



Agence canadienne de  
développement international

Canadian International  
Development Agency



# **Proyecto: “Diversificando Ingresos, Conservando Hábitats Raros y Secuestrando Carbono en el Bosque Atlántico”**

Informe Final

Estimación del Potencial de Secuestro de Carbono  
En la Reserva de Recursos Manejados de San Rafael

Autores: Ángel Parra, Richard Elsam, Oscar Rodas, Karen Penayo\*  
Lucio Pedroni\*\*



ASOCIACIÓN GUYRA PARAGUAY  
Asunción - Paraguay  
Junio 2004

\* Asociación Guyra Paraguay

\*\* Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (C.A.T.I.E)

## 1. INTRODUCCION

Guyra Paraguay con el apoyo de Canadian Nature Federation (CNF) Canadian International Development Agency (CIDA) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (C.A.T.I.E)

Este estudio se enmarca dentro del componente Carbono del proyecto Diversificando Ingresos Secuestrando Carbono y Conservando Hábitats Raros en el Bosque Atlántico del Alto Paraná.

Tiene como objetivo primario desarrollar la capacidad de monitorear el flujo de carbono en el bosque Atlántico del Alto Paraná y desarrollar modelos en base a los patrones de cambio en el uso de la tierra que se dan en la región del Bosque Atlántico del Alto Paraná. (BAAPA) mediante el análisis de imágenes de satélite y de datos de inventarios forestales ya efectuados y complementados con datos de mediciones forestales nuevas se intentará estimar el perfil de emisiones de CO<sub>2</sub> que acompañó el proceso de deforestación y degradación de los bosques en esta área durante el período de 1989 al 2002. La evaluación de las emisiones históricas es un enfoque metodológico aceptado para estudios de línea de base, así que podrá servir para completar un estudio de línea de base en el futuro.

Tomando en cuenta las limitaciones de tiempo y recursos de la etapa actual, se propone tomar la Reserva de San Rafael y su área de amortiguamiento como un estudio de caso del Bosque Atlántico del Alto Paraná.

### 1.1 Visión general

La alta tasa de deforestación y explotación maderera del Bosque Atlántico del Alto Paraná paraguayo, inclusive dentro de las áreas protegidas, está degradando y reduciendo el área de los últimos grandes parches de bosque que quedan en el país. El resultado es un paisaje fragmentado, con parches de bosques cada vez más pequeños, biológicamente aislados y cada vez más disturbados y por lo tanto poco viables en el largo plazo.

Los impactos de estos procesos son múltiples y severos:

- Ecológicos: pérdida de biodiversidad, alteración del suelo, emisión de gases de efecto invernadero, contaminación por agro-químicos.
- Económicos: erosión de suelos llevando a pérdidas en la fertilidad de los suelos y en la producción agro-pecuaria e incrementando la sedimentación en embalses estratégicos para el país; pérdida de un recurso (el bosque) que podría producir bienes y servicios de manera sostenible, creando empleos y diversificando fuentes de ingreso; aumento del costo de futuros proyectos de restauración de los bienes y servicios de los ecosistemas afectados.
- Sociales: concentración de campesinos sin tierras en las áreas de bosques remanentes para desmontar y vender mejoras llevando a tensiones sociales entre propietarios, campesinos, comunidades indígenas, grupos conservacionistas locales e instituciones del estado.

La tasa de deforestación del Bosque Atlántico del Alto Paraná es considerada entre las más altas del mundo, lo cual ofrece una pésima imagen exterior de la gestión ambiental del país. Desde hace varias décadas, los bosques de esta región han sufrido de la expansión agrícola-ganadera, a tal punto que actualmente la cobertura boscosa se ha reducido a un 16% de la superficie total (SARO, 1998). De facto, esta gestión está en manos privadas, **siendo el 97% del territorio nacional de propiedad privada**. Por lo tanto, cualquier intervención para revertir

los patrones de uso insostenible de la tierra deberá, obligatoriamente, pasar por una revisión de los incentivos que motivan las conductas de los propietarios de la tierra. Este enfoque podría ser más efectivo de la expropiación o compra de propiedades para fines de conservación. En efecto, al tener que administrar un área protegida, tanto el estado como las organizaciones conservacionistas locales podrían tener dificultades en conseguir los fondos necesarios en forma sostenible.

La velocidad con que se está perdiendo el Bosque Atlántico del Alto Paraná y el potencial que este proceso tiene para acentuar los impactos ambientales y los conflictos sociales que ya se observan justifica el diseño y la implementación de acciones correctivas. La implementación de tales medidas podría ser facilitada por flujos financieros procedentes de los mercados emergentes de certificados por reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), siempre y cuando se cumplan los requisitos de participación de estos mercados.

En forma aislada, los miembros de la Alianza podrían tener deficiencias para proponer e implementar un proyecto que tenga el alcance temático, geográfico y socio-político necesario para resolver la compleja problemática del Bosque Atlántico del Alto Paraná. Sin embargo, trabajando conjuntamente, y con el apoyo de *partners* estratégicos, incluyendo las instituciones del Estado, podrían tener a su alcance la opción de un tal proyecto. Organismos como el GEF, el Banco Mundial (*BioCarbon Fund*) y posiblemente otros podrían estar receptivos de una propuesta bien diseñada. Para este fin, podría ser estratégico para la Alianza recurrir al apoyo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), sobre todo tomando en cuenta que Paraguay es ahora miembro de este centro.

Para lograr la formulación de un proyecto será necesario, además de las estimaciones de carbono para fines de estudios de línea base, discutir e identificar aquellas opciones de acción concreta que podrían motivar a los propietarios de la tierra a conservar y los recursos forestales remanentes y a restaurar los paisajes forestales degradados. Cualquier opción que se considere para estos fines deberá revisar e incidir sobre la estructura de incentivos que motivan las decisiones de los propietarios de la tierra, pues prácticamente el 100% del Bosque Atlántico del Alto Paraná, inclusive dentro de las áreas protegidas, está en manos privadas. Estas opciones deberán buscar soluciones de tipo “*win-win*” para los diferentes grupos sociales (grandes propietarios, comunidades indígenas, campesinos sin tierras o con parcelas asignadas) mientras que el Estado, en nombre del bien común que defiende, deberá eventualmente estar dispuesto a modificar sus políticas, por ejemplos en términos tributarios y en otros rubros.

Un eventual proyecto futuro podría desarrollarse en tres diferentes etapas.

- En la primera se completarían los estudios básicos, tales como el estudio de línea base, el análisis de incentivos y desincentivos a la conservación y restauración de ecosistemas naturales, etc. Los estudios permitirán formular varias hipótesis sobre las acciones que serían capaces de modificar los patrones de uso de la tierra, particularmente de los paisajes forestales. Esta etapa terminaría con la formulación de un proyecto de varios componentes, que la Alianza y sus *partners* estratégicos implementarían en áreas seleccionadas del Bosque Atlántico del Alto Paraná.
- La segunda etapa serviría para implementar el proyecto en áreas seleccionadas, aplicando los incentivos y mecanismos que modificarían los patrones de uso de la tierra a favor de la conservación y restauración de los paisajes forestales y de la minimización de los conflictos sociales.
- De las lecciones aprendidas en la segunda etapa se procedería con la tercera y última etapa: la formulación e implementación de los ajustes políticos y legales necesarios para

dar sostenibilidad a la conservación y rehabilitación de los paisajes forestales en toda el área del Bosque Atlántico del Alto Paraná.

