

20 OCT 2006

ALMACENAMIENTO DE CARBONO BID O EN ECOSISTEMAS TERRESTRES PARA MITIGAR ^{IICA} EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

RED DE INVESTIGACIÓN PARA EVALUAR
LA CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO
DE SISTEMAS DE PASTURAS,
AGRO PASTORILES Y AGRO SILVOPASTORILES
EN SUB-ECOSISTEMAS DEL BOSQUE TROPICAL DE AMÉRICA

Cooperación Holandesa CO-010402

ISBN
958-9386-49-0

AUTORES

María Cristina Amézquita
Enrique Murgueitio R.
César Augusto Cuartas
María Elena Gómez



CATIE *Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza*



WAGENINGEN UNIVERSITY



Universidad
de la
Amazonia
Florencia - Caquetá

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

- CIPAV: Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali, Colombia.
Representante legal y técnico: Dr. Enrique Murgueitio, Director Ejecutivo
- CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
Representante legal: Dr. Joachim Voss, Director General.
Representante técnico: Dr. Edgar Amézquita, Investigador.
- CATIE: Centro Agronómico Tropical para Capacitación y Enseñanza; Turrialba, Costa Rica.
Representante legal: Dr. Pedro Ferreira Rossi, Director General.
Representante técnico: Dr. Muhammad Ibrahim, Investigador.
- Wageningen University and Research Centre: Universidad y Centro de Investigación Wageningen, Wageningen, Holanda.
Representantes: Drs. Bram van Putten y Peter Buurman, Investigadores.
- Universidad de la Amazonia - Florencia, Colombia.
Representante legal: Dr. Luis Eduardo Torres García, Rector.
Representante técnico: Dra. Bertha Leonor Ramírez, Investigadora.

COMITÉ EJECUTOR DEL PROYECTO

- Dra. María Cristina Amézquita. Ph.D. en Ecología de la Producción y Conservación de Recursos. Directora Científica del Proyecto.
- Dr. Enrique Murgueitio. Director Ejecutivo CIPAV.
Administrador del Proyecto y Director Financiero.
- Dra. Bertha Leonor Ramírez. Ph.D. en Sistemas Agroforestales.
Universidad de la Amazonia.
- Dr. Edgar Amézquita. Ph.D. en Ciencias de Suelo. CIAT.
- Dr. Muhammad Ibrahim. Ph.D. en Agronomía. CATIE.
- Dr. Bram van Putten. Ph.D. en Matemáticas.
Wageningen University and Research Centre.
- Dr. Peter Buurman. Ph.D. en Química y Dinámica de Suelos.
Wageningen University and Research Centre.



CONSULTORES

- Profesor Dr. Leendert 't Mannetje. Ph.D. en Pasturas Tropicales. Wageningen University and Research Centre.
- Dr. Manuel Rodríguez, ex ministro del Medio Ambiente de Colombia. Consultor en Política Ambiental.

MIEMBROS DEL PROYECTO

- Investigadores de campo - Ecosistemas de laderas Andinas (Colombia).
María Elena Gómez. Agrónoma, M.Sc.- CIPAV.
Piedad Cuéllar. Investigadora participante, M.Sc.- CIPAV.
- Investigadores de campo - Bosque Tropical Semi - Húmedo (Costa Rica).
Tangaxhuan Llanderal. Ph.D. (Cand.), Agroforestería - CATIE.
Francisco Casasola. Agrónomo M.Sc. - CATIE.
Alexánder Navas. Agrónomo M.Sc. - CATIE.
- Investigadores de campo - Bosque Tropical Húmedo (Amazonia Colombiana).
Dra. Bertha Leonor Ramírez. Ph.D. en Sistemas Agroforestales.
Dr. Jaime Enrique Velásquez. Ph.D., Agronomía.
- B.Sc. estudiantes de la Universidad de la Amazonia.
Juan Carlos Suárez
Wilmar Yovany Bahamón
- Economista Ambiental.
José Gobbi. Economista Ph.D. - CATIE.
- Analista de base de Datos y Estadístico.
Héctor Fabio Ramírez. Estadístico.
- Muestreo de Suelos y Medición de la Biomasa.
Hernán Giraldo. Agrónomo.
- Asistente Ejecutivo.
Francisco Ruiz. Ingeniero Industrial. M.Sc. Economía.
- Estudios de Doctorado en Isótopos de Carbono.
Octavio Mosquera. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

ANÁLISIS DE LABORATORIO

- Muestras de Ecosistemas en Colombia: Laboratorio de Suelos CIAT.
- Muestras de Ecosistemas en Costa Rica: Laboratorio de Suelos CATIE.

COINVESTIGADORES

ECOSISTEMAS DE LADERAS ANDINAS

Mayerly Guzmán

Julián Giraldo

EDITORES

María Cristina Amézquita

Enrique Murgueitio

María Elena Gómez

DISEÑO GRÁFICO

José Antonio Riascos de la Peña

FOTOGRAFÍAS

José Antonio Riascos de la Peña

María Elena Gómez

Bertha Leonor Ramírez

César Augusto Cuartas

NASA (Foto de La Tierra en carátula)

IMPRESIÓN

Feriva S. A.

AGRADECIMIENTOS

A los dueños de las fincas donde se tomaron los datos.

Tiberio Giraldo, Reserva Natural El Ciprés, El Dovio, Valle del Cauca.

Graciela Guzmán, Finca Villa Victoria, Dagua, Valle del Cauca.

Ernestina Álvarez, Finca El Cambio, Dagua, Valle del Cauca.

Granja Balcanes, Universidad de la Amazonia, Florencia, Caquetá.

Granja Santo Domingo, Universidad de la Amazonia, Florencia, Caquetá.

Gustavo Silva, Finca La Guajira, Florencia, Caquetá.

Familia Escobar, Finca Pekín, Florencia, Caquetá.

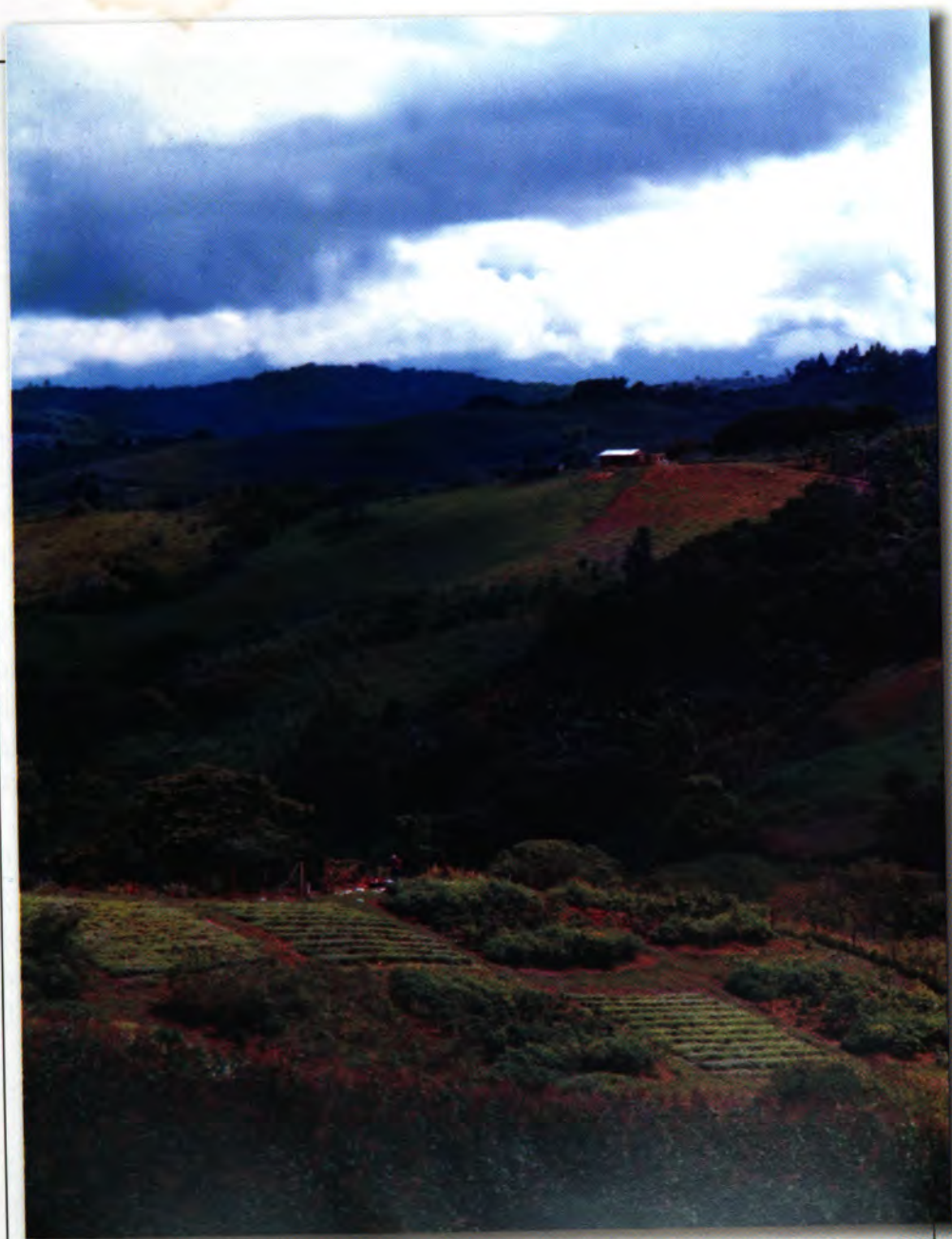
Rodrigo Silva, Finca La Palma, Florencia, Caquetá.

Antonio López, El Chaparrón, Esparza, Puntarenas, Costa Rica.

Universidad EARTH, Pocora, Limón, Costa Rica.

Raúl Botero Botero, Universidad EARTH, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN _____	7
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO _____	11
Objetivo del proyecto	12
Estrategias de investigación	13
Sub ecosistemas considerados	13
Sistemas a evaluar	14
Localización del proyecto	16
EL CARBONO _____	20
El carbono orgánico en el suelo	24
El suelo está compuesto por varias capas	26
LA DINÁMICA DEL CARBONO CON LOS DIFERENTES USOS DE LA TIERRA _____	29
Los bosques tropicales	30
Bosques en las áreas de estudio	32
DINÁMICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE PASTURAS O POTREROS _____	36
Pastura degradada	38
Caracterización química en los suelos de las pasturas degradadas	40
Pastura mejorada	42
Descripción de las especies investigadas en el proyecto	44
Pasturas mejoradas en el área de investigación	46
BANCOS MIXTOS DE FORRAJE _____	48
Especies que componen los bancos mixtos de forraje establecidos en los tres ecosistemas investigados	50
Conformación de los bancos forrajeros mixtos en las áreas de investigación	52
PARCELAS DE ÁRBOLES _____	55
ESPECIES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO _____	63
LECTURAS RECOMENDADAS _____	65



Parcelas de investigación del proyecto. Finca El Cambio, Dagua, Valle del Cauca, Colombia.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es uno de los más importantes problemas con que se enfrenta hoy nuestro planeta. Como resultado de este cambio en los patrones térmicos, la temperatura puede incrementarse, generando entre otras cosas crudos inviernos y fuertes veranos, con todas las consecuencias que ello conlleva. Numerosos estudios científicos y reuniones en todo el mundo, respaldan la certeza en afirmar que las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por las actividades antrópicas - quema de combustibles fósiles y la deforestación indiscriminada desde la era industrial - tienen un marcado peso en el cambio climático. Por tal motivo en los últimos tiempos se han encaminado esfuerzos en actividades que permitan la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La atmósfera está compuesta por una variedad de gases, sin embargo, las altas concentraciones de algunos de ellos, son los que generan el problema; en este caso el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), y el óxido nitroso (N_2O) son los principales gases sobre los que los humanos inciden directamente en el aumento de su concentración en la atmósfera y por tanto en el incremento del efecto invernadero global.

Un gas de efecto invernadero es aquel que atrapa la radiación infrarroja (calor) en la atmósfera, derivando hacia el calentamiento del planeta, este fenómeno ocurre naturalmente y sin él no existiría la vida en la forma que la conocemos actualmente.

Las actividades agrícolas y ganaderas contribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero a través de una serie de procesos. La ganadería contribuye a la emisión de metano (CH_4), por la fermentación digestiva ruminal y las excreciones de los animales provocan procesos que llevan a la emisión de óxido nitroso. El uso de fertilizantes sintéticos (principalmente nitrogenados) contribuyen fuertemente a la emisión de óxido nitroso. Adicionalmente prácticas como la quema generan una amplia variedad de GEI.

Las prácticas adecuadas de manejo en los usos de la tierra ganadera, así como el uso de variedades o cultivares mejorados, pueden incrementar el potencial de fijación de carbono, además de aumentar la capacidad productiva generando beneficios económicos y sociales para las comunidades rurales más vulnerables.



Pasto *Brachiaria decumbens* en el piedemonte amazónico, Caquetá.



Cratilia Cratyilla argentea, Costa Rica.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto "Red de Investigación para Evaluar la Capacidad de Captura de carbono de Sistemas Pastoriles, Agro pastoriles y Agro Silvopastoriles en Sub ecosistemas del Bosque Tropical de América" hace parte de la investigación en cambio climático y alternativas de mitigación y adaptación para ecosistemas vulnerables en países en desarrollo.

