. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology* 80(8):2662-2675.
- _____. 2002. Los factores edáficos y la distribución de las plantas. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH. eds. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cartago, CR, LUR. p. 193-221.
- Condit, R. 1998. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots. Berlin, DE, Springer. 211 p.
- Currie, DJ. 1991. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *American Naturalist* 137:27-49.
- Denslow, JS. 1987. Tropical rain forests gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:431-452.
- Diaz-Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CR, CATIE. s.p.

- Dirzo, R; Domínguez, CA. 1995. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. *In* Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. eds. Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 304-325.
- Enquist, BJ; Sullivan, JJ. 2001. Vegetative key and descriptions of tree species of the tropical dry forests of upland Sector Santa Rosa. s.l. s.n.t. 68 p.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques secundarios neotropicales de las tierras bajas. Trad. R. Luján. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 30 p. (Serie técnica. Informe Técnico No 188)
- _____. 1997. Bases ecológicas para el manejo de los bosques secundarios de las zonas húmedas del Trópico Americano, recuperación de la biodiversidad y producción sostenible de madera. *In* Memorias del Taller Internacional sobre el estado actual y potencial de manejo y desarrollo del secundario en América Latina. Pucallpa, PE, American Printers. p. 106-119.
- Frankie, GW; Baker, HG; Opler, PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Ecology* 62:881-919.
- Gerhardt, K. 1994. Regeneration of disturbed tropical dry forest in Costa Rica: a synthesis of experiments and observations. *Acta Universitatis Upsaliensis* (39):1-20
- Gillespie, TW. 1999. Life history characteristics and rarity of woody plants in tropical dry forest fragments of Central America. *Journal of Tropical Ecology* 15:637-649.
- Guariguata, MR; Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148:185-206.
- Hartshorn, GS. 1991. Plantas. *In* Janzen, H. ed. Historia Natural de Costa Rica. Trad. M Chavarría. San José, CR, Editorial UCR. p. 119-160.
- 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.

- Holbrook, NM; Whitbeck, JL; Mooney, HA. 1995. Drought responses of neotropical dry forest trees. *In* Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. eds. Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 243-276.
- Holdridge, LR. 1978. *Ecología basada en Zonas de Vida*. San José, CR, Editorial IICA. 216 p.
- Huston, MA. 1980. Soil nutrients and tree species in Costa Rican forests. *Journal of Biogeography* 7:147-157.
- _____. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449-460.
- Janzen, H. 1986. *Guanacaste National Park: Tropical ecological and cultural restoration*. San José, CR, EUNED. 103 p.
- _____. 1987. How to grow a national park: basic philosophy for Guanacaste National Park, northwestern Costa Rica. *Experientia* 43(9):1037-1038.
- _____. 1988. Tropical dry forest: the most endangered major tropical ecosystem. *In* Wilson, EO. ed. *Biodiversity*. Washington DC, National Academic Press. p. 130-137.
- Jaramillo, VJ; Sanford, RL 1995. Nutrient cycling in tropical deciduous forests. *In* Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. eds. Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 346-361.
- Kleinn, C; Corrales, L; Morales, D. 2002. Forest area in Costa Rica: a comparative study of tropical forest cover estimates over time. *Environmental Monitoring and Assessment* 73:17-40.
- Koutnik, A. 2002. Hacienda El Pelón: a residential community in the tropical dry forest. *Costa Rica Outdoors* (Sep/Oct):26-27.

- Latham, RE; Ricklefs RE. 1993 Global patterns of tree species richness in moist forests: energy-diversity theory does not account for variation in species richness. *Oikos* 67:325-333.
- León, JC; Barboza, C; Aguilar, J. 1982. Desarrollo tecnológico de la ganadería de carne. San José, CR, CONICIT. sp.
- Maas, JM. 1995. Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture. *In* Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. eds. Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 399-422.
- McLarney, WO. 1988. Guanacaste: the dawn of a Park. *The Nature Conservancy Magazine* 38(1):11-15.
- Mejía, L. 1983. Pedología descriptiva: compendio de normas para el examen y descripción de suelos en el campo y en el laboratorio. Bogotá, CO, Universidad Nacional de Colombia. 176 p.
- Montagnini, F; Jordan, CF. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH. eds. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, CR, LUR. p. 167-191.
- Murphy, P; Lugo, AE. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:67-88.
- _____. 1995. Dry forests of Central America and the Caribbean. *In* Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. eds. Seasonally dry tropical forest. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 9-34.
- Nicotra, AB; Chazdon, RL; Iriarte, SVB. 1999. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology* 80(6):1908-1926.
- Poveda, LJ; Sánchez-Vindas, PE. 1999. Árboles y palmas del Pacífico Norte de Costa Rica: claves dendrológicas. San José, CR, Guayacán. 234 p.

- Reich, PB; Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Ecology* 72:61-74.
- Richards, PW. 1996. *The tropical rain forest: an ecological study*. 2 ed. Cambridge, US, Cambridge University Press. 575 p.
- Runkle, JR. 1989. Synchrony or regeneration, gaps, and latitudinal differences in tree species diversity. *Ecology* 70(3):546-547.
- Saldarriaga, JG; West, DC; Tharp, ML; Uhl, C. 1988. Long term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76:938-958.
- SINAC, 2004. Área de Conservación Guanacaste. San José, Costa Rica. Consultado 20 oct. 2004. Disponible en <http://www.sinac.go.cr/asp/acg/index.html>
- Soil Survey Division Staff, 1993. *Soil Survey Manual*. Washington DC, USDA. 437 p. (Handbook # 18)
- Soil Survey Staff, 1999. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2 ed. Washington DC, USDA. 871 p. (Agriculture Handbook # 436)
- Stevens, GC. 1991. *Atta cephalotes* (Zompopas, Leaf-cutting Ants). In Janzen, H. ed. *Historia Natural de Costa Rica*. Trad. M Chavarría. San José, CR. Editorial UCR. p. 701-703.
- UNESCO. 2004. World Heritage List: Área de Conservación Guanacaste (en línea). s.l. Consultado 20 dic. 2004. Disponible en <http://whc.unesco.org/pg.cfm?cid=31>
- Vásquez, A. 1991. Suelos. In Janzen, H. ed. *Historia Natural de Costa Rica*. Trad. M Chavarría. San José, CR, Editorial UCR. p. 63-65.

- Wambeke, A van. 1987. Soil Moisture and Temperature Regimes of Central America-Caribbean-Mexico. s.l. Department of Agronomy, Cornell University. p.irr. (SMSS Technical Monograph #16)
- Whitmore, TC. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70(3):536-538.
- Winters, AF. 1997. Soils on the Pleistocene ignimbrite Bagaces formation, Guanacaste, Costa Rica: a report on the results of two thesis. Wageningen, NL, Department of Soils Science and Geology. 68 p.