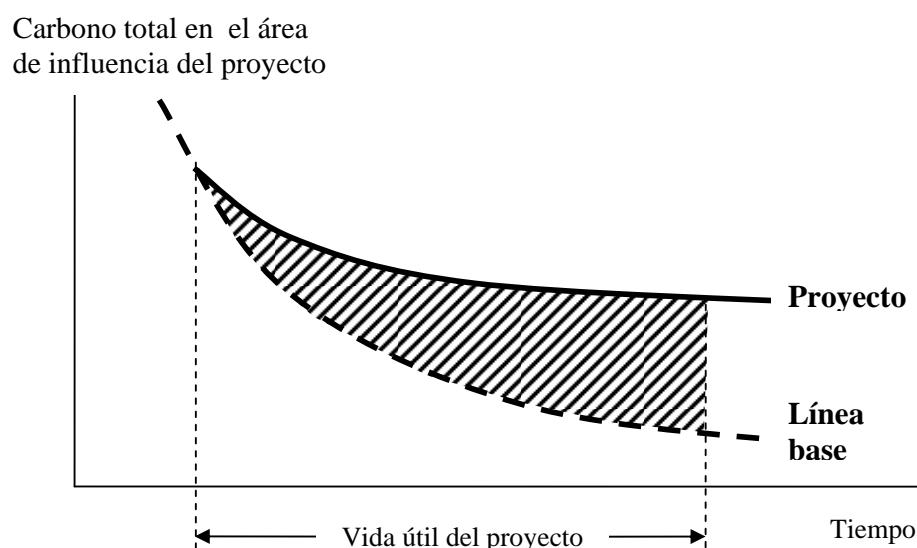
En el marco de la visión arriba expuesta y tomando en cuenta las limitaciones de tiempo y recursos de la etapa actual, se tomó la Reserva de San Rafael y su área de Amortiguamiento como un estudio de caso del Bosque Atlántico del Alto Paraná.

Mediante el análisis de imágenes de satélite y de datos de inventarios forestales ya efectuados y complementados con datos de mediciones forestales nuevas fue posible se realizó un primer estimado de las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que resultaron del proceso de deforestación y degradación de los bosques en el período del 1989 al 2002. La evaluación de las emisiones históricas es un enfoque metodológico aceptado para estudios de línea de base, así que el presente estudio podrá servir para completar un estudio de línea de base en el futuro.

## 1.2 Una aclaración

Es importante aclarar que la mera existencia de carbono en las áreas que se pretenden conservar no es objeto de ninguna transacción dentro del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL). Solamente las actividades de forestación y reforestación en terrenos que estuvieron sin cubierta forestal en el 1990 son elegibles para este mecanismo. Esta decisión es válida solamente para el primer período de cumplimiento (2008-2012), debiéndose re-negociar la elegibilidad de la conservación como actividad de reducción de emisiones para los períodos subsiguientes.

En el caso de que la conservación de bosques fuese una actividad elegible en mercados paralelos al MDL o futuros, tampoco sería la existencia o (“*stock*”) de carbono lo que tendría un valor de mercado. Lo único que se podría vender es el carbono que un proyecto lograría mantener almacenado en la biomasa o en el suelo y que se perdería en ausencia de las actividades del proyecto. En otras palabras, como se indica en la Figura 1 siguiente, el carbono que se puede vender es la diferencia entre lo que hace un proyecto y su línea base.



**Figura 1: Stock de carbono acumulado en la Línea de Base y en el Proyecto**

## 2. Objetivos y alcances

El objetivo general del estudio es estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que fue emitida a la atmósfera como consecuencia de la deforestación y degradación de los bosques en la reserva de San Rafael y sus alrededores durante el período 1989-2002 y así generar información que será necesaria en el marco de un eventual estudio de línea base<sup>1</sup> a efectuarse posteriormente.

### 2.1 Los objetivos específicos son los siguientes:

- Realizar una estimación preeliminar de la existencia de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) en la Reserva de Recursos Manejados de San Rafael.
- Estimar el potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de un proyecto que logre disminuir la tasa de deforestación en un 50% con respecto a la actual.
- Estimar el costo del monitoreo del carbono registrando los costos del establecimiento y medición de parcelas en el bosque, así como del análisis de muestras en el laboratorio.

Para estimar las emisiones históricas se utilizaron datos de inventarios forestales existentes y datos nuevos obtenidos mediante la instalación y medición de parcelas en bosques y el análisis de muestras en laboratorio. Las intensidades de muestreo aplicadas fueron relativamente bajas debido a las limitaciones de tiempo y recursos.

De las muestras tomadas será posible estimar en estudios posteriores la variancia de la densidad de carbono (toneladas de C por hectárea, tC/ha) en estos bosques, a fin de estimar el número de parcelas de muestreo que será necesario establecer y medir en el futuro para lograr una estimación del carbono con una precisión y nivel de significancia deseados.

El costo de los levantamientos en el campo y de los análisis de laboratorio también fueron registrados, lo cual permitirá incluir la variable de costo, además de la variancia, en el diseño de futuros estudios.

## 3 Metodología y procedimientos

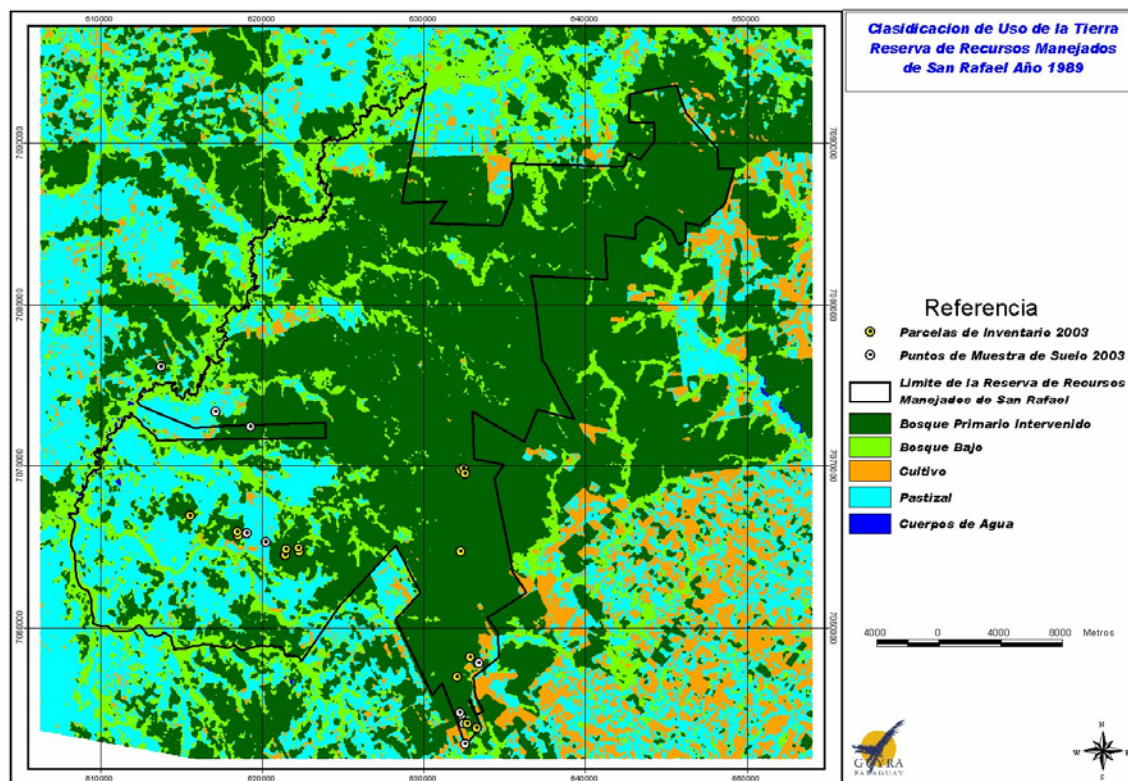
### 3.1 Área de Estudio

La Reserva de Recursos Manejados de San Rafael se encuentra en el sureste de la región oriental del Paraguay, entre las coordenadas: 26°37'17.8"S; 55°53'42"W y 26°18'7.2"S; 55°29'50.6"W