El propósito fundamental es contribuir al desarrollo sostenible, disminución de la pobreza y mitigación de las consecuencias negativas de los Gases Efecto Invernadero, en particular el CO₂. El proyecto es el resultado de la combinación de esfuerzos de la comunidad de investigación nacional, representada por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV y la Universidad de la Amazonia, y de la comunidad de investigación internacional, representada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE y la Universidad de Wageningen.

Evaluar y comparar el nivel de acumulación de carbono y el beneficio socio-económico al productor, de un rango de sistemas pastoriles, agro-pastoriles y agro-silvopastoriles, en fincas medianas y pequeñas localizadas en sub-ecosistemas vulnerables al cambio climático. Los sub-ecosistemas considerados son: Laderas andinas en Colombia, Bosque tropical húmedo y semi húmedo en Costa Rica y Bosque húmedo tropical en la Amazonia colombiana. Los diferentes sistemas de uso se comparan entre sí frente a un suelo degradado como control negativo y el bosque nativo como control positivo.



Productor acarreando forrajes en fincas medianas y pequeñas

ESTRATEGIAS DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de sistemas de uso de la tierra con 10 años de establecidos como mínimo, para cuantificar y comparar el nivel de acumulación de carbono entre ellos, contando con dos referencias extremas, una negativa: suelo degradado o pastura degradada, según el ecosistema, y una positiva: el bosque nativo.

Las principales líneas para el desarrollo de la investigación son:

- Evaluación de la tasa de captura de carbono que se logra al establecer sistemas mejorados de pasturas y silvopastoriles en áreas degradadas. Esta estrategia se logra mediante el uso de experimentos replicados de parcelas medianas establecidas en suelos degradados en cada ecosistema.
- Construcción de un modelo para estimar la acumulación de carbono en sistemas silvopastoriles.
- Evaluación y comparación socio-económica entre fincas ganaderas mejoradas vs. convencionales campesinas con diferentes grados de diversificación.
- Evaluación de la rentabilidad al invertir en sistemas mejorados de pasturas y silvopastoriles con capacidad de captura de carbono.

SUB ECOSISTEMAS CONSIDERADOS

- Laderas erosionadas de los Andes en Colombia, municipio de Dagua y El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.
- Bosque húmedo tropical de la Amazonia colombiana, municipio de Florencia, Caquetá.
- Bosque semi-húmedo y húmedo tropical de Costa Rica en Esparza, costa pacífica y Pocora, costa atlántica.

SISTEMAS A EVALUAR

Sistemas establecidos en las fincas con un mínimo de diez años en el uso actual.

SISTEMAS	LADERAS ANDINAS (COLOMBIA)
Causa de degradación del suelo	Pérdida de cobertura
Pastura degradada	<i>Hyparrhenia rufa</i> - Puntero, uribe <i>Andropogon bicornis</i> - Rabo de zorro <i>Andropogon leucostachyos</i> - Rabo de gato <i>Pennisetum hybridum</i> - King grass <i>Melinis minutiflora</i> - Gordura, meloso, melao, yaraguá
Pastura mejorada Pasturas puras en monocultivo	<i>Brachiaria decumbens</i> - Braquiaria
Pasturas asociadas con leguminosas herbáceas y/o con árboles maderables	
Bancos de forraje	<i>Trichanthera gigantea</i> - Nacedero, quiebrabarrigo <i>Erythrina fusca</i> - Pízamo <i>Erythrina edulis</i> - Chachafruto <i>Tithonia diversifolia</i> - Botón de oro <i>Morus alba</i> - Morera <i>Boehmeria nivea</i> - Ramio
Bosque	Bosque natural Bosque en regeneración

REGIÓN HÚMEDA Y SEMIHÚMEDA (COSTA RICA)

AMAZONIA (COLOMBIA)

Pérdida de cobertura

Pérdida de cobertura

H. rufa
Ischaemum indicum - Ratana

B. decumbens
Imperata cilindrica - Vende agua

Pastura natural
I. indicum
B. decumbens
Brachiaria brizantha - Brizanta

B. decumbens
Brachiaria humidicola - Braquiaria humidicola

B. brizantha +
Arachis pintoi - Maní forrajero
B. brizantha +
Cordia alliodora - Laurel o nogal +
Guazuma ulmifolia - Guácimo
Acacia mangium - Acacia +
A. pintoi

B. decumbens +
Pueraria phaseoloides - Kudzú, Kunzú
Desmodium sp. - Pega pega, empanadita
Stylosantes sp. - Estilosantes
B. humidicola + *P. phaseoloides*

Cratylia argentea - Veraniega, cratilia

Bosque natural
 Bosque secundario - Charral

Bosque natural con mínima intervención

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

LADERAS ANDINAS - VALLE DEL CAUCA - COLOMBIA

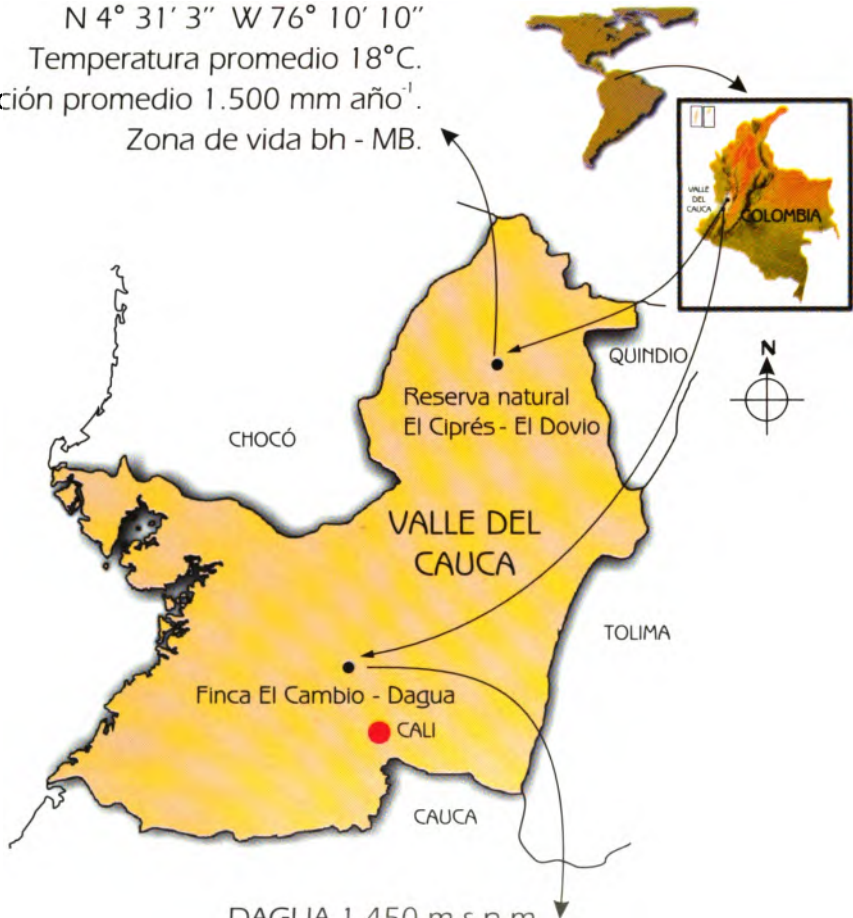
EL DOVIO 1.750 m.s.n.m.

N 4° 31' 3" W 76° 10' 10"

Temperatura promedio 18°C.

Precipitación promedio 1.500 mm año⁻¹.

Zona de vida bh - MB.



DAGUA 1.450 m.s.n.m.

N 3° 36' 4" W 76° 37' 15"

Temperatura promedio 22°C.

Precipitación promedio 1.550 mm año⁻¹.

Zona de vida bmh - MB

AMAZONIA - CAQUETÁ - COLOMBIA

Temperatura promedio 25°C

Precipitación promedio 4.000 mm año⁻¹.

Granja LOS BALCANES 244 m.s.n.m.

N 1° 25,5' 27" W 75° 30' 58,1"

Granja SANTO DOMINGO 250 m.s.n.m.

N 1° 36,7' 27" W 75° 38' 27"

Finca LA GUAJIRA 240 m.s.n.m.

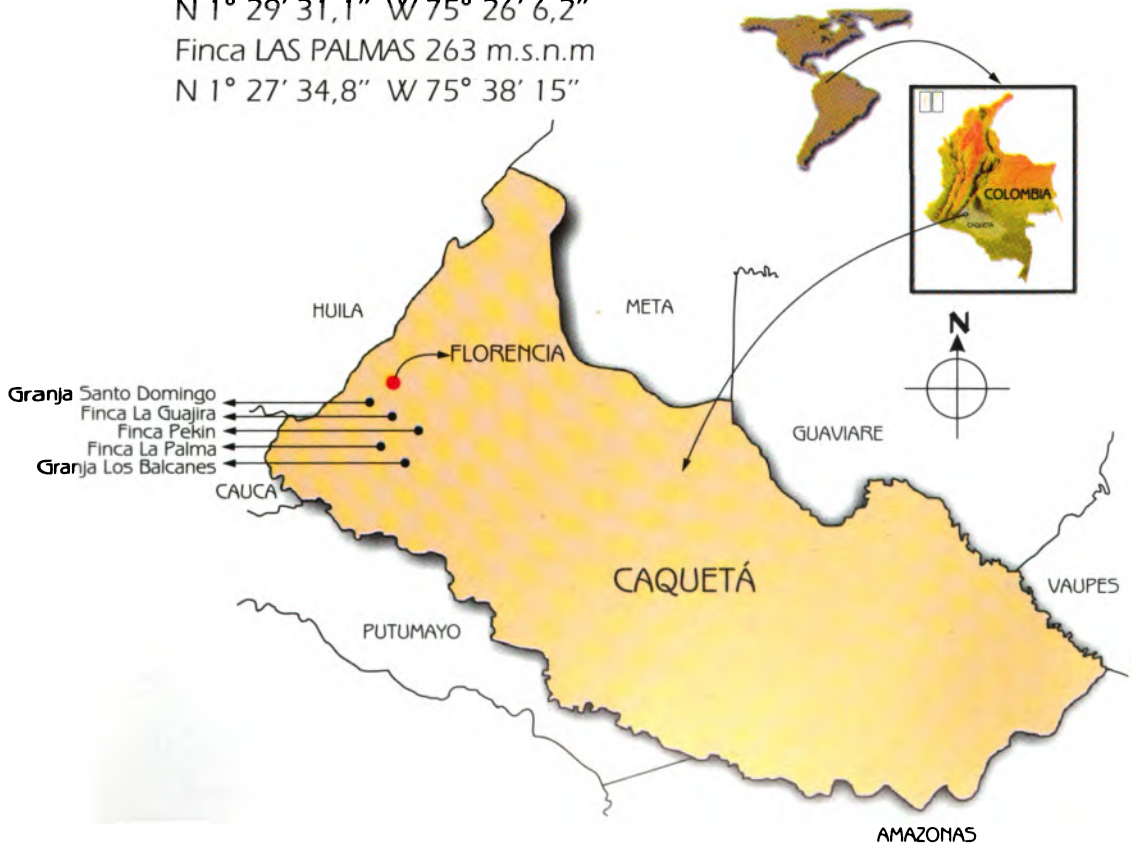
N 1° 37' W 75° 37'

Finca PEKÍN 264 m.s.n.m.

N 1° 29' 31,1" W 75° 26' 6,2"

Finca LAS PALMAS 263 m.s.n.m

N 1° 27' 34,8" W 75° 38' 15"



BOSQUE TROPICAL HÚMEDO - COSTA RICA

POCORA

N 10° 11' W 83° 35'

Temperatura promedio 29°C

Precipitación promedio 3.500 mm año⁻¹.

Nueve meses secos.



BOSQUE TROPICAL SEMI HÚMEDO - COSTA RICA

ESPARZA

N 8° 41' W 82° 56'

Temperatura promedio 27,2°C

Precipitación promedio 2.300 mm año⁻¹.

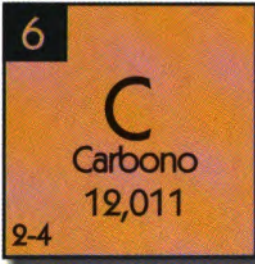
Seis meses secos; diciembre a mayo.



Banco Forrajero de Nacadero *Trichanthera gigantea*. Costa Rica.

EL CARBONO

Número atómico



Símbolo
Nombre
Masa atómica

Estructura
electrónica

Densidad 2,26
Punto de fusión 3500
Punto de ebullición 4800

Símbolo químico y propiedades del Carbono.