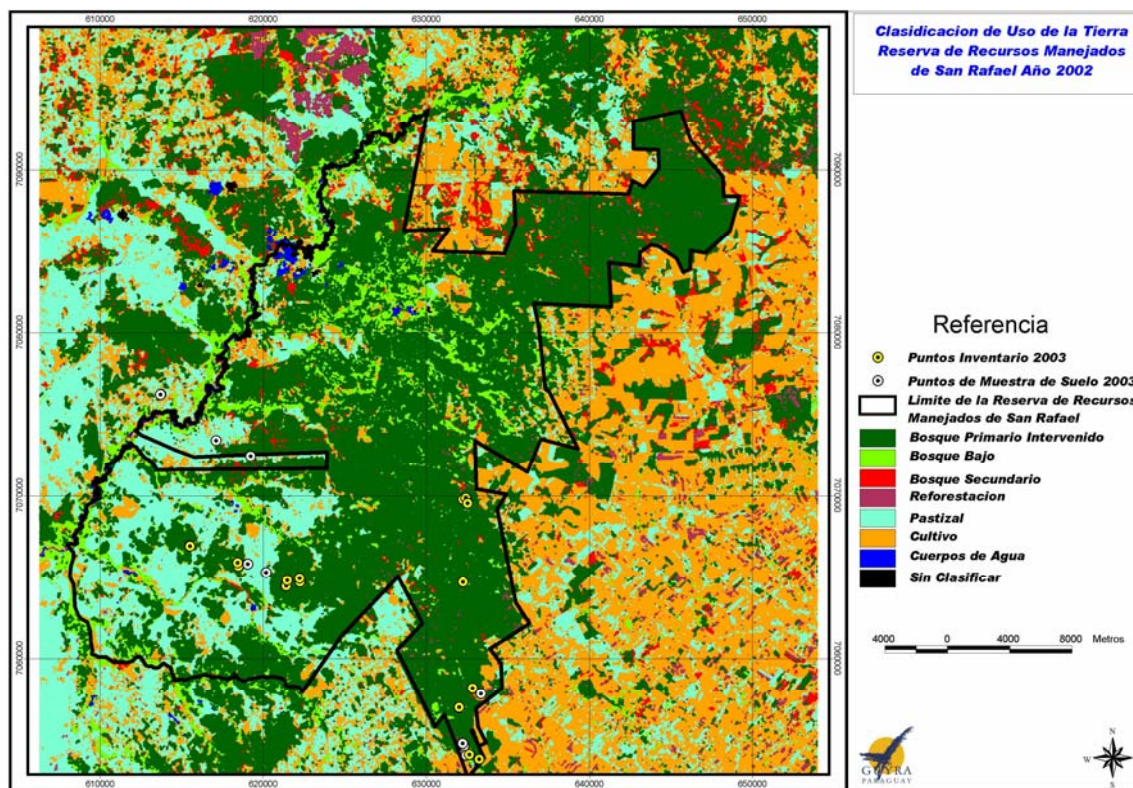
---

<sup>1</sup> Para completar un estudio de línea base para un proyecto de reducción de emisiones de GEI será necesario, en etapas posteriores, efectuar un análisis de las causas o *drivers* (factores y procesos) de la deforestación y degradación de los bosques en San Rafael. Una vez que tales causas hayan sido identificadas y explicadas, habrá que desarrollar un modelo que permita proyectar hacia el futuro la deforestación y degradación de los bosques de una manera cuantitativa. En este ejercicio de modelación, se deberá tomar en cuenta todos aquellos cambios en el entorno legal, institucional, económico y social que pueden ser anticipados y que inciden en los procesos de deforestación y degradación de los bosques de acuerdo con el análisis histórico de las causas o *drivers*. De último, habrá que estimar las emisiones futuras que resultarían de los procesos futuros de deforestación y degradación de los bosques.





**Figura 2:** Cobertura del uso de la tierra año 1989



**Figura 3:** Cobertura del uso de la tierra año 2002 y ubicación de las parcelas de inventario forestal

La morfología de la Reserva se integra por llanuras, mesetas aisladas, cadenas de cordilleras de diversas alturas y depresiones inundables. Hidrológicamente pertenece a las cuencas de los ríos Paraná y Paraguay. La zona que pertenece a la cuenca del Paraná posee los mayores regímenes de precipitación (1800mm/año), presenta árboles de mayor porte, bosques más densos (aunque esta condición ha sido modificada por la intensa explotación) y un mayor contenido de arcilla en los suelos. La zona perteneciente a la cuenca del río Paraguay es un poco más seca (1600 mm/año) y presenta suelos más friables, lo cual favorece el desarrollo de bosques sub-húmedos, con una fisonomía diferente, menos densos y de menor estratificación.

### 3.2 Parámetros climáticos

La Reserva se encuentra en una de las zonas del Bosque Atlántico del Alto Paraná donde se producen los mayores niveles de precipitación, siendo el promedio anual en el rango de 1100–1800mm al año. Las temperaturas promedio oscilan de 21 y 22 °C y la humedad relativa entre el 60% y 90% durante todo el año (DMH, 1992)

### 3.3 Vegetación natural

A fin de simplificar la clasificación de los tipos de vegetación encontradas en el área de estudio se procedió a unificar en categorías y estratos para estimar la densidad de carbono.

Tipo de Formación	Estrato correspondiente
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bosque húmedo semi-caducifolio (Tortorelli, 1967)</li> <li>Bosque sub-húmedo semicaducifolio</li> </ul>	Bosque Primario Intervenido
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bosque de ribera</li> <li>Bosque de bambú</li> </ul>	Bosque Bajo
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bosque modificado</li> </ul>	Bosque Secundario
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sabana</li> <li>Sabana hidromórfica o humedales</li> </ul>	Pastizales

Las formaciones vegetales de la región Oriental, en la cual se halla insertada la Reserva de San Rafael, si bien están conocidas, carecen de descripciones detalladas. Excepciones lo constituyen algunos trabajos realizados en áreas cercanas a la Reserva, donde se ha realizado un listado de especies y descripciones para áreas potenciales de conservación (Acevedo *et al.*, 1990; Holdridge, 1967; Spichiger *et al.*, 1992 y 1995; San Jurjo, 1992). Los tipos de formaciones vegetales descritos en el área de la Reserva y sus alrededores son los siguientes:

#### 3.3.1 Bosque húmedo semi-caducifolio (Tortorelli, 1967)

Las denominaciones utilizadas en la literatura para referirse a esta formación son múltiples, incluyendo: “bosque templado húmedo” o “selva hidrófila” (Holdridge, 1967), “dominio

amazónico” o “provincia paranaense” (Cabrera y Willink, 1973), “bosque semi- residual subtropical” (UNESCO, 1973), “formación alto-paranaense” (Spichiger *et al.* 1992 y 1995).

En el pasado, el bosque húmedo semi-caducifolio ha sido el tipo de formación predominante del área de la Reserva. Debido a la explotación, actualmente esta formación se encuentra en un estado muy alterado, tanto en su estructura como en su composición, llegando al punto de que algunas especies dominantes han pasado a ser muy escasas. Aproximadamente el 30% de las especies leñosas son residuales (San Jurjo, 1992).

Esta formación suele desarrollarse bajo un régimen de precipitaciones de hasta 1800mm anuales y sobre suelos de francos a franco arcillosos, rojos y bastante profundos. Se pueden observar de 4 a 5 estratos de vegetación, llegando el superior a unos 30m de altura con abundantes lianas y epifitas. Entre las especies preponderantes se destacan: *Tabebuia heptaphylla* (lapacho), *Astronium fraxinifolium* (urunde y para), *Syagrus romanzoffianum* (pindo), *Cedrela fissilis* (cedro), *Cordia trichótoma* (peterevy), *Macarherium stipitatum* (ysapy y moroti), *Peltophorum dubium* (yvyra pyta), *Balfourodendron riedelianum* (guatambu), *Patagonula americana* (guajayvi), *Holocalyx balansae* (yvyra pere), *Diatenopterix sorbifolia* (yvyra piú), *Myrocarpus frondosus* (incienso), y *Enterolobium contortisiliquum* (timbo).