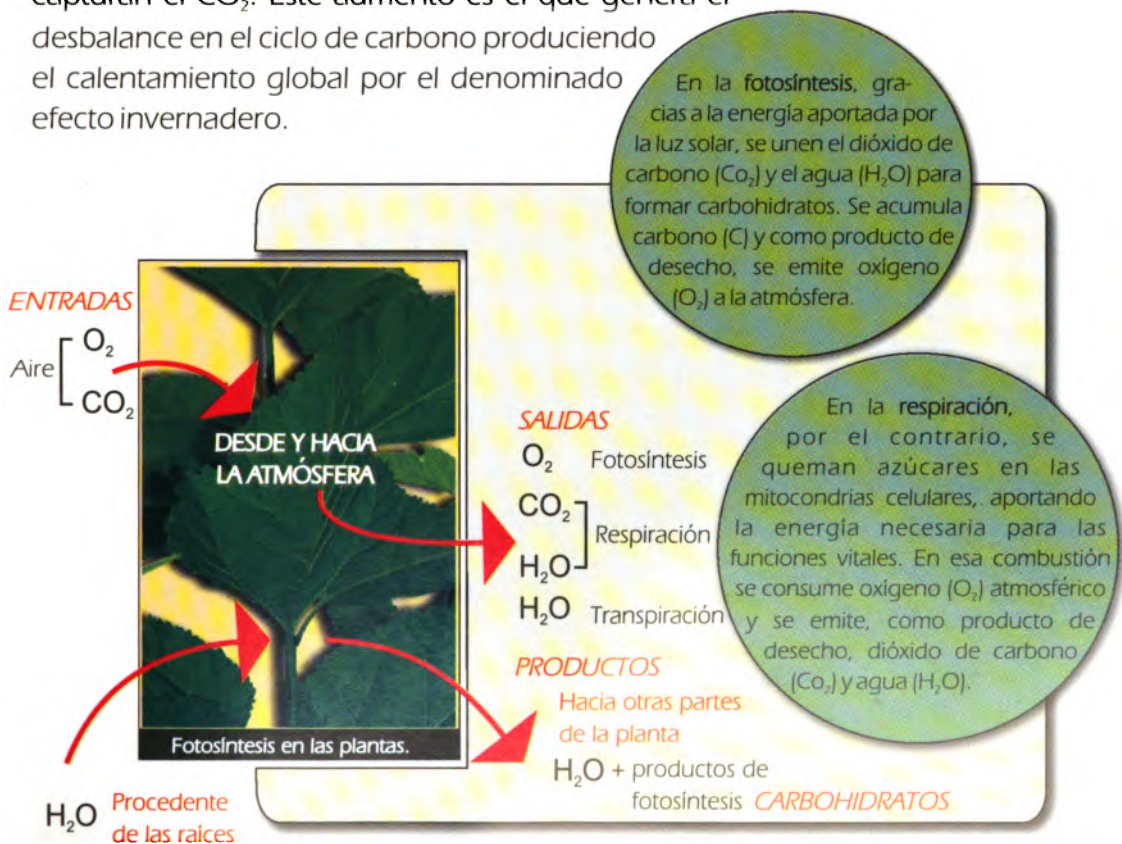
Es uno de los seis elementos químicos que junto con el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre constituyen en forma mayoritaria los tejidos vivos, que comprenden el 95% de la biosfera (Schlesinger 2000).

Mediante la fotosíntesis, las plantas absorben el dióxido de carbono existente en el aire y lo acumulan en los tejidos vegetales. Posteriormente, los animales herbívoros se alimentan de estos vegetales, de los que obtienen energía, para después, siguiendo las cadenas alimenticias, transferir esa energía a los demás niveles. El

carbono se acumula en el suelo, en la vegetación (lo que se denomina captura y almacenamiento de carbono); sin embargo una parte es devuelto a la atmósfera mediante la respiración de los organismos vivos y la descomposición de plantas y animales.

Existen plantas que por su estructura pueden acumular más cantidad de carbono que otras. Por ejemplo, los árboles jóvenes pueden fijar más carbono en su etapa de crecimiento que cuando son maduros y leñosos.

El carbono se almacena en la atmósfera, los océanos y la biosfera. Su ciclo es cerrado, ya que la cantidad de carbono existente en La Tierra es fija. Una parte del ciclo tiene lugar en el ecosistema terrestre, donde ocurren varios intercambios de carbono con la atmósfera. La única entrada que tiene el carbono a la biosfera es mediante las plantas, que obtienen el CO_2 de la atmósfera durante la fotosíntesis (producción primaria). Existe liberación de carbono como CO_2 a la biosfera por la respiración de plantas y animales, la quema de vegetación y la descomposición de materia orgánica. Por otro lado, en la litosfera, existe una reserva de carbono que se encuentra en forma de combustible fósil y de rocas sedimentarias. Las liberaciones antrópicas corresponden principalmente a la quema de combustibles fósiles y la deforestación masiva actual, que disminuye la cantidad de árboles que capturan el CO_2 . Este aumento es el que genera el desbalance en el ciclo de carbono produciendo el calentamiento global por el denominado efecto invernadero.

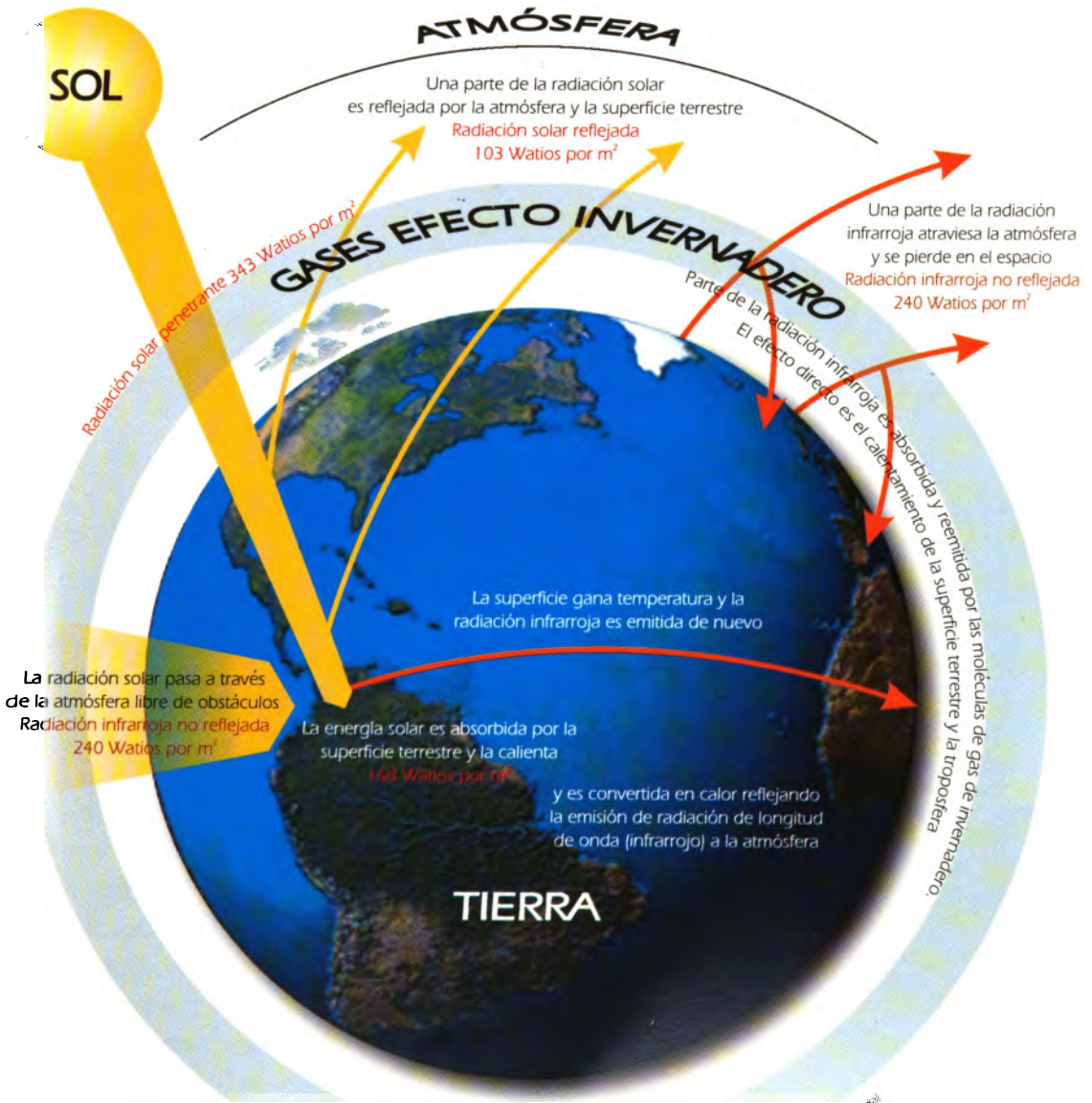


El carbono excedente de la fotosíntesis ha sido acumulado durante millones de años en forma de petróleo, gas natural y carbón, los cuales han sido llamados "combustibles fósiles" y se han utilizado para movilizar máquinas de motor, generar electricidad y fabricar numerosos productos de la sociedad moderna.

Desde el comienzo de la revolución industrial en el siglo XIX las concentraciones de dióxido de carbono de la atmósfera se han incrementado, causando un fenómeno similar al de un efecto invernadero gigantesco sobre la Tierra, una de cuyas manifestaciones es el incremento de la temperatura promedio de la superficie terrestre, la que a su vez genera cambios en el clima mundial.

La deforestación, los cambios en el uso de la tierra de bosques y la combustión de la madera, contribuyen al incremento de las emisiones de carbono y por lo tanto al calentamiento global.

El suelo posee una cantidad equivalente a tres veces el carbono almacenado en la vegetación terrestre (Batjes & Sombroek 1997, Craswell & Lefroy 2001, Malhi *et al.* 2002) y aproximadamente dos veces más que el presente en la atmósfera (Batjes & Sombroek 1997).



Fuente: UNEP - GRID-Arendal

EL CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO

El suelo es un cuerpo natural que involucra interacciones dinámicas con la atmósfera, influyendo en el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos (Hillel 1998).

El proceso durante el cual se formó el suelo duró millones de años y muchos organismos y eventos estuvieron involucrados; como terremotos, erupciones volcánicas y grandes inundaciones entre otros.

El suelo está compuesto por sustancias sólidas, agua y aire. Entre las sustancias sólidas que componen el suelo están los minerales que proceden de la desintegración y descomposición de las rocas y residuos de plantas, animales vivos o muertos que son precursores de la materia orgánica.

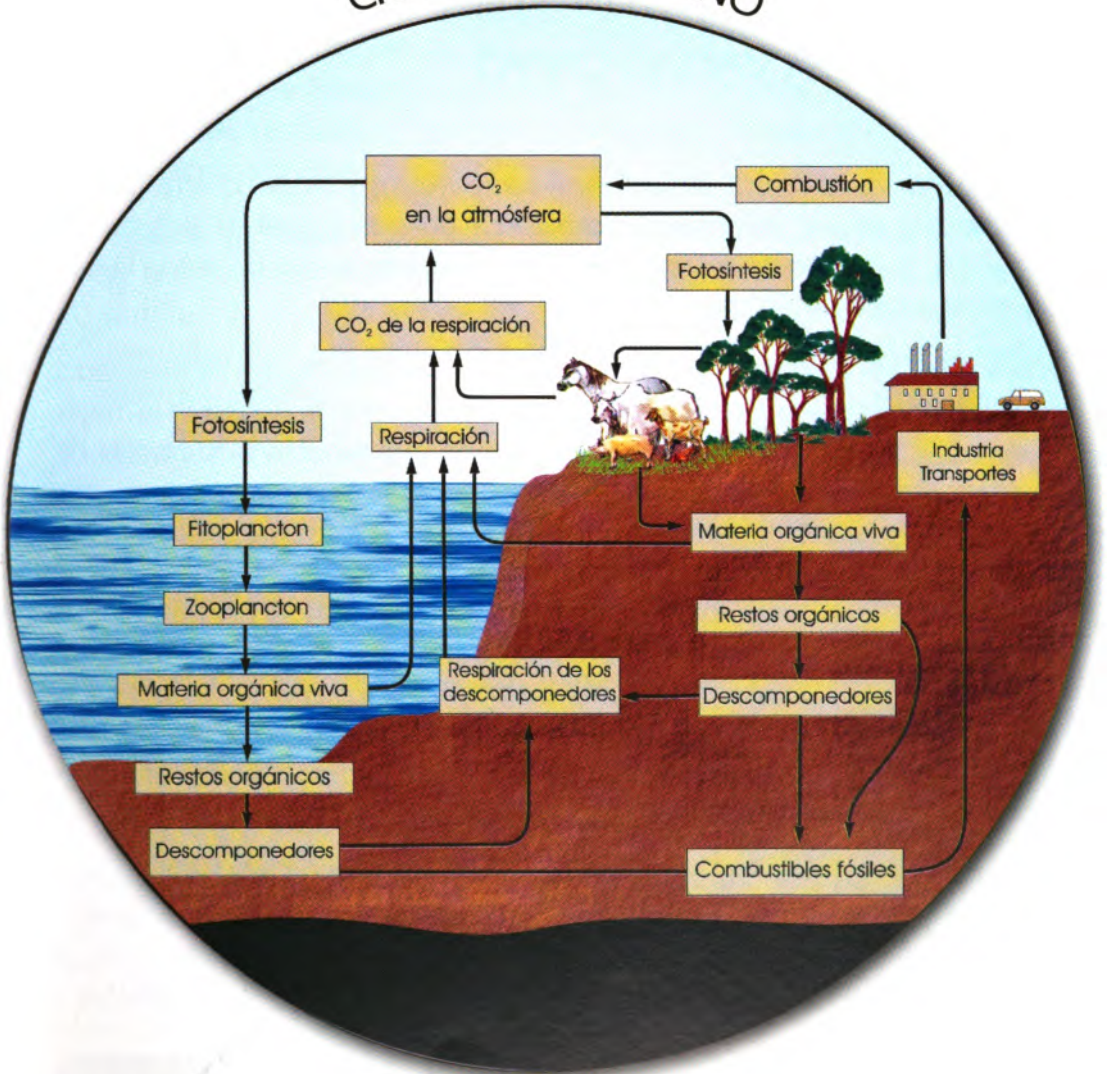
El agua es el vehículo que utilizan las plantas para tomar muchos nutrientes. Por los espacios porosos del suelo circulan aire y agua que son indispensables para que los organismos que habitan allí puedan vivir.



Lombriz de tierra que ayuda a la transformación de los suelos.

Finalmente, el suelo es un sistema complejo y dinámico donde intervienen factores químicos, biológicos, físicos y mineralógicos, que interactúan en infinidad de procesos.

CICLO DEL CARBONO



La materia orgánica varía con los tipos de suelo, la vegetación que sobre ellos crece, el clima, y en especial la temperatura y la precipitación. Del manejo y uso que se haga del suelo dependerá en buena medida la cantidad de carbono que exista en un momento determinado.

EL SUELO ESTÁ COMPUESTO POR VARIAS CAPAS

En su estructura vertical, el suelo está compuesto por capas u horizontes de diferente grosor, materiales y colores que pueden indicar su proceso de formación, partiendo de la roca madre la que es más profunda, hasta la más superficial o capa orgánica.

La primera capa u horizonte es el **A**, también es llamado horizonte de lavado, por estar expuesto a la erosión y lavado de la lluvia. Allí se encuentran la mayoría de las raíces, es rica en materia orgánica por contener microorganismos, fauna (macro, meso, micro) y flora. Su composición es muy compleja y por ello algunos autores la subdividen en varias subcapas, la más superficial está formada por restos de vegetación, raíces y hojas. Luego están

otras donde estos residuos han sufrido un proceso de transformación, debido a la mayor actividad de todos los organismos y empieza la formación activa del "humus". Se caracteriza por ser de un color oscuro; la tercera y cuarta subcapa son inorgánicas y está compuesta por minerales que interactúan con arcillas en diferentes niveles.

El Horizonte **B** es el llamado "de precipitación" o subsuelo. En él se acumulan arcillas provenientes del arrastre de horizontes superiores, es de color más claro, pardo o rojizo debido a compuestos férricos (hierro) y coloides húmicos.

El Horizonte **C** o roca madre que puede haber sufrido o no algún proceso de meteorización o transformación.

Las diferentes capas pueden variar de color de negros a grises, cafés o rojos, eso depende del material de origen.

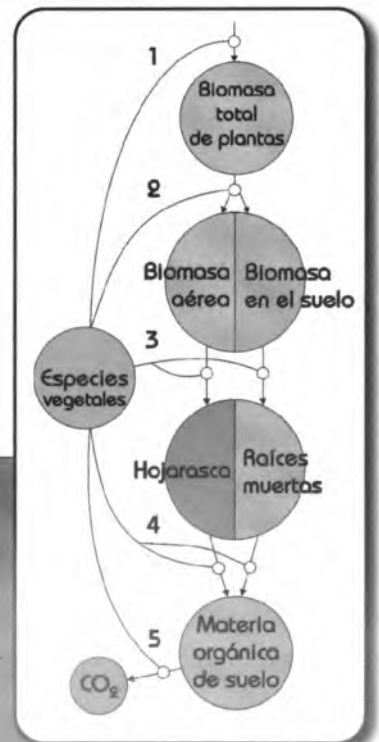


A través de estas capas del suelo se pueden investigar:

1. Las propiedades químicas como pH (potencial de hidrógeno, que permite conocer el grado de acidez o alcalinidad), acidez total, grado de saturación de bases (constituidas por los cationes Ca, Mg, Na y K), contenido de carbono (orgánico, inorgánico, estable y total) y reservas totales de nutrientes.
2. Propiedades físicas: Textura (tamaño de partículas que tiene el suelo), que se obtiene por medio del porcentaje de arcilla, arena y limo, estructura, distribución del tamaño de los poros, densidad aparente, profundidad, conductividad eléctrica, retención de humedad, temperatura, drenaje interno y externo.
3. Actividad biológica y especies vivas, como microflora, macro y microfauna.

Cada capa incide en la magnitud de los procesos que afectan la calidad y la productividad de los suelos, como compactación, erosión, pérdida de la fertilidad, humificación, mineralización, descomposición y retención de nutrientes, entre otros.

El carbono orgánico del suelo incide en la productividad y en la estructura del suelo, la disponibilidad de agua y de nutrientes. Así mismo la fracción activa del carbono orgánico va desde 10 al 20% del contenido de carbono orgánico total (Lal 1994).



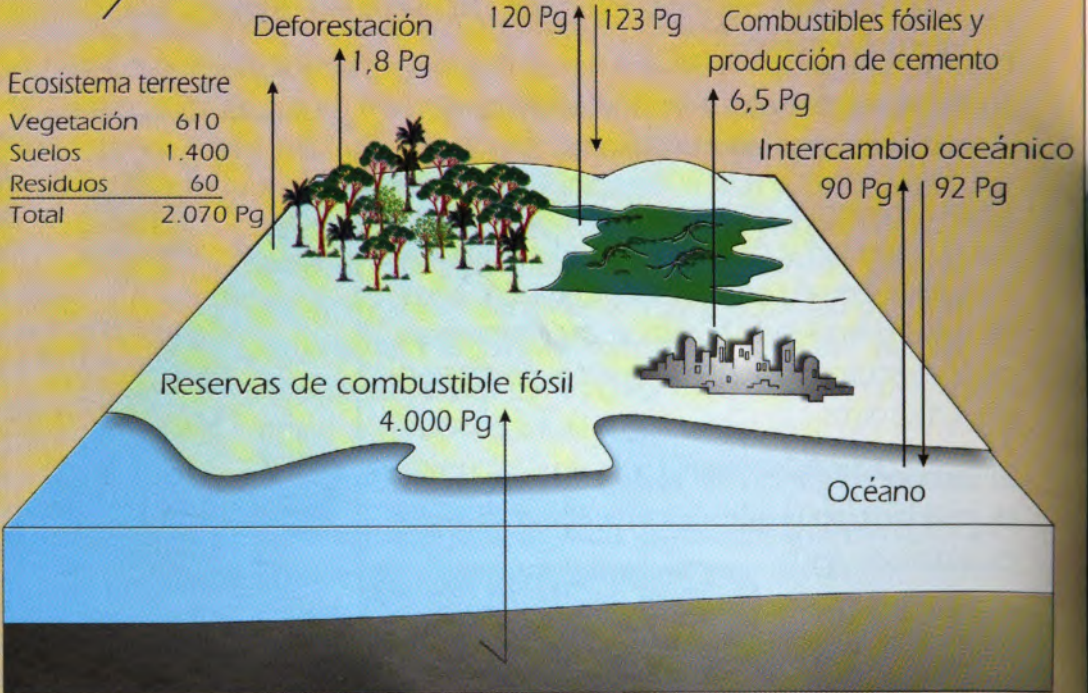
Modelo conceptual de regulación de la dinámica del carbono del suelo por las plantas que influyen en los siguientes procesos:

- 1) Productividad primaria neta (PPN).
- 2) Distribución y almacenamiento de carbono.
- 3) Flujo de detritos.
- 4) Descomposición.
- 5) Respiración del suelo que incluye el CO₂ derivado de raíces vivas y muertas, hojarasca y materia orgánica del suelo.

BALANCE GLOBAL DEL CARBONO

ATMÓSFERA 750 Pg + 3 por año

Producción y respiración terrestre



Pg (Petagramo) = 10 elevado a la 15 gramos = Gt (Gigatonelada) = 1000 millones de toneladas.

LA DINÁMICA DEL CARBONO EN LOS DIFERENTES USOS DE LA TIERRA

Los ecosistemas terrestres son parte del ciclo global del carbono y se estima en 125.000 millones de toneladas el carbono que se intercambia anualmente entre la atmósfera, la vegetación y el suelo (FAO 2001). Los bosques del mundo cubren el 29% de la superficie de la Tierra, contienen más de la mitad del carbono en la vegetación terrestre y son responsables del 80% del intercambio entre la vegetación, el suelo y la atmósfera en el ciclo mundial del carbono.

Los diferentes sistemas de uso de la tierra pueden mejorar la retención y/o acumulación del carbono orgánico en el suelo (materia orgánica), la biomasa viva (tallos, hojas y raíces) y la biomasa muerta (hojarasca y troncos muertos).

Los bosques son los ecosistemas naturales que acumulan e intercambian la mayor cantidad de carbono.

En los sistemas de producción agropecuaria, existen desequilibrios en el flujo de carbono, generando pérdidas mayores de este elemento en el suelo, ya sea por la pérdida de la materia orgánica, por su cosecha, por oxidación o por diferentes procesos de erosión.

Al mejorar los sistemas de cultivo y las prácticas de manejo, los procesos de pérdida y degradación pueden ser revertidos. Los sistemas agrosilvopastoriles, como los árboles en los potreros, así como mejores pasturas asociadas con leguminosas y árboles pueden contribuir a incrementar el carbono, ayudando así a mitigar el cambio climático global.



LOS BOSQUES TROPICALES

Son formaciones naturales conformadas por una alta variedad de especies vegetales y animales distintas que co-habitan en equilibrio, las cuales aprovechan con eficiencia la energía, el agua y los nutrientes. Son sistemas que tienden a ser cerrados, es decir, producen su propio alimento, transforman y descomponen lo que les sobra para ser nuevamente utilizados. Son muy dinámicos y siempre tienden a estar en equilibrio. Estos sistemas acumulan carbono en sus estructuras y en el suelo. En el suelo se encuentra una capa de 5-15 centímetros de mantillo (hojarasca) producida por los árboles y residuos de troncos y tallos, seguida de una telaraña de raíces desde donde toman su alimento.

La hojarasca es fragmentada y descompuesta por los habitantes naturales del suelo distribuidos en los siguientes grupos según su tamaño: microfauna <0,2 mm; mesofauna 0,2 a 2 mm y macrofauna 2 a 20 mm (Stork & Eggleton 1992). La macrofauna está compuesta por escarabajos, lombrices, hormigas, colémbolos, cochinillas entre otros artrópodos, ellos intervienen entre un 15 y 30% en la renovación del carbono (Wolters *et al.* 2000).

La microflora compuesta por hongos, bacterias, algas y actinomicetos interviene en los procesos de reciclaje, mineralización y fijación de los elementos nutritivos que son nuevamente tomados por las raíces de los árboles para continuar el ciclo.

FUNCIONES:

1. Juegan papel importante en los ciclos globales del carbono, nitrógeno y oxígeno.
2. Contribuyen a determinar la temperatura, la pluviosidad y otros factores climáticos.
3. Son la reserva genética más importante de plantas y animales del mundo.

BOSQUES ANDINOS

Los bosques andinos en Colombia han sido altamente intervenidos y su vegetación ha sido remplazada principalmente por cultivos de café y potreros (FAO 2001).

BOSQUES DE LA AMAZONIA

Los bosques de la Amazonia han sido deforestados en más del 45%, su vegetación ha sido reemplazada por pasturas con manejo inadecuado. Muestran altos o moderados niveles de degradación.

Estos bosques cumplen un papel muy importante a nivel regional como fuentes de agua, regulación de caudales, control de erosión y reservorio de biodiversidad.

Los bosque tropicales representan 2.000 millones de hectáreas (la mayoría ubicados en los países en desarrollo) que son fundamentales para la salud del planeta. La mejor solución sería protegerlos o por lo menos asegurarles el mejor manejo posible.

BOSQUES EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO

BOSQUE DE PALO ALTO

El bosque de Palo Alto en el municipio de Dagua comprende un área aproximada de 6,4 hectáreas, entre 1.619 y 1.657 m.s.n.m. en la zona de vida de bosque muy húmedo montano bajo (bmh - MB) (Holdridge 1979).

Al bosque se le realizó una extracción selectiva de los árboles de madera más fina hace varias décadas.

La especie más común es la *Otoba lehmannii*, con árboles que alcanzan de 20 a 30 metros de altura y otras especies de las familias Euphorbiaceae y Meliaceae.

Las especies de árboles encontrados se agrupan en 20 familias:

- Annonaceae - Guanábano
- Araliaceae - Mano de oso
- Arecaceae - Palmas
- Bombacaceae - Ceiba, balso
- Cecropiaceae - Yarumos
- Chloranthaceae - Granizo
- Clusiaceae - Barcino
- Euphorbiaceae - Drago
- Lauraceae - Aguacatillos
- Melastomataceae - Sietecueros
- Meliaceae - Cedros
- Mimosaceae - Guamos
- Moraceae - Higuerones
- Myristicaceae - Otobo
- Myrsinaceae - Chagualo
- Rubiaceae - Cafetos
- Siparunaceae - Limoncillo de Monte
- Staphylaceae - Almendro
- Tiliaceae - Balso blanco
- Vochysiaceae

ARBUSTOS:

Arecaceae *Geonoma* sp. - Palmiche

Flacourtiaceae *Casearia* sp. y *Banara* sp.

Lecythydaceae *Eschweilera* sp. - Olla de mono

Melastomataceae - Sietecueros

Piperaceae *Piper* sp. - Cordoncillo

Rubiaceae *Palicourea* sp. - Cafeto

Siparunaceae *Siparuna* sp. - Limoncillo de monte

Cyatheaceae *cyathea* sp. - Helechos arbustivos

SUB ARBUSTOS Y HIERBAS:

Acanthaceae - Nacederos

Araceae - Anturios

Begoniaceae - Begonias

Piperaceae - Cordoncillos

Campanulaceae

Cyclanthaceae - Helechos arborescentes

Marcgraviaceae

Orchidaceae - Orquideas

Las familias encontradas
en hierbas y subarbustos epífitos son:

Araceae - Anturios

Alstroemeriaceae - Astromelias

Begoniaceae - Begonias

Bromeliaceae - Piña

Cyclanthaceae - Helechos gigantes

Ericaceae - Quereme

Orchidaceae - Orquídeas

Piperaceae - Cordoncillos

Rubiaceae - Cafetos



Bosque de Las Palmas

BOSQUE DE LAS PALMAS

EL Bosque de Las Palmas en El Dovio, Valle del Cauca, a una altitud entre 1.859 y 1.830 m.s.n.m. en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo (bh - MB) (Holdrige 1979), con un área aproximada de 1,2 hectáreas.