### 3.3.2 Bosque sub-húmedo semicaducifolio

Este tipo de formación se encuentra con una precipitación de entre 1600 y 1700mm anuales, sobre varias de las mesetas de las cordilleras del centro de la región Oriental que presentan suelos poco profundos, arenosos arriba, con abundante materia orgánica, con afloramiento de materiales rocosos y bastante friables, con excepciones de aquellos sitios en donde los suelos son más parecidos a aquellos sobre los que se desarrollan los bosques húmedos, hacia el este de la cuenca del Tebicuary-mí.

La vegetación presenta de 3 a 4 estratos, alcanza unos 20m de altura y tiene presencia de lianas y epifitas.

Estos bosques pueden considerarse relictos, debido a su escasez en todo el mundo y por la imposibilidad de reproducirse muy fácilmente debido a las deterioradas condiciones naturales.

Entre las especies preponderantes se destacan:

- Dentro del primer estrato (más bajo): *Luehea divaricata* (ka’a oveti), *Xilopia brasiliensis* (yvyra katu), *Patagonula americana* (guajayvi), *Cedrela fissilis* (cedro), *Peltophorum dubium* (yvyra pyta), *Ficus enormes* (guapoy), *Diplokeleba floribunda* (palo piedra).
- En el segundo estrato: *Plinia rivularis* var. *Baporeti* (yavaporoty), *Sorocea bonplandii*, *Ceiba pubiflora* (samu’u), *Jacaratiá spinosa* (jacarati’a), *Diatenopterix sorbifolia* (yvyra pi’u), *Cupania vernalis* (yaguarata’y), *Helietta apiculata* (yvyra ovi), *Rupechtia laxiflora*, *Allophyllus edulis* (koku), *Chrysophyllum gonocarpum* (aguai), *Chrysophyllum marginatum* (pykasu rembi’u), *Campomanesia xanthocarpa* (guavira), *Copaifera langsdorfii* (kupa’y), y *Esembeckia* sp.
- En el tercer estrato: *Pilocarpus pennatifolius* (yvyra tai), *Trichillia catigua* (catigua), *Trichillia elegans* (caavo rovei), *Cereus stenogonus* (tuna), *Fagara hyemalis*, *Hexaclamis edulis* (yva hai), *Miconia* sp, *Rheedia brasiliensis* (pacuri), *Cyathea* sp y *Alsophylla aff.cuspidata* (chachi), y *Pereskia aculeata* (tuna).
- Entre las herbáceas más comunes que aparecen en el sotobosque se mencionan: *Piper*



*amalago* var. *medium*, *P. flavulescens* (cuando la humedad es muy alta), *Piper gaudichaudianum*, *Begonia cucullata* var. *cucullata* (agrial), *Maranta sobolifera*, *Calathea* sp (en condiciones de humedad elevada). En algunas partes el suelo se encuentra tapizado de *Hydrocotyle callicephala*, *Heliotropium transalpinum* y diversas pteridofitas tales como: *Adiantopsis radiata*, *Adiantopsis chlorophylla*, *Doryopteris nobilis*, *Pleopeltis squamulosa*, *Belchnum brasiliense*, *Didymochlaena truncatula*, y *Thelipteris* sp.

### 3.3.3 Bosque de ribera

Los bosques de ribera se ubican en los bordes de los cuerpos de agua. Por lo general presentan 2 estratos de vegetación, con unos 10-12m de altura en el estrato superior y con presencia de lianas, escasas epifitas y con sotobosque ralo. Se inundan frecuentemente con las lluvias intensas, debido al desborde de los cursos de agua. Se desarrollan sobre suelos inundables, con dominancia de arcillas y una capa de arena superior que es fácilmente erosionable. Las especies preponderantes son las siguientes: *Guadua angustifolia* (tacuara), *Chusquea ramosissima* (tacuarembó), *Pithecellobium scalare* (tatara), *Gleditsia amorphoides* (espinosa de corona), *Psidium guajava* (guayaba), *Sapium haematospermum* (kurupi ka'y), *Croton urucurana* (sangre de drago), *Inga verna* var. *affinis*, *Esenbeckia grandiflora*, *Maclura tinctoria* (tatajyva, mora), *Trichillia elegans*, *Trichillia catigua* (catigua pyta), *Enterolobium contorsiliquum* (timbo), *Sebastiana brasiliensis*, *Celtis pubescens* (juasy'y), entre otras.

### 3.3.4 Bosque modificado

Aparecen como consecuencia de la degradación de las formaciones prístinas, en donde los suelos han sido modificados ya sea por la ganadería, la agricultura no mecanizada o ambas actividades. Estos bosques se reconocen por la presencia de especies pioneras típicas de los procesos de sucesión secundaria, entre ellas: *Cecropia pachystachya* (amba'y), *Pterogyne nitens* (yvyra ró), *Albizia hassleri* (yvyra ju), *Phytolaca dioica* (ombú), *Acacia paniculada* (jukeri poñy), *Urera caracasana* (pyno guasu), *Urera baccifera*, *Solanum granulosum* – *leprosum* (hui moneha), *Schinus molle* (molle guasu), *Tabernaemontana catharinensis* (sapirangy), *Casahuate sylvestris* (burro ka'a), *Guazuma ulmifolia* (kamba aka), *Cabrelea canjerana* (cancharana), *Trema myrcantha* (kurundi'y), y *Aloysia virgata*, entre otras.

Entre las herbáceas de suelo modificado aparecen frecuentemente: *Acanthospermum australe* (tapecue), *Borreria poaya*, *Calea uniflora*, *Crotalaria maypurensis*, *Heliotropium indicum*.

Stutz de Ortega (1983, 1984, 1987 y 1989) menciona que en las sucesiones secundarias son muy abundantes las lianas heliófitas tales como: *Sejania glabarata*, *S. meridionalis* y *S. laurotteana*, *Paullinia elegans*, *Mascagnia breviflora*, *Forsteronia pubescens* y *F. glabrescens*, *Clematis dioica*, *Mikania scandens*, entre otras.

Otras especies consideradas indicadoras de la presencia antropogénica son: *Pterogyne nitens* (yvyra ró), *Ficus enormes* (guapo'y), *Seguiera aculeata* (joyvy), *Rollinia emarginata* (aratiku), entre otras.

### 3.3.5 Bosque con bambú

Se presentan como poblaciones puras de *Chusquea ramosissima* y *Guadua angustifolia*, las "takuaras", llegando a medir a veces unos 8 – 10 metros de altura. Prácticamente no permiten la entrada de otras especies ni aceptan lianas en sus bordes. Se desarrollan sobre

suelos friables, bastante arenosos en superficie y con afloramientos rocosos. Son muy comunes en la ribera del Río Tebicuary.

### 3.3.6 Sabanas

Son formaciones con dominancia de ``campos'', sean estos inundables o no. En el área de San Rafael la sabana de pastizales se ubica en áreas de transición (ecotono) entre los bosques y las sabanas hidromórficas o humedales. Por lo general su uso es ganadero o de cultivo de subsistencia. Dominan gramíneas y ciperáceas entre las cuales destacan: *Elionorus muticus*, *Schyzachyrium condensatum*, *Rhynchelitrum repens*, y *Cyperus diffusus*.

### 3.3.7 Sabanas hidromórficas o humedales

Por lo general se ubican en las depresiones que se encuentran en las cercanías de los cursos de agua y pueden abarcar superficies importantes, ya que las áreas inundables contiguas a los cursos de agua pueden ser extensas, formando verdaderas sábanas hidromórficas. Los suelos de estas sabanas son muy arcillosos, especialmente en el estrato superior.