A este bosque se le realizó una extracción selectiva de los árboles de madera más fina hace varias décadas.

Las especies de árboles encontrados se agrupan en 18 familias:

- Araliaceae - Mano de oso
 - Arecaceae - Palmiche
 - Annonaceae - Guanábano
 - Cecropiaceae - Yarumos
 - Clusiaceae - Barsino
 - Cyatheaceae - Helechos arbustivos
 - Euphorbiaceae - Lecheros
 - Flacourtiaceae - Cacho de venado
 - Lauraceae - Aguacatillos
 - Melastomataceae - Sietecueros
 - Mimosaceae - Guamos, churimos
 - Moraceae - Higuerones
 - Myrsinaceae - Cucharos, chagualos
 - Piperaceae - Cordoncillo
 - Rubiaceae - Cafeto
 - Sapindaceae - Mestizo
 - Siparunaceae - Limoncillo de monte
 - Verbenaceae - Mantequilla
- (Piedrahita 2004)

MANEJO DE PASTURAS O POTREROS

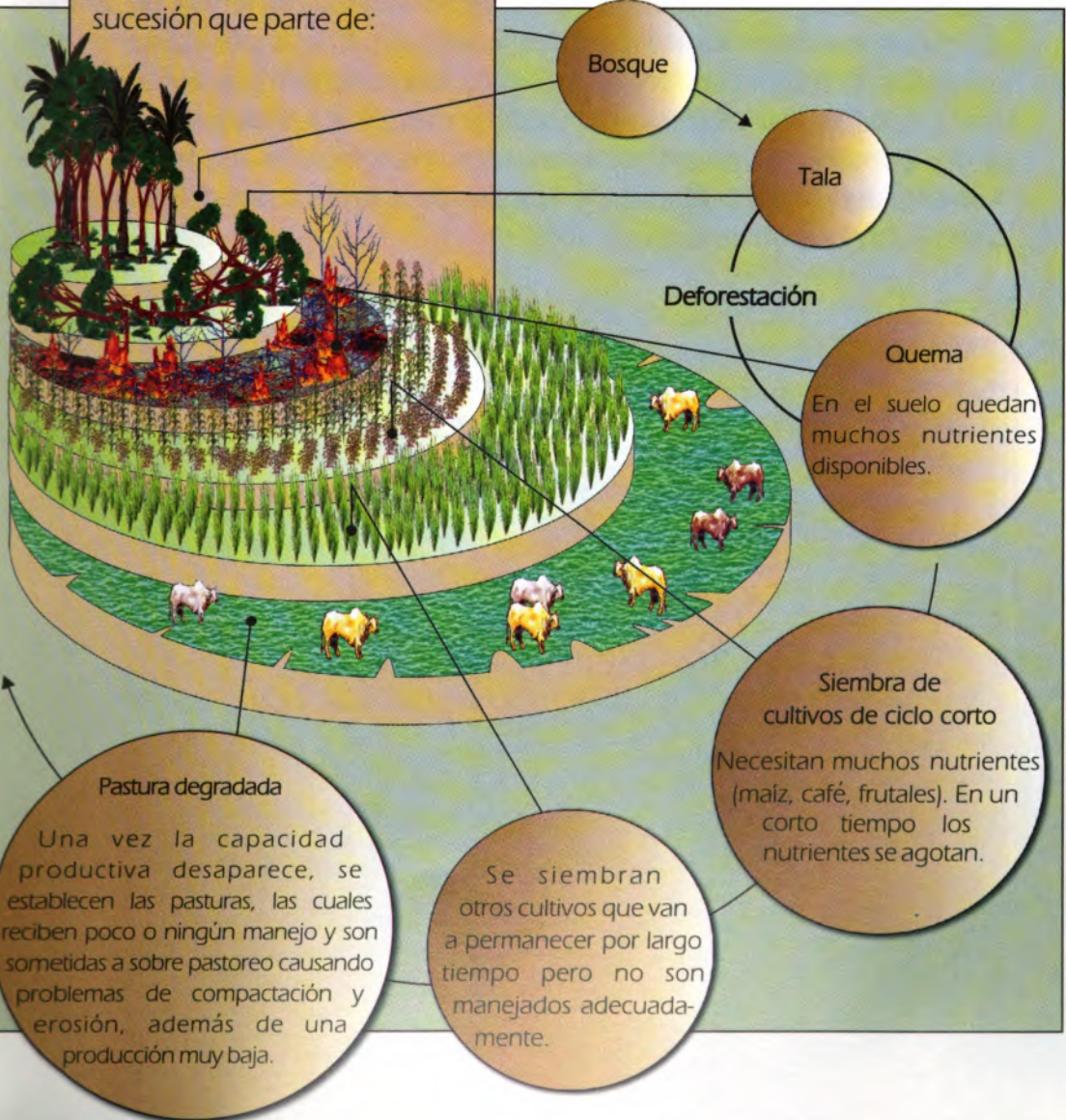
Son sistemas diseñados por el hombre que están conformados por una o más especies de gramíneas predominantes, como fuentes de carbohidratos, energía y fibra; y otras preferentemente leguminosas, como fuentes de proteína, con el fin de lograr una buena asociación en cantidad y calidad de forraje disponibles para la alimentación del ganado.

El reemplazo de las coberturas boscosas por pasturas, con manejo inadecuado, produce variaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, afectando el equilibrio establecido durante largo tiempo, por la compleja interacción de los factores de formación del suelo (Jenny 1941).

Las alteraciones más significativas tienen que ver con la compactación en la superficie del suelo ocasionada por el pisoteo del ganado, que disminuye la capacidad de infiltración favoreciendo la desprotección de los horizontes superficiales e incrementando las posibilidades de erosión y desertificación de los suelos (Cassel & Lal 1992, Hillel 1998, León 2001).



En forma general la historia del uso y transformación de la tierra en los diferentes ecosistemas donde se realiza el proyecto corresponde a una sucesión que parte de:



Bosque

Tala

Deforestación

Quema

En el suelo quedan muchos nutrientes disponibles.

Siembra de cultivos de ciclo corto

Necesitan muchos nutrientes (maíz, café, frutales). En un corto tiempo los nutrientes se agotan.

Pastura degradada

Una vez la capacidad productiva desaparece, se establecen las pasturas, las cuales reciben poco o ningún manejo y son sometidas a sobre pastoreo causando problemas de compactación y erosión, además de una producción muy baja.

Se siembran otros cultivos que van a permanecer por largo tiempo pero no son manejados adecuadamente.

PASTURAS DEGRADADAS

Una vez eliminado el bosque nativo y con la misma dinámica hasta el establecimiento de la pastura mejorada, ésta no recibe un manejo adecuado sometiendo a pastoreo continuo. A falta de mantenimiento periódico y sobre-pastoreo, se produce degradación con evidencias de compactación y colonización casi total por malezas no aptas para el consumo de los animales y propias de esta condición. Por lo cual no vuelven a utilizarse con fines agrícolas. La degradación de una pastura implica la degradación del suelo y disminución de su productividad.



Una pastura degradada puede calificarse por su baja producción, su baja calidad, baja capacidad de infiltración, baja disponibilidad de nutrientes, presencia de espacios descubiertos o "calvas" y la colonización por plantas agresivas de poco valor.

Perfil de suelo. Nótese la baja producción de biomasa por unidad de área en este sistema ganadero.

Por ejemplo en la zona de estudio en Dagua el potrero estaba abandonado hace 12 años , las gramíneas predominantes eran rabo de zorro *A. bicornis* y rabo de gato *A. leucostachyus*, indicadoras de suelos pobres, erosionados y secos (Gómez & Rivera 1987), pasto puntero *H. rufa*, helecho marranero *Pteridium aquilinum*, (indicador de suelos ácidos), chilca *Baccharis trinervis*, salvia *Austroeupatorium inulaetifolium*, chicharrón *Calea penelli*, armanga *Calea berteriana*, yerba de chivo *Ageratum conyzoides* y árboles de guayabo *Psidium guajaba*.

La zona de El Dovia estuvo sembrado 12 años con pasto de corte king grass *P. hybridum*, luego se realizaron curvas para sembrar en policultivos de arboreas como nogal *C. alliodora*, arboloco *Montanoa quadrangularis*, nacedero *T. gigantea*, morera *M. alba* con cultivos de pancoger, maíz *Zea mays*, frijol *Phaseolus vulgaris*, arracacha *Arracacia xanthorrhiza*, caña *Sacharum officinarum*, piña *Ananas comosus*, soya *Glycine max*, que fueron abandonados más tarde por un desarrollo limitado. Los últimos cuatro años en este potrero crece pasto king grass que es dominante, yaraguá *M. minutiflora*, helecho marranero *P. aquilinum*, guayabo *P. guajaba* y escoba *Sida* sp.

Las pasturas permanentes o tierras de pastoreo cubren más de 3.000 millones de hectáreas. La mayor parte está en las tierras ácidas e infértiles y el estado de degradación está estimado entre un 14 y 31% y en América Latina se encuentra cerca de la cuarta parte de estas tierras en el mundo (FAO 2002).

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA EN LOS SUELOS DE LAS PASTURAS DEGRADADAS

LADERAS ANDINAS

VALLE DEL CAUCA - COLOMBIA

Lugar	pH	M.O %	K	Ca	Mg	Na	P	Fe	Mn	Cu	Zn
			meq / 100 g				ppm				
El Dovio	5,7	5,8	0,2	8	1,99	0,08	4,2	40,42	46,2	0,4	2,7
Dagua	5,5	7,7	0,2	4,3	1,66	0,06	1,6	26,6	119,5	0,4	1,4

AMAZONIA

CAQUETÁ - COLOMBIA

Lugar	pH	M.O %	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Mn	Cu	Zn
			meq / 100 g				ppm				
Granja los Balcanes	4,7	3	0,3	0,6	0,2	8,5	1,7	245	19,8	0,78	0,6
Santo Domingo	4,7	3	0,2	0,1	0,06	3,1	1,1	72	2,6	0,3	0,6

BOSQUE HÚMEDO Y SEMI HÚMEDO

COSTA RICA

Lugar	pH	M.O %	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Mn	Cu	Zn
			meq / 100 g				ppm				
Esparza	5,52	6,54	0,2	5,63	2,15	1,5	1,78	-	-	-	-
Pocora	5,55	4,11	0,21	4,49	3,08	0,39	2,42	-	-	-	-

En estos suelos degradados se establecieron parcelas nuevas con los diferentes sistemas mejorados de uso: pastura mejorada de gramínea en monocultivo, pastura de gramínea asociada con leguminosa, bancos mixtos de árboles y la regeneración natural de la pastura degradada, con el objetivo de evaluar y comparar en un período de cuatro años la acumulación de carbono y el potencial de producción de biomasa en cada sistema.

DINÁMICA DEL CARBONO

La cantidad de carbono almacenado en el suelo varía con el tiempo dependiendo de su composición bioquímica y de sus uniones con coloides o arcillas.

Del carbono total que está en el suelo sólo una pequeña fracción se acumula en forma estable y la otra parte está involucrada en todos los procesos dinámicos de oxidación (carbono oxidable).

PASTURA MEJORADA

En los predios donde se desarrollo la investigación las pasturas mejoradas se establecieron en áreas que previamente fueron pasturas degradadas, este mejoramiento se caracteriza por una mejor producción de biomasa, persistencia, calidad nutricional, competencia con especies indeseables, mayor resistencia a condiciones adversas y mayor productividad animal. Estos pastos son generalmente introducidos de otras regiones, seleccionados o mejorados genéticamente, entre ellos se tienen: *B. decumbes*, *B. humidicola*, *B. brizantha*, entre otras, el pasto estrella *Cynodon plestostachyus* y el guinea *Panicum maximum*. Así mismo se busca algún tipo de asociación con leguminosas herbáceas como el *Desmodium* sp, el gallito *Centrosema* sp., *Stylosanthes* sp., kudzú *Pueraria phaseoloides*, el maní forrajero *A. pintoj*, entre otras. Este manejo requiere fertilización estratégica, control de malezas,

rotación de pasturas y manejo adecuado de los animales. En muchos predios se practica la fertilización orgánica con alguna frecuencia.



Pasto Braquiaria asociado con Mani forrajero.



Parcela de pastura mejorada en Dagua, Valle del Cauca, Colombia.



Pastura mejorada en El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.

INVESTIGADAS EN EL PROYECTO

GRAMÍNEA

PASTO MULATO - *Brachiaria* híbrido, CIAT 36061

Es una variedad mejorada genéticamente por el CIAT, con tolerancia al mión de los pastos (complejo de insectos chupadores) y tolerante a sequías.



Pasto mulato, *Brachiaria* híbrido, CIAT 36061

Descripción: Gramínea perenne, tiene un crecimiento decumbente, estolonífero.

Se adapta a suelos bien drenados, de mediana fertilidad desde el nivel del mar hasta los 1.800 m.s.n.m., pH 4,5 y precipitaciones superiores a 1.000 mm año⁻¹.

Establecimiento: Por semilla o material vegetativo. La semilla sexual requiere escarificación antes de la siembra. El requerimiento de semilla es de 4-6 Kg ha⁻¹. El primer pastoreo se puede realizar entre los 60-120 días.

Se siembra en surcos cada 50 cm y a razón de 5 Kg de semilla ha⁻¹.

LEGUMINOSA HERBÁCEA

MANÍ FORRAJERO - *Arachis Pintoi*

Especie leguminosa de hábitos estoloníferos, crecimiento agresivo y tolerante a suelos ácidos. Existen diferentes accesiones, es usado como cobertura, para pastoreo y protección de taludes.

Descripción: Se establece bien en suelos con mal drenaje, pero no inundados, sobrevive a sequías de 4-5 meses. Se adapta desde el nivel del mar hasta 1.800 m.s.n.m. y requiere precipitaciones mayores a 1.200 mm año⁻¹. Posee de 15-20% de proteína.

Establecimiento: Por semilla o material vegetativo. La semilla, igual que la del maní para consumo *Arachis hypogea*, se produce dentro del suelo en los 10 primeros centímetros, para ello se requieren suelos sueltos. La densidad de siembra es de 6-8 Kg para pastoreo y 10 Kg para cultivo de cobertura. Se asocia bien con diferentes tipos de pasto: *Brachiaria* sp., *A. bicornis* y *P. Maximun*.

Se siembra en surcos cada 50 cm y a una profundidad de 25 cm.

Cuando se realiza siembra alterna con gramínea se requiere 5 Kg ha⁻¹ de semilla de pastos y 8 Kg ha⁻¹ de maní forrajero.



Maní forrajero *Arachis pintoi*.

PASTURAS MEJORADAS

EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

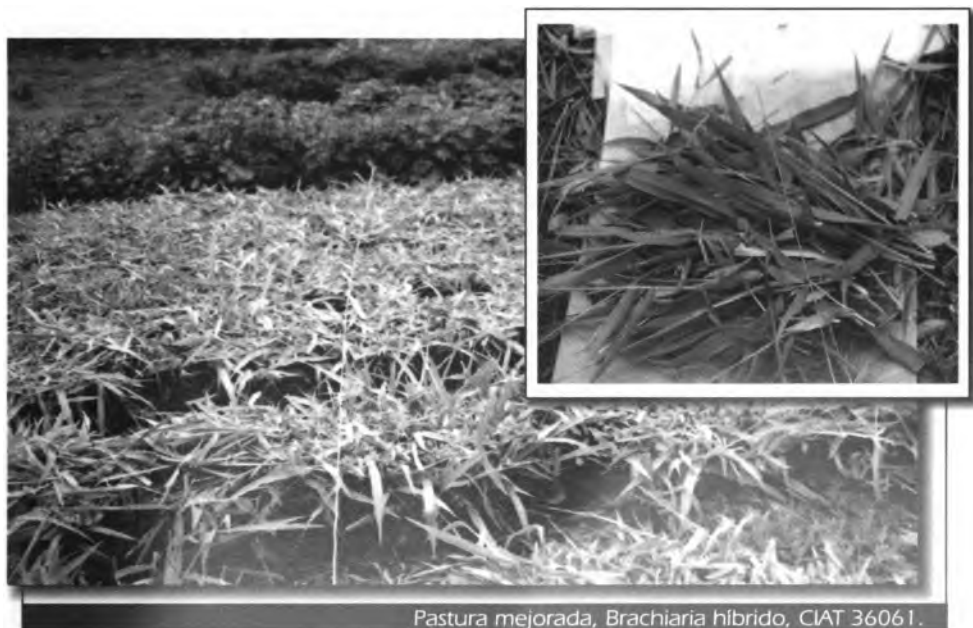
La ganadería con reducida carga animal ha sido una actividad prevalente en las diferentes fincas, siempre alternada con las actividades agrícolas. En la zona Andina y en Costa Rica hay dos limitantes importantes, la alta pendiente y los suelos compactados. En la región del piedemonte amazónico es la alta precipitación pluvial. Los pastos usados son especies nativas o naturalizadas como: argentina *Cynodon dactylon*, yaragüa *M. minutiflora*, guinea *P. maximum*, y pasto braquiaria *Brachiaria* spp. a partir de 1985. En Costa Rica se introdujo con éxito *B. brizantha* y en el piedemonte amazónico *B. humidicola* y *B. decumbens*, así como el maní forrajero *A. Pintoi*.



Maní forrajero *Arachis pintoii*.

En la reserva natural El Ciprés en los años 50 se cultivó caña panelera, en los años 60 café con guamos. En los años 70 se sembró tomate de árbol *Cyphomandra betacea* (Solanacea) y en 1986 se estableció *B. decumbens*. En los años 90 se ha dado un proceso de regeneración natural con guayabo *P. guajaba*. Entre las plantas invasoras predominantes se encuentran: La escoba *Sida* sp, borlitas *Emilia sonchifolia*, helecho marranero *P. aquilinum*, leguminosas nativas como cadillo *Desmodium* sp. y *Stylosanthes* sp. y algunas ciperáceas.

En la finca Villa Victoria en Dagua en los años 50 se cultivaba café y pastos, en el año 1993 se sembró el *B. decumbens*. El área dedicada a pastoreo está dividida con cercas vivas en pízamo *E. fusca*. Son pequeños potreros (2.000 m² o menos) manejados en rotación y reciben fertilización orgánica, producto del lavado de corrales de cerdos. La rotación y los períodos de ocupación no son sistemáticos y ordenados.



BANCOS MIXTOS DE FORRAJE

Están conformados por diferentes especies de árboles, arbustos y herbáceas, sembrados en altas densidades (5.000- 10.000 o más plantas por hectárea). Con estas mezclas se pretende generar una dinámica similar a la de un bosque natural. En este tipo de sistemas se manejan de 3 a 5 especies, con arquitectura y hábito de crecimiento diferente, donde se incluye siempre una especie leguminosa que aporta el nitrógeno al sistema.



Banco mixto de forraje, Costa Rica.

Con estos sistemas el suelo queda protegido contra agentes externos que pueden afectarlo directa o indirectamente (erosión, lixiviación, etc.). En algunos casos poseen cobertura viva con algunas especies como el maní forrajero *A. pintoi* o nativa como la suelda *Commelina virginica*, especies herbáceas de rápido crecimiento. Por la misma diversidad los cortes se realizan de manera asincrónicos de acuerdo con el hábito de crecimiento y el desarrollo de las especies.

La diversidad de especies constituye una barrera natural a las poblaciones de insectos y microorganismos que puedan considerarse "plaga" y que afecten la producción tanto en cantidad como en calidad.



Banco mixto de forraje, Caquetá, Colombia.

Morera



ESPECIES QUE COMPONEN LOS BANCOS MIXTOS DE FORRAJE ESTABLECIDOS EN LOS TRES ECOSISTEMAS INVESTIGADOS



Matarratón



Gamboa



Ramio



Chachafruto

ESPECIE
Pízamo <i>Erythrina fusca</i>
Chachafruto <i>Erythrina edulis</i>
Nacedero <i>Trichanthera gigantea</i>
Morera <i>Morus alba</i>
Matarratón <i>Gliricidia sepium</i>
Botón de oro <i>Tithonia diversifolia</i>
Gamboa <i>Smallanthus riparius</i>
Ramio <i>Boehmeria nivea</i>
Maní forrajero <i>Arachis pintoi</i>
Bohio <i>Clitoria fairchildiana</i>
Cratilia o Veraniega <i>Cratylia argentea</i>

Nacedero

Pizamo

Botón de oro



FAMILIA	HÁBITO	FRECUENCIA DE CORTE
		Meses
Fabaceae (Papilionoideae)	árbol	4-6
Fabaceae (Papilionoideae)	árbol	4-6
Acanthaceae	árbol	4-5
Moraceae	árbol	4
Fabaceae (Papilionoideae)	árbol	3-4
Asteraceae	herbácea arbustiva	2-3
Asteraceae	herbácea	2-3
Urticaceae	herbácea	2-3
Fabaceae (Papilionoideae)	herbácea rastrera	cobertura
Fabaceae (Papilionoideae)	árbol	3-4
Fabaceae (Papilionoideae)	arbustiva	3

CONFORMACIÓN DE LOS BANCOS FORRAJEROS MIXTOS EN LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN



Reserva natural El Ciprés, El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.

RESERVA NATURAL EL CIPRÉS

En la reserva natural El Ciprés los bancos fueron establecidos hace 14 años en una área dedicada anteriormente a diferentes cultivos de consumo familiar como maíz, frijol, arracacha *A. xanthorrhiza* tomate de árbol *Cyphomandra betacea*. Inicialmente se establecieron dos especies: nacedero *T. gigantea* y chachafruto *E. edulis* a una distancia de 1 x 1 metro, varios años después se agregaron otras especies arbustivas como morera *M. alba* y botón de oro *T. diversifolia*, y herbáceas perennes como ramio *B. nivea*, e intercalado con estas especies se siembra maíz *Z. mays* y frijol *P. vulgaris* constituyéndose una despensa para alimentación animal y humana.



Finca Villa Victoria, Dagua, Valle del Cauca, Colombia

FINCA VILLA VICTORIA

En la finca Villa Victoria el sistema fue establecido en 1988 con nacedero *T. gigantea* y pizamo *E. fusca* a una distancia de 1 x 1 metro, con una dinámica similar al banco de El Ciprés introduciendo otras especies como botón de oro *T. diversifolia*, pringamosa *Urera caracasana*, gamboa *S. riparius*, morera *M. alba*, bore *Xanthosoma saggitifolium* y en los surcos mani forrajero *A. pintoii*, con coberturas espontáneas de *Commelina* sp. y besitos *Impatiens balsamina*.

Los bancos mixtos de árboles y arbustos son cultivos intensivos destinados a cortes de ramas verdes y hojas para alimentar animales.

Para la investigación se diseñaron arreglos de bancos mixtos así: Siembra mixta de botón de oro *T. diversifolia* en surcos dobles cada 50 centímetros en los extremos de las parcelas; en el centro, nacedero *T. gigantea* con distancias de 1 x 1 metro y *E. fusca* y *E. poeppigiana* cada tres metros como un segundo estrato.

En el pie de monte amazónico los arreglos fueron distribuidos por surcos y por especies con una distancia constante de 1m entre surcos y entre plantas. Dos surcos de matarratón *G. sepium*, tres de bohío *C. fairchildiana*, tres de nacedero *T. gigantea*, uno de cratilia *C. argentea*, y uno de pizamo *E. fusca*.



Banco forrajero mixto, Caquetá, Colombia.

Existen dos formas para establecer este sistema, una con manejo mejorado que incluye fertilizante de síntesis y cobertura con maní forrajero *A. Pintoi* y otra con manejo local fertilizado con lombricompostado una vez por año, a partir del segundo año se recomendó que una de sus cosechas fuera utilizada como abono verde.



La cantidad de carbono que pueda ser capturado por medio de la rehabilitación de las tierras degradadas será, por lo tanto en las áreas donde es técnica socioeconómicamente una opción viable (FAO 2001).



Banco mixto de forraje, Costa Rica.

PARCELAS DE ÁRBOLES



Parcelas nuevas en Dagua, Valle del Cauca, Colombia.

Para evaluar y comparar en cuatro años la acumulación del carbono, se establecieron nuevas parcelas de árboles en pasturas degradadas.

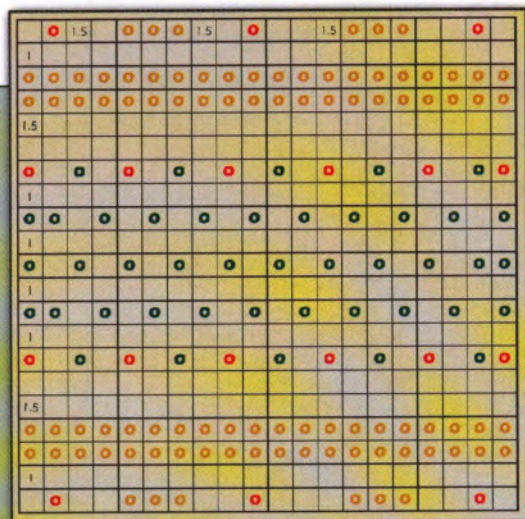


Parcelas nuevas en El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.

En los siguientes gráficos se muestran las distribuciones para las evaluaciones de nuevas parcelas experimentales.