La fisonomía de la vegetación es hidromórfica, con una vegetación dominada por herbáceas de naturaleza acuático-palustre y rizomatozas con algunos arbustos. La vegetación puede ser descrita en tres grupos:

- Semi-sumergidas o arraigadas, tal como *Pontederia cordata* var. *cordata*, *Thalia geniculata*, *Nymphoides humboldtiana*.
- Flotantes libres: *Eichornia crassipes* (aguape puru'a), *Pistia stratiotes* (repollito de agua), *Lemna sp* (lenteja de agua).
- Palustres: *Tibouchina sp*, *Pfaffia glomerata*, *Cyperus odoratus*, *Hedychium coronarium*, *Paspalum erianthoides*.

## 3.2 Stock de Carbono.

### Generalidades

La estimación de la cantidad de carbono existente en San Rafael se logró mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Carbono (tC)} = \text{Area (ha)} \times \text{Densidad de carbono (tC/ha)}$$

El paisaje de San Rafael está compuesto por estratos que tienen diferentes densidades de carbono (diferentes tipos y usos de la vegetación) por lo tanto se debió calcular para cada estrato y luego sumar.

Para conocer el flujo de carbono o las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el período comprendido entre los años 1989 y 2002 fue necesario estimar el contenido de carbono del paisaje estudiado para el año 1989 y para el año 2002, y luego calcular la diferencia.

Los valores finales de todos los cálculos fueron representados en toneladas de CO<sub>2</sub>, pues esta es la unidad que se utiliza en los mercados del carbono.

Es muy importante no confundir Carbono (C) con CO<sub>2</sub>. En una molécula de CO<sub>2</sub> existen dos átomos de oxígeno (con peso atómico 2 x 16 = 32) y un átomo de carbono (con peso atómico 12). Por lo tanto el peso molecular del CO<sub>2</sub> es 44 (= 2 x 16 + 12), de los cuales solamente 12 corresponden a carbono. De lo anterior se deduce que se necesitan 44/12 = 3.6666 toneladas de CO<sub>2</sub> para tener 1 tonelada de C.

Aunque la ecuación para determinar la cantidad de carbono existente en un paisaje es muy sencilla, existen varias fuentes de error, tanto en el estimado de los valores de área y como en el estimado de la densidad de carbono. Por lo tanto, para lograr un buen estimado del carbono total, es necesario tener un error bajo en ambas variables. No se gana mucho en lograr un estimado muy preciso de la densidad de carbono haciendo muchas parcelas de medición en el campo si los estimados de área son muy inciertos o, peor aún, sin ninguna información sobre su precisión está disponible (caso frecuente!). Lo mismo ocurre, obviamente, al multiplicar un estimado de área muy preciso con un estimado de densidad de carbono muy poco preciso.

### 3.2.1 Estimado de área

El primer paso fue definir el límite espacial del área del proyecto e identificar muy bien los estratos de densidad de carbono que existen allí adentro. Es común considerar que cada formación vegetal representa potencialmente un estrato con densidad de carbono distinta. Con la información disponible procedente de imágenes de satélite y mapas existentes no fue posible estratificar los bosques en estratos que representen categorías distintas de densidad de carbono. Por lo tanto, se consideraron únicamente tres estratos de bosque; bosque primario intervenido, bosque bajo y bosque secundario.

Mediante el análisis de imágenes de satélite para el período 1989 - 2002 (1 imagen por década) se prepararon mapas de cobertura del suelo con la siguiente leyenda:

- Bosque primario intervenido (BPI)
- Bosque bajo (BB)
- Bosque secundario (BS)
- Pastizales naturales y pasturas para ganadería (agrupados en una sola categoría como pastizales) (P)
- Cultivos (C)
- Cuerpos de agua (A)
- Nubes y sombras (N)
- Áreas sin clasificar (SC)

### Clasificación de la Cobertura de la Tierra en la Zona de San Rafael.

Los mapas de cobertura del suelo de los años 1989 y 2002 se obtuvieron mediante el análisis de dos imágenes de satélite. La metodología utilizada fue la siguiente:

- a. Adquisición de imágenes satelitales en formato digital: Del archivo propio de Guyra Paraguay se seleccionaron las dos siguientes imágenes satelitales del Sensor Landsat TM y ETM (Path 224, Row 78):
  - Imagen del 19 de abril de 1989 con 7 bandas espectrales y resolución espacial de 30 metros (60 metros para la banda 6).
  - Imagen del 03 de febrero de 2002 con 7 bandas espectrales y resolución espacial de 30 metros (60 metros para la banda 6).
- b. Pre-procesamiento: Georeferenciación de las dos imágenes y definición de un área común entre las dos, para el posterior corte de una porción rectangular correspondiente al área de estudio.

- c. Digitalización de los puntos de muestreo definidos en los viajes de campo, correspondientes a áreas de bosque primario, bosque bajo, bosque secundario, pastizales y cultivos. Definición de un polígono representativo de la muestra de cobertura de la tierra asociado a cada punto.
- d. Clasificación no supervisada, en base a 70 clases, utilizando el software Erdas Imagine 8.6 Reclasificación mediante agrupamiento en clases más generales, hasta llegar a un número de 6 clases,(ver Tabla...) tomando las decisiones de reagrupamiento, mediante una comparación en pantalla con los polígonos muestrales previamente definidos.
- e. Aplicación de un filtro de vecindad de 5x5 píxeles a ambas escenas clasificadas, para disminuir el efecto de pequeñas agrupaciones de píxeles de diferentes clases, conocidos como efecto de “sal y pimienta”.
- f. Cuantificación de la superficies ocupadas por cada clase, mediante el uso de software Erdas Imagine y elaboración de mapas temáticos mediante la utilización del módulo “Layout” del software Arcview, para su posterior impresión y distribución en formato digital.

### 3.2.2 Estimado de la tasa de deforestación

La tasa de deforestación es el porcentaje promedio de bosque perdido anualmente en un área y durante un período determinado. Hay diversas formas para calcularlas. En este estudio fue utilizada la siguiente ecuación:

$$\%df = [(A_{df} \times 100) / A_{1989}]$$

En donde:

%df = tasa de deforestación anual,  
 $A_{df}$  = área deforestada durante el periodo 1989 –2002,  
 $A_{1989}$  = área boscosa en el año 1989.

### 3.2.3 Matriz de Cambio de Uso de la Tierra

La matriz de cambio de uso de la tierra es una forma muy concisa de representar la dinámica de cambio de la cobertura del suelo en un área y durante un período determinado. Una forma de obtenerla es mediante la combinación de dos mapas digitales de cobertura del suelo.

Utilizando el software ArcView 3.2 se generó una matriz de cambio de uso de la tierra combinando los mapas obtenidos de la clasificación de las imágenes de satélite del año 1989 y 2002.

La matriz de cambio de uso del suelo puede revelar pequeñas inconsistencias en el resultado del análisis de las imágenes de satélite. En efecto, existen transiciones de cobertura del suelo que son imposibles durante un período tan corto como el período 1989-2002. Un ejemplo es la transición de sabana a bosque primario. Este tipo de transiciones evidencian la existencia de errores en la clasificación de las imágenes de satélite.

Para eliminar tales inconsistencias, se realizó una interpretación visual de las imágenes de satélite en las áreas en donde aparecían transiciones imposibles. Con base en la interpretación visual se corrigieron los mapas de cobertura del suelo. Luego se volvió a generar una matriz de cambio de uso en la cual todas las transiciones podían considerarse consistentes y plausibles.

### 3.2.2 Densidad de carbono

La determinación de la densidad de carbono de los diferentes estratos implica estimar el carbono arriba y abajo del suelo en cada uno de estos estratos, lo cual es bastante laborioso. Por las limitaciones de tiempo y recursos se pudieron efectuar estimaciones arriba del suelo basadas en datos procedentes de mediciones en el campo solamente para el caso del estrato bosque primario intervenido y una parcela de 1 hectárea de bosque secundario. Para los demás estratos se efectuaron únicamente mediciones del carbono en el suelo. Para el bosque bajo se asumió arbitrariamente que su biomasa promedio es el 50% del promedio de la biomasa de los bosques altos. En el caso de los bosques secundarios la biomasa promedio se estimó mediante la medición de una parcela de bosque secundario de 8 años (ver más adelante). Estos supuestos podrán ser ajustados en estudios posteriores.

Los depósitos que podrían contener cantidades importantes de carbono son los siguientes:

- Biomasa viva arriba del suelo
- Necromasa arriba del suelo (detritos leñosos)
- Raíces
- Humus
- Suelo

Estimar el carbono contenido en cada uno de estos reservorios requiere, además de mediciones en el campo, de ecuaciones alométricas específicas que permiten relacionar parámetros fáciles de medir (por ejemplo el diámetro de los árboles) con la biomasa o el carbono. Tales ecuaciones no se han desarrollado para las condiciones específicas del Bosque Atlántico del Alto Paraná, o de San Rafael en particular, así que se utilizaron ecuaciones por defecto tomadas de la literatura. El uso de ecuaciones por defecto es una técnica que genera altos niveles de incertidumbre en los estimados de densidad de carbono, lo cual debe tomarse en cuenta en la interpretación de los resultados del presente estudio. Es muy importante que estudios posteriores a éste puedan generar ecuaciones alométricas adecuadas para las condiciones del Bosque Atlántico del Alto Paraná. Esto permitiría mejorar la precisión de los estimados del presente estudio y obtener resultados aún más confiables en futuros estudios similares a éste.

#### 3.2.2.1 Biomasa arriba del suelo

En el año 2001 Natural Land Trust (NLT) realizó un inventario forestal de los bosques de San Rafael. En total se establecieron 230 parcelas temporales de 2000 m<sup>2</sup> en las cuales se efectuaron mediciones para estimar el volumen comercial de todas las especies leñosas (menos las palmas y los bambúes) arriba de 10 cm de diámetro (DAP). Todas estas parcelas fueron ubicadas en el estrato “bosque primario intervenido” así que se decidió utilizar la información obtenida mediante el inventario para estimar la biomasa arriba del suelo en este tipo de bosque.

Sin embargo, como el inventario fue diseñado con el propósito de identificar existencias comerciales, no fue posible utilizarlo para realizar estimados de biomasa sin una labor complementaria que permitiera cuantificar la relación que existe entre volumen comercial y biomasa arriba del suelo.

Con los datos de diámetro a la altura del pecho (DAP) se calculó la biomasa total de cada árbol medido en el inventario de NLT. Para este fin se utilizó la siguiente ecuación de Brown *et.al* 1996, la cual es válida para el rango de DAP comprendido entre 5 cm y 148 cm:

$$\text{Kg biomasa} = e^{[-2.289 + 2.649 * \ln(DAP) - 0.021 * \ln(DAP) * \ln(DAP)]} \quad \text{ec (1)}$$

-  $\ln$  = logaritmo natural

-  $DAP$  = diámetro a la altura del pecho

Para estimar la biomasa arriba del suelo de cada parcela simplemente se sumó el valor de biomasa obtenido por cada árbol. Sin embargo, esta suma solamente representa una fracción de la biomasa total arriba del suelo, faltando la fracción de biomasa correspondiente a las palmeras, bambúes y árboles menores de 10 cm DAP.

También fue utilizada la ecuación de volumen comercial local, y esta es multiplicada por el valor de la densidad de la madera para obtener la biomasa, los valores de densidad de las especies fueron obtenidas de la literatura. La fórmula de biomasa en base al volumen comercial se describe en la ecuación (2).

$$\text{Biomasa} = \text{Kg biomasa} = (AB * HC * 0.775) * (\delta \text{ madera}) \quad \text{ec (2)}$$

- En donde:
- $AB$  = área basal a la altura de pecho
- $HC$  = altura comercial
- $\delta$  = densidad de la madera

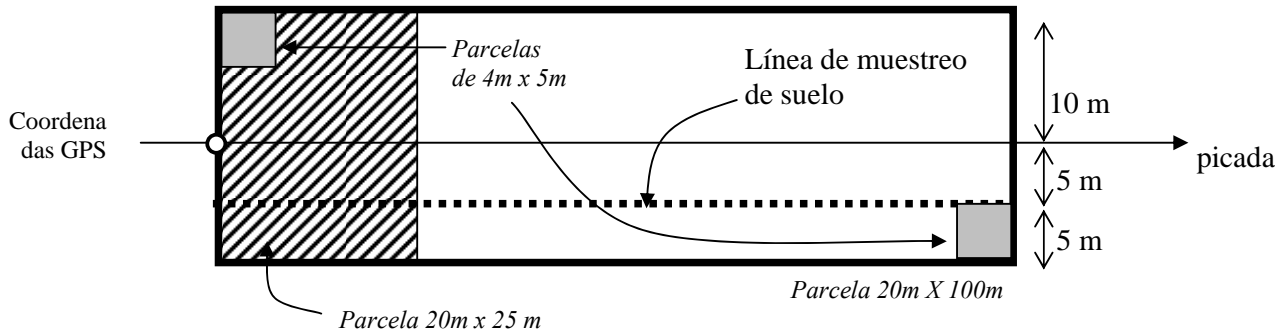
Para estimar la biomasa de los componentes que no fueron medidos en el inventario de *NLT*, se efectuó un muestreo estratificado al azar de las 230 parcelas temporales del inventario de *NLT*. Para este fin se procedió como sigue:

- Se determinaron los 5 quintiles de volumen en pie de las 230 parcelas de inventario.
- La frecuencia de las parcelas en cada quintil se consideró proporcional al área real de cada estrato de densidad de carbono dentro del estrato “bosque primario intervenido”.
- Dentro de cada quintil se seleccionaron al azar dos parcelas.
- Se re-ubicaron en el campo cada una de las 10 parcelas seleccionadas.
- En las parcelas reubicadas en el campo mediante un GPS se hicieron las siguientes mediciones: Número del árbol, especie, DAP, altura del punto de medición del DAP, % del fuste considerado vacío, y, en el caso de las palmeras, la altura hasta la salida de la hoja verde más baja sobre el tronco.
- Los árboles ubicados al borde de las parcelas fueron medidos solamente cuando el centro de los mismos se encuentra al interior de la parcela.
- En los casos de los árboles que presentan cavidades fue necesario hacer un estimado visual del porcentaje del volumen total que se consideraba vacío, considerándose mejor efectuar una estimación que ignorar la existencia de una cavidad.
- En el caso de árboles con “aletas” (sección en forma de estrella) fue necesario levantar el punto de medición del diámetro hasta 25 cm arriba del punto en donde la sección era circular.
- El diseño de las parcelas en el campo fue el siguiente (ver figura 4)
  - a. Parcela de 20 m x 100 m: fueron medidos todos los individuos arriba de 10 cm DAP.



- b. Subparcela de 20 m x 25 m: fueron medidos todos los individuos arriba de 5 cm DAP.
- c. Subparcela de 4 m x 5 m: fueron medidos todos los individuos arriba de 1.3 m de altura. Estas subparcelas fueron ubicadas en las esquinas superior izquierda e inferior derecha de la parcela de 20 x 100 para evitar que su vegetación fuese entre aquella que se corta cuando se establecen las picadas.

#### Diseño de las parcelas



**Figura 4.** Diseño de las parcelas de muestreo.

- a. Con los datos de las parcelas así medidas se estimó la biomasa de cada individuo medido utilizando las ecuaciones arriba indicada. Estas ecuaciones no fueron utilizadas para las palmeras. Luego se sumaron las biomasa individuales en cada subparcela, se ajustó por área de la subparcelas y se llevaron las sumas a valores de una hectárea para obtener un estimado de la biomasa total por hectárea. Se realizó el ajuste por área.
- En los casos de los árboles que presentaban cavidades se redujo el estimado de la biomasa por el porcentaje de volumen vacío estimado en el campo.
  - Para estimar factores de expansión de biomasa (FEB) se calculó la relación entre la biomasa total de las 10 parcelas medidas y la biomasa de la fracción arriba de 10 cm de DAP de las especies medidas en el inventario de NLT. Fueron calculados 2 valores de FEB uno, basado en los valores de biomasa obtenidos con la ecuación de Brown *et.al* 1996 y el otro con los valores de biomasa obtenidos de la ecuación local de volumen comercial.
  - Se promediaron los dos valores de FEB obtenido en cada quintil del inventario de NLT para estimar los respectivos 5 valores del FEB generado de cada ecuación en total fueron generados 10 valores de FEB.
  - El valor de biomasa total de las 230 parcelas se multiplicó por el factor de expansión de la biomasa estimado para cada quintil.