LADERAS ANDINAS

Valle del Cauca, Colombia



○ Cachimbo: *E. poeppigiana*
 Pízamo: *E. fusca*



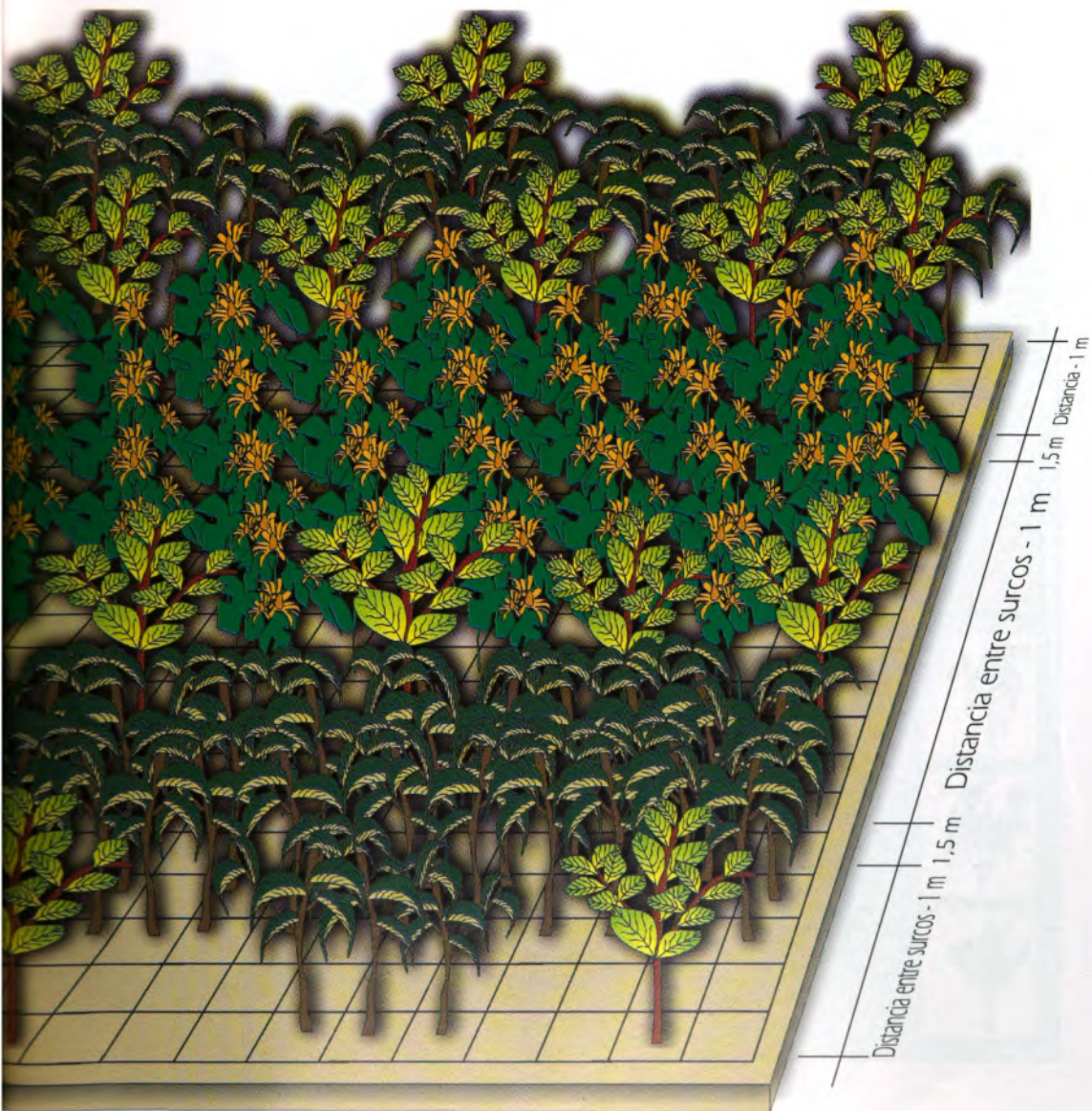
○ Nacedero: *T. gigantea*



○ Botón de oro : *T. diversifolia*



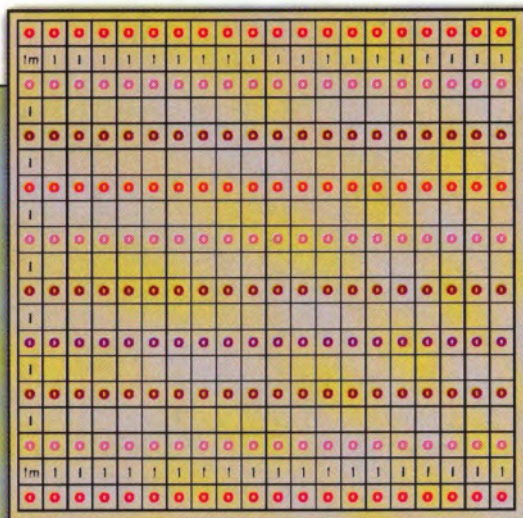
Distancia entre



plantas - 1,5 m

AMAZONIA

Caquetá, Colombia



○ Matarratón: *G. sepium*



○ Bohío: *C. fairchildiana*



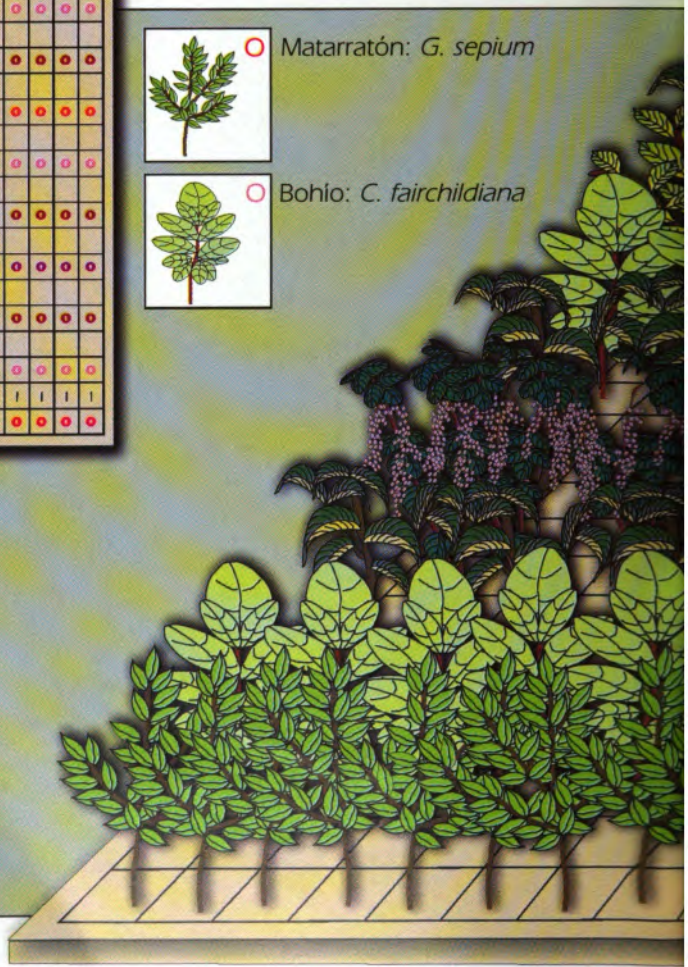
○ Nacedero: *T. gigantea*



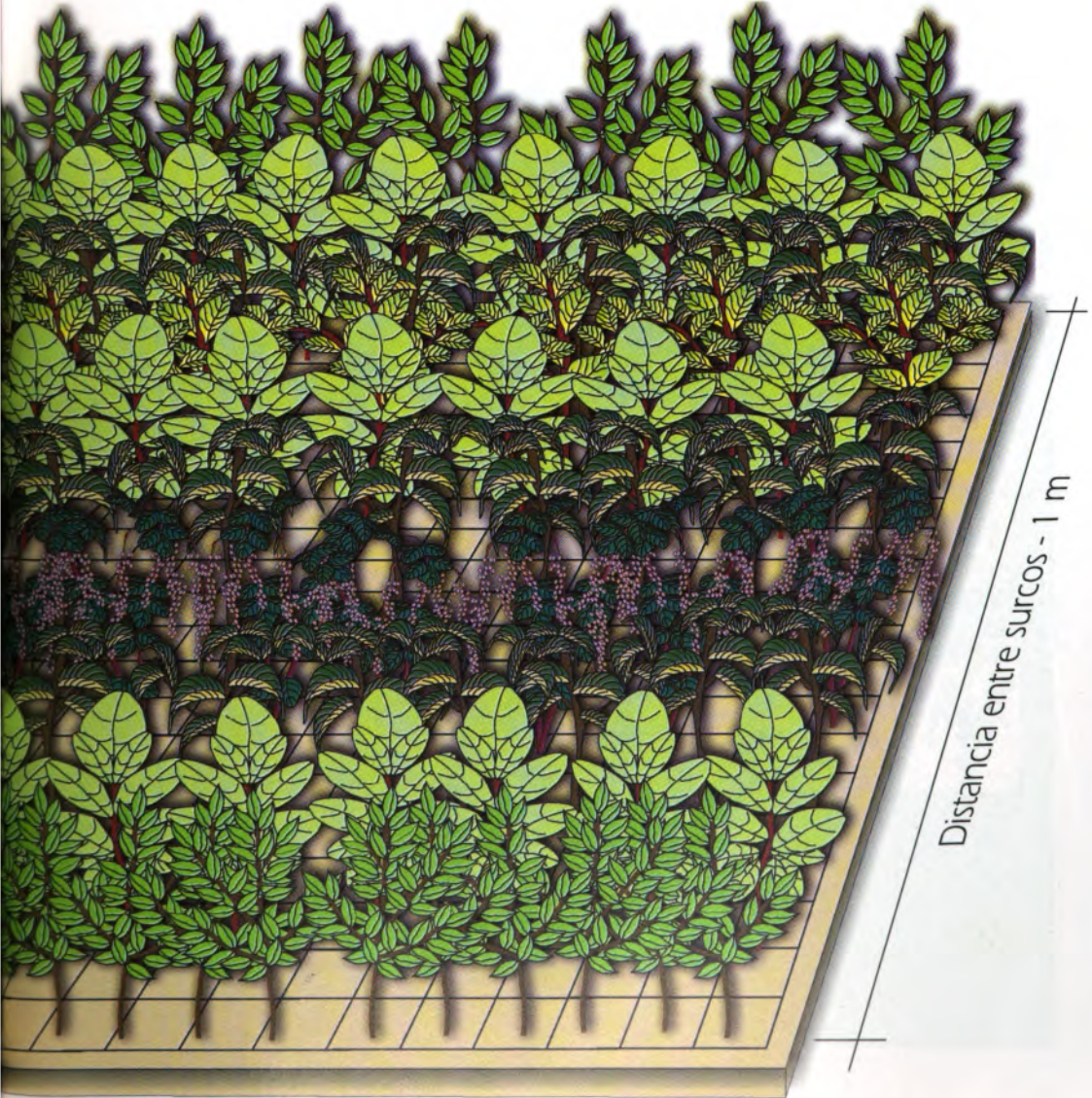
○ Cratilia: *C. argentea*



○ Pizamo: *E. fusca*

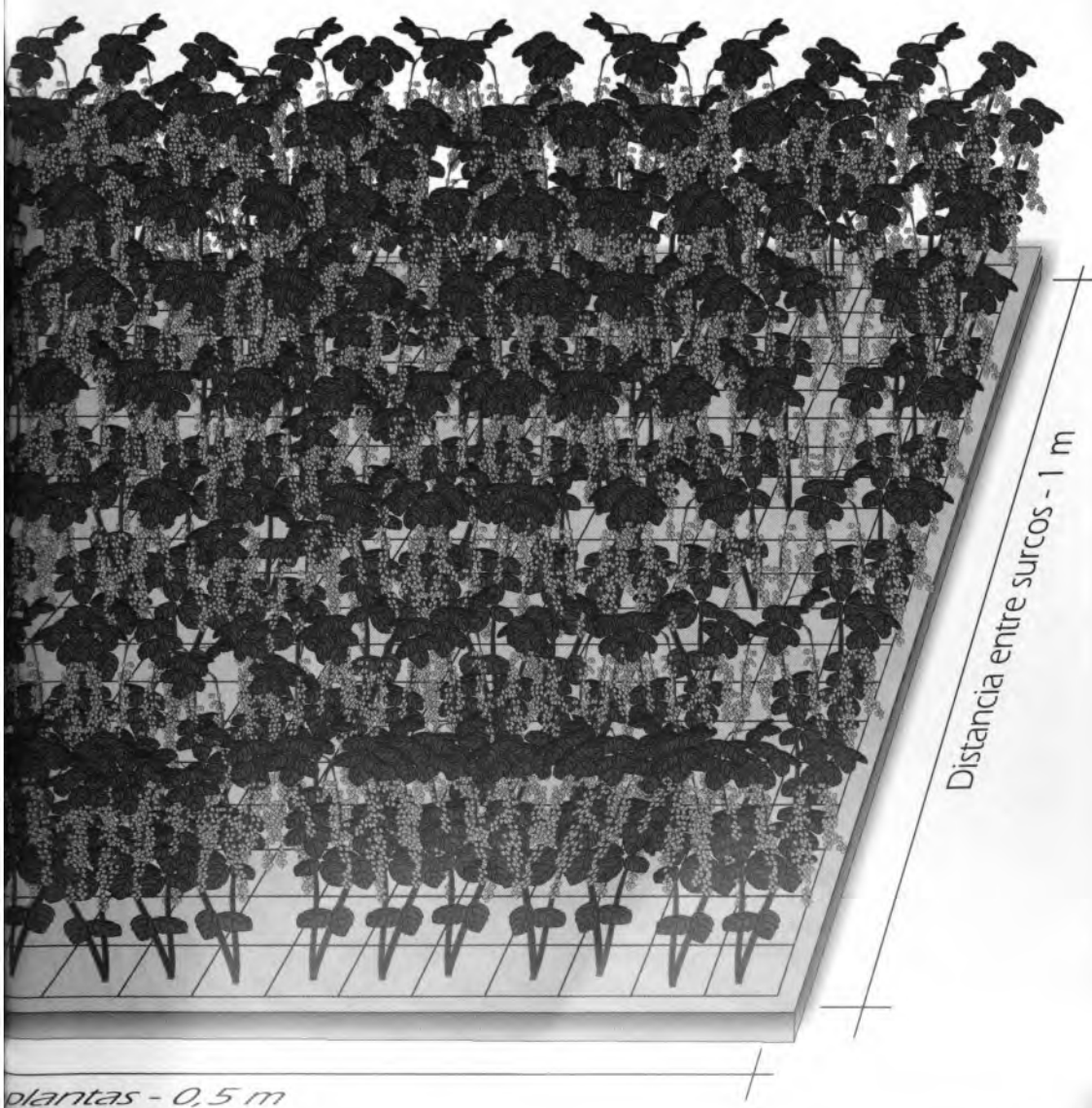


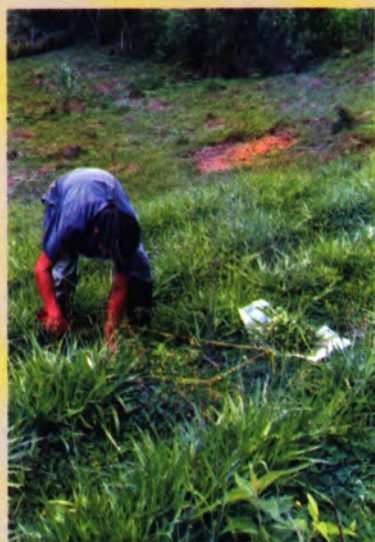
Distancia entre



Distancia entre surcos - 1 m

plantas - 1 m





Toma de muestras para la evaluación de la producción de forrajes en las parcelas nuevas.