#### Bosques secundarios

Para estimar la densidad de carbono de los bosques secundarios se utilizó la información procedente de una parcela establecida en el año 2003 en un bosque secundario de 8 años de edad de 1 ha de superficie (20m x 500m) subdivida en 25 parcelas de 20m x 20m.

Los parámetros medidos fueron: DAP (diámetro a la altura del pecho), altura de fuste, altura total, y posición de copa.

La metodología empleada para el cálculo de biomasa fue la misma que se utilizó para estimar la biomasa en el bosque primario intervenido. Sólo fue utilizada para el cálculo de la biomasa la ecuación de volumen comercial local y una densidad de madera promedio de 750 kg/m<sup>3</sup>, al conocer la edad del bosque (8 años) y al obtener un estimado de biomasa, fue posible estimar una tasa de crecimiento promedio anual. Este valor se asumió constante para 30 años.

En estudios posteriores será necesario ubicar áreas de bosque secundario de diferentes edades y sobre los dos principales sustratos (suelo arenoso y suelo colorado), documentar su uso anterior y realizar una estratificación que permita diseñar un muestreo de densidad de carbono que sea más representativo de la capacidad de secuestro de carbono de los bosques sucesionales de la Reserva.

### 3.2.2.2 Necromasa

En este estudio se consideró como necromasa el material leñoso muerto. Los detritos de menor tamaño, principalmente la hojarasca no se consideraron en este estudio.

El contenido de carbono de la necromasa depende del estado de descomposición de la misma, es decir de su densidad.

Una manera sencilla para determinar la clase de densidad es la prueba del machete. Eso permite clasificar la densidad de la siguiente manera:

1. “fresco”: el machete no queda fácilmente implantado.
2. “medianamente descompuesto”: el machete penetra con relativa facilidad algunos centímetros.
3. “descompuesto”: con el machete se rompe fácilmente el pedazo de madera (consistencia de un queso).

La necromasa de cada individuo muerto se estimó mediante la ecuaciones de Biomasa (ecuación de Brown) arriba del suelo utilizada para los árboles vivos. El valor así obtenido se mantuvo para los individuos muertos con una densidad de clase 1, considerándose que tales individuos han muerto muy recientemente. Al valor de necromasa obtenido para los individuos muertos en la clase de densidad 2 se le restó un 40%, y los de densidad 3 un 70%.

### 3.2.2.3 Raíces

La estimación de la biomasa de raíces es el trabajo más laborioso y costoso en los estudios de carbono. En este estudio no fue posible efectuar mediciones de biomasa de raíces y tampoco se encontraron ecuaciones alométricas locales para estimar la biomasa radicular a partir de algún parámetro fácil de medir en el campo. Por lo tanto, la biomasa de raíces se estimó utilizando la siguiente ecuación tomada de la Guía de Buenas prácticas de IPCC (versión draft):

$$\text{Biomasa raíces (ton/ha)} = e^{[-1.0587 + 0.8836 \cdot \ln(\text{biomasa arriba del suelo})]}$$

### 3.2.2.4 Suelo y humus

Es muy importante estimar la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo, pues en muchos ecosistemas forestales los suelos contienen la mitad o más del carbono total del ecosistema. La mayor cantidad de carbono orgánico del suelo suele concentrarse en las capas superiores del suelo, aunque no es siempre así. Estas capas superficiales del suelo son las que muchas veces se pierden después del desmonte.

El estudio realizó un primer estimado de la cantidad de carbono que se perdió de los suelos desmontados.

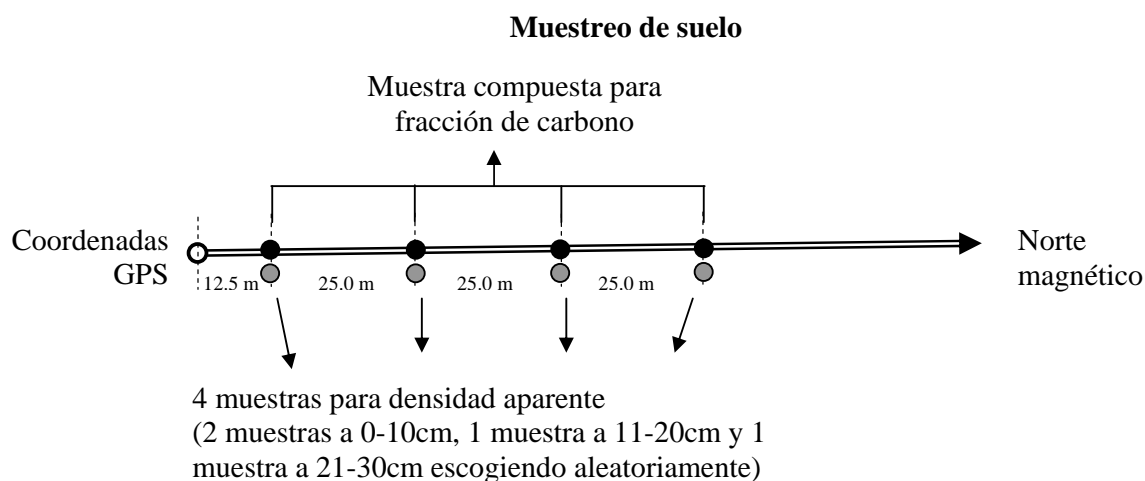
La cantidad de carbono orgánico del suelo se calcula como el producto de la densidad aparente del suelo por la fracción de carbono y por la profundidad del muestreo:

$$t_{\text{C suelo}} = \text{Densidad aparente} \times \text{Fracción de C} \times \text{Profundidad de muestreo}$$

Al multiplicar el dato así obtenido por el área del estrato estudiado (ej. el área de “bosque alto”) se obtuvo la cantidad total de carbono orgánico almacenada en el suelo.

En este estudio las muestras de suelo fueron tomadas de la siguiente manera:

- En las parcelas de “bosque alto” fueron tomadas muestras compuestas sobre la línea del estudio de necromasa.
- En los demás estratos se tomarán muestras compuestas sobre líneas de 100 m en dirección de sur a norte, así como se muestra en la figura 5.



**Figura 5** : esquema de las muestras de suelo.

- Una muestra compuesta consiste en mezclar cuatro muestras de suelo tomadas a la misma profundidad y en los puntos negros indicados en la figura anterior. Para fines de análisis estadístico representan una sola muestra.
- En los suelos desmontados donde anteriormente existía un bosque alto, las muestras de suelo fueron tomadas después de estratificar el área de estudio utilizando dos criterios: la fecha del desmonte, y el tipo de suelo. El número de muestras tomadas en cada estrato se indica en la siguiente matriz:

<b><i>Década del desmonte</i></b>	<b><i>Sobre suelo arenoso</i></b>	<b><i>Sobre suelo colorado</i></b>
Actualmente con bosque	<b>x</b>	<b>X</b>
Cultivo Desmontado antes de 1980	<b>X</b>	<b>x</b>
Cultivo Desmontado después de 1989	<b>x</b>	<b>X</b>
Pastizal alto	<b>Suelo arcilloso</b>	
Pastizal bajo	<b>Suelo arcilloso</b>	

- La fecha del desmonte fue determinada mediante entrevistas a personas locales. La veracidad de la información fue comprobada mediante un chequeo cruzado con las imágenes de satélite.
- Las muestras fueron tomadas con criterios aleatorios.
- Al inicio de cada línea de muestreo de suelo fue tomada las coordenadas con el GPS.
- En cada punto de muestreo de suelo se tomaron tres muestras compuestas para las profundidades: 0-10 cm, 11-20 cm, y 21-30 cm. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de plástico selladas y debidamente etiquetadas. Estas muestras fueron utilizadas para determinar la fracción de carbono con el método de Walkley Black en el laboratorio de suelos de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Asunción.
- Para determinar la densidad aparente del suelo se tomaron 4 muestras: 2 a la profundidad de 0-10 cm, 1 para la profundidad 11-20 cm y 1 para la profundidad 21-30 cm. Estas muestras fueron tomadas con cilindros de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura y fueron analizadas por el laboratorio de suelos de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Asunción
- En caso de que una parte de la muestra compuesta no se pueda tomar por presencia de piedras o raíces en el punto en que se debería tomar, se buscará un sitio sustituto a 10 cm en dirección Norte. Esto se repetirá hasta que el componente de la muestra se pueda tomar. Es necesario anotar en el formulario de campo el número de veces que no se pudo tomar la muestra y su causa. Lo anterior permitirá estimar el volumen de piedras y raíces gruesas dentro de los primeros 30 cm de profundidad del suelo.

## **Humus**

El humus es la primera capa del suelo que se puede perder al desmontar un bosque. Por eso, fue importante estimar el contenido de carbono del humus en los mismos estratos en donde se tomaron las muestras de suelo.

Para estimar el contenido de carbono del humus fue necesario recolectar muestras compuestas como en el caso de las muestras de suelo (ver acápite anterior). Para este fin se recolectó todo el humus contenido en un cuadrado de 0.35m x 0.35m sobre cada uno de los puntos muestreados. El material recolectado se llevó en una bolsa de plástico bien sellada y debidamente etiquetada al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción para su posterior análisis de peso húmedo, peso seco y fracción de carbono.

### **3.2.3 Plantaciones**

Recordando que las actividades de forestación y reforestación sobre suelos desmontados al 31 de diciembre del 1989 son potencialmente elegibles para el MDL, se consideró oportuno estimar el potencial de secuestro de carbono de las plantaciones forestales.

En el caso de las plantaciones se recopiló información secundaria sobre el crecimiento de diferentes especies plantadas en San Rafael y en la zona de amortiguamiento. Lo mejor sería obtener datos anuales de crecimiento de DAP, volumen total (o comercial) y volumen aprovechado sobre los dos principales tipos de suelo presentes en el área de estudio. Con esta información será posible, más adelante, efectuar un modelo de secuestro de carbono utilizando CO<sub>2</sub>Fix.

Como en el caso de los bosque secundarios, para estudios posteriores se recomienda ubicar plantaciones de diferentes especies y edades y proceder con el levantamiento de parcelas para poder estimar la capacidad de secuestro de carbono de las actividades de forestación y reforestación a partir de datos obtenidos de mediciones efectuadas localmente.

Los datos colectados son insuficientes solo se ha podido obtener información del estudio realizado por VERA, M en 2001 acerca de la zonificación potencial para *Eucalyptus spp* es por ello que no se ha incluido datos de plantaciones para el presente estudio.

### **3.2.4 Cálculo de Emisiones**

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al cambio de uso de la tierra se procedió a restar el stock de carbono presente en el año 89 con el stock presente en el 2002 asumiendo que la densidad de carbono permanece constante para el periodo 89 -2002

### **3.2.5 Construcción de escenarios de Línea de Base y de Proyecto**

Con el valor de la tasa de deforestación fueron contruidos 2 escenarios, el primero de ellos el escenario línea de base en el cual se modela la evolución de los bosques de San Rafael en los próximos 30 años siguiendo la tendencia actual de deforestación. El segundo escenario representa la situación de proyecto que logra detener deforestación, reduciéndola a un 50% de la actual. Podrían ser utilizados para proyectar el crecimiento de la masa boscosa los datos de incremento volumétrico calculados de las parcelas ubicadas en las reservas de la Itaipú binacional que fue presentado como una tesis de grado por Caballero en el 2002.

#### 4. Resultados

##### 4.1 Stock de Carbono

###### 4.1.1 Estimado de área

Los valores áreas para las categorías de uso identificadas en la reserva para los años 89 y 2002 se describen en el Tabla 1

Categoría de uso	Estrato	Superficie en ha	
		1989	2002
BOSQUE	BP	46.673,74	40.025
	BB	10.010,15	2.965,50
	BS	0	10.125,33
Reforestación		0	475,39
Pastizal		11.475,90	9.610,11
Cultivo		1.026,54	5.613,48
Agua		118,17	459,09
Sin Clasificar		0	30,60
Total		69.304,50	69.304,50

**Tabla 1.** Superficie de las categorías identificadas con la clasificación supervisada dentro de la reserva de San Rafael.

###### 4.1.2 Tasa de deforestación

Para el área de la reserva se obtuvo una tasa de deforestación anual de 1.7 % en relación a la superficie total de bosques existente en el año 1989 lo que se traduce en un promedio de 978 hectáreas de bosques deforestadas anualmente dentro de la reserva durante el periodo 1989 – 2002. Ver Tabla 2

Periodo	1989 - 2002
A1- A2	13.693,4
Sdf/año	978,1
% df anual	1,7

**Tabla 2** Valores de superficie deforestada total y promedio y tasa de deforestación periodo 1989 – 2002

###### 4.1.3 Matriz de cambio de uso de la tierra

Los cambios mas significativos se observan en la transformación de bosques a tierras de cultivo, 2044 ha de bosque primario intervenido se han convertido en tierras agrícolas y de bosques bajos a cultivos fueron transformadas 1416 hectáreas. Otro cambio significativo detectado por el análisis de las imágenes de satélite es la transformación de bosques primarios degradados y bosques bajos a bosques secundarios, de las 13.963 ha de bosques que fueron transformadas 8794 hectáreas se convirtieron en bosque secundarios. En cuanto a las áreas de cultivo estas registraron un aumento en mas de 5 veces su extensión con respecto al año 1989.



El patrón de cambio observado tiende mas a un cambio en el tipo de vegetación es decir la transformación de bosques primarios degradados a bosques secundarios y la ampliación de las áreas dedicadas a al agricultura.

La matriz de transición de cambio de uso de la tierra se observa en la **Tabla 3**

	BP	BB	BS	RF	P	C	A	SC	Total
BP	40025	0	3486,23	325,98	648,63	2044,98	112,32	30,6	46673,74
BB	0	2939,31	5308	53,2	67,23	1416,78	225,63	0	10010,15
BS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0	1140,93	84,15	8514	1701,72	35,1	0	11475,9
C	0	0	186,93	11,43	377,01	448,11	3,06	0	1026,54
A	0	26,19	3,24	0,63	3,24	1,89	82,98	0	118,17
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	40025	2965,5	10125,33	475,39	9610,11	5613,48	459,09	30,6	69304,5

**Tabla 3** Matriz de Transición de Cambio de Uso de la Tierra.

## 4.2 Densidad de carbono

### 4.2.1 Biomasa arriba del suelo

#### 4.2.1.1 Ecuaciones de Biomasa

Los valores de biomasa derivados de la ecuación de volumen comercial arrojaron menores valores a los por la ecuación de Brown. Los promedios ponderados obtenidos por las ecuación (1) y (2) fueron respectivamente de 55 y 141.2 toneladas. Los valores de biomasa obtenidos por las ecuaciones (1) y (2) se describen en las Tablas 4 y 5 respectivamente.

Quintil	Ton de C/ha
1	74,135
2	151,944
3	160,402
4	187,979
5	160,105
Promedio ponderado	141,213

**Tabla 4:** Valores de Biomasa derivadas de la ecuación (1)

Quintil	Promedio (tn de C/ha)
1	27,016
2	54,557
3	79,213
4	48,120
5	64,177
Promedio ponderado	55,014

**Tabla 