Finca El Cambio, Dagua, Valle del Cauca, Colombia.

ESPECIES VEGETALES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO

NOMBRES CIENTÍFICOS, CLASIFICADOR BOTÁNICO, NOMBRE COMÚN Y FAMILIA DE LAS ESPECIES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Acacia mangium</i> Wild.	Acacia mangium	FABACEAE - Mimosaceae
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Yerva de chivo	ASTERACEAE
<i>Ananas comosus</i> L.	Piña	BROMELIACEAE
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Rabo de zorro	POACEAE – Gramínea
<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	Rabo de gato	POACEAE – Gramínea
<i>Arachis pintoi</i> Kaprov. & W.C. Gregory	Maní forrajero	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Arachis hypogea</i> L.	Maní	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	Arracacha	UMBELIFERACEAE
<i>Austroepatorium inulaefolium</i> (Kunth.) K & H.	Salvia	ASTERACEAE
<i>Chenopodium trinervis</i> Lam.	Chilca	ASTERACEAE
<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaud.	Ramio	URTICACEAE
<i>Brizantha brizantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) Stapf.	Brizantha	POACEAE – Gramínea
<i>Brachiaria decumbens</i> Staff.	Pasto Brachiaria	POACEAE – Gramínea
<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick.	Pasto Humidicola	POACEAE – Gramínea
<i>Calea penellii</i>	Chicharrón	ASTERACEAE
<i>Calea berteriana</i>	Almanga	ASTERACEAE
<i>Centrosema</i> sp.	Gallito	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard	Bohío	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Cratylia argentea</i> (Desv.) Kuntze	Veraniega	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pavón) Oken.	Nogal Cafetero	BORAGINACEAE
<i>Commelina virginica</i> L.	Suelda	COMMELINACEAE
<i>Cynodon plectostachyus</i> Schum.	Pasto Estrella	POACEAE – Gramínea
<i>Cynodon dactylon</i> L.	Argentina, Bermuda	POACEAE - Gramínea
<i>Cyphomandra betacea</i> (Cav.) Sendtn.	Tomate de árbol	SOLANACEAE
<i>Desmodium</i> spp.	Pega pega	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Pizamo	FABACEAE – Papilionoideae

NOMBRES CIENTÍFICOS, CLASIFICADOR BOTÁNICO, NOMBRE COMÚN Y FAMILIA DE LAS ESPECIES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli.	Chachafruto, Balú	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex Wigh	Borlitas	ASTERACEAE
<i>Glycine max</i> L.	Soya	FABACEAE – Papilionoideae
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp	Matarratón	FABACEAE - Papilionoideae
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	STERCULIACEAE
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Guadua	POACEAE - Bambusoideae
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Staf.	Puntero, Uribe	POACEAE- Gramínea
<i>Ischaemum indicum</i> (Houtt.) Merr.	Pasto Ratana	POACEAE – Gramínea
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.	Vendeaguja	POACEAE – Gramínea
<i>Melinis minutiflora</i> Veauv.	Pasto Yaraguá	POACEAE – Gramínea
<i>Montanoa quadrangularis</i> Schultz Bip. In K. Koch	Arboloco	ASTERACEAE
<i>Morus alba</i> L. y <i>Morus nigra</i> L.	Morera	MORACEAE
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Guinea, India	POACEAE – Gramínea
<i>Pennisetum hybridum</i>	King grass	POACEAE – Gramínea
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol	FABACEAE - Papilionoideae
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo	MYRTACEAE
<i>Pteridium aquilinum</i> L.	Helecho marranero	DENNSTAEDTIACEAE
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth	Kudzú	FABACEAE - Papilionoideae
<i>Sacharum officinarum</i> L.	Caña de azúcar	POACEAE – Gramínea
<i>Sida</i> sp.	Escoba	MALVACEAE
<i>Smallanthus riparius</i> (Kunth) H. Rob.	Gamboa	ASTERACEAE
<i>Stylosanthes</i> spp.	Estilosantes	FABACEAE - Papilionoideae
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) Gray	Botón de Oro	ASTERACEAE
<i>Trichanthera gigantea</i> (Humboldt et Bonpland) Nees	Nacedero	ACANTHACEA
<i>Urera carcasana</i> (Jacq.) Gaudich. ex Griseb	Pringamosa	URTICACEAE
<i>Xanthosoma saggitifolium</i> (L.) Shott	Bore	ARACEAE
<i>Zea mays</i> L.	Maíz	POACEAE - Gramínea

Amézquita M. C. 2002. Project objectives, Expected products and Research methodology. Carbon sequestration and farm income: Concepts and methodology. Internal Document No. 5. Research Network for evaluation of carbon sequestration capacity of pasture, agropastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem. p. 26-48. Cali, Colombia.

Amézquita, M. C. 2003. Evaluation and Analysis of Carbon Stocks in Pasture, Agro-pastoral and Silvo-pastoral Systems in Sub-ecosystems of the American Tropical Forest. In M.C. Amézquita & F. Ruiz (eds). Two-year Project, Achievements. Internal Publication No. 9, Carbon Sequestration Project The Netherlands Cooperation CO-010402, Fourth International Coordination Meeting. December 2003, CIAT, Cali, Colombia.

Amézquita, M. C., Ramírez H. F., Amézquita E., Giraldo H. & M. E. Gómez 2003. Carbon storage in long-established systems: 2-year research results Andean Hillsides, Colombia. In: Two-year project achievements. Internal document No. 9. 81-108. Research Network for evaluation of carbon sequestration capacity of pasture, agropastoral and silvopastoral systems in the the American tropical forest ecosystem. p: 33-62. Cali, Colombia.

Amézquita, M. C., M. Ibrahim & P. Buurman. 2004. Carbon sequestration in pasture, agropastoral and silvo-pastoral systems in the American Tropical Forest Ecosystem. In Proc. 2nd Intl. Congress in Agroforestry Systems, Mérida, Mexico, February 2004. p. 61-72.

Amézquita, M. C., Ibrahim, M., Buurman, P. & Amézquita, E., 2005 a. Carbon Sequestration in Pastures, Silvo-pastoral Systems and Forests in Four Regions of the Latin American Tropics. Special Issue of Journal of Sustainable Forestry, 21 (1): 21-49.

Amézquita, M. C., Ibrahim, M., Buurman, P. & Amézquita, E., 2005 b. Carbon Sequestration in Pastures, Silvo-pastoral Systems y Forests in Four Regions of the Latin American Tropics. Published in: Montagnini, F. 2005. (Ed.). Environmental Services of Agroforestry Systems. Haworth Press. New York.

Batjes, N. H. & W. G. Sombroek. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. Global Change Biology. 3: 161-173.

- Buurman, P., M. Ibrahim & M. C. Amézquita. 2004. Mitigation of greenhouse gas emissions by silvopastoral systems: optimism and facts. In Proc. 2nd Intl. Congress in Agroforestry Systems, Mérida, Mexico, February 2004.
- CATIE & Guelph. 2000. Evaluaciones de carbono en sistemas silvopastoriles. Publicación interna, Proyecto de Agroforestería Tropical, CATIE.
- Cassel, D. K. & R. Lal. 1992. Soil physical properties of the tropics: common beliefs and management restrains. In: R. Lal & P. A. Sánchez (eds.). Myths and science of soil in the tropics. American Society of Agronomy. SSSA, Special publication, Madison, USA.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1999-2005. Tropical Forages Project Annual Reports. Cali, Colombia.
- Craswell, E. T. & R. D. B. Lefroy. 2001. The role and function of organic matter in tropical soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61: 7-18.
- Ellert, B. H., Janzen H. H. & T. Entz. 2002. Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1687-1695.
- FAO. 2001. State of the World's Forests. Rome, Italy.
- FAO. 2001. Conferencia electrónica de la FAO: "Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales". Disponible en: <http://lead.virtualcentre.org/es/frame.htm>. Consultada en junio de 2006.
- FAO. 2002. Food balance sheets. Rome, Italy.
- Gómez, A. & H. Rivera, 1987. Descripción de malezas en plantaciones de café. Centro Nacional de Investigación del café (Cenicafe). Chinchiná, Colombia. 490 p.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. Academy Press, New York.
- Holdridge, L. R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San Jose, Costa Rica.
- Ibrahim, M. & F. Casasola, 2002. Macrocaracterización de las áreas experimentales sub-ecosistema bosque tropical húmedo y sub húmedo Costa Rica En: Proyect objectives, Expected products and Research methodology. Carbon sequestration and farm income: Concepts and methodology. Internal Document No. 5. Research Network for evaluation of carbon sequestration capacity of pasture, agropastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem. 170 p. Cali, Colombia.

- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. Mc Graw-Hill, 281 pp. New York.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation Central America in the 1980s and 1990s: a policy perspective. Center for International Forestry Research (CIFOR), Special Publication, Jakarta. pp. 88.
- Lal, R. 1994. Global overview of soil erosion. In: Baker, R., Gee, G. & C. Rozenzweig, Soil and water science: Key to understanding our global environment. S.S.S.A. Special Publication N°41. 163 p.
- León, J. D. 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Llenderal, T. & M. Ibrahim. 2004. Biophysical Analysis: Advancement Report Sub-humid and humid Tropical Forest, Costa Rica. In Six-months Report No. 5, Internal Document No. 11. Carbon Sequestration Project, The Netherlands Cooperation CO-010402, Cali, Colombia.
- Malhi, Y., P. Meir & S. Brown. 2002. Forests, carbon and global climate. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 360: 1567-1591.
- Piedrahita, L. 2004. Caracterización de la vegetación arbórea y arbustiva para la investigación de especies adecuadas para restauración ecológica en El Dovio, Valle del Cauca. Tesis Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 130 p.
- Ramirez, B. & J.C. Suárez, 2002. Macrocaracterización del Ecosistema Bosque Húmedo Tropical de América - Caso Amazonia Colombiana En: Carbon sequestration and farm income: Concepts and methodology. Internal Document No. 5. Research Network for evaluation of carbon sequestration capacity of pasture, agropastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem. 170 p Cali, Colombia.
- Ramírez, B. 2003. Avances de dos años de investigación del proyecto "Red de evaluación de la capacidad de captura de de carbono de sistemas de pasturas, agropastoril y silvopastoril del ecosistema bosque tropical de América. En: Two-year projet achievements .Internal document No. 9. 81-108. Cali, Colombia.
- Schlesinger, W. 2000. Biogeoquímica. Un análisis del cambio global. Editorial Ariel S. A. Barcelona, España.
- Stork, N. E. & P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. American Journal of Alternative Agriculture 7 (1-2): 38-47.

- Toledo, J. M. 1985. Pasture development for cattle production in the major ecosystems of the tropical American lowlands. In Proc. of the XV Intl. Grasslands Congress, pp. 74-81. Kyoto, Japan.
- UNFCCC COP3. 1997. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its third session, December 1-10, Kyoto, Japan.
- UNFCCC COP4. 1998. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its fourth session, November 2-13, Buenos Aires, Argentina.
- UNFCCC COP5. 1999. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its fifth session, October 25 - November 5, Bonn, Germany.
- UNFCCC COP6. 2000. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its sixth session, November 13-24, The Hague, The Netherlands.
- UNFCCC COP7. 2001. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its seventh session, October 29 - November 9. Marrakech, Morocco.
- UNFCCC COP8. 2002. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its eighth session, October 23 - November 1. New Delhi, India.
- UNFCCC COP9. 2003. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its ninth session, December 1-12. Milan, Italy.
- UNFCCC COP10. 2004. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties at its tenth session, December 6-17. Buenos Aires, Argentina.
- USDA. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3, United States Department of Agriculture, Washington D. C., U.S.A., 693 pp.
- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 175-180.
- Wolters V., Silver W. L., Bignell D. E., Coleman D.C., Lavelle P., van der Putten W. H. de Ruiter P., Rusek J., Wall D. H., Wardle D. A., Brussaard L., Dangerfield J. M., Brown V. K., Giller K., Hooper D.U., Sala O., Tiedje J. & J. A. van Veen. 2000. Effects of global changes on above- and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *BioScience* 50:1089-1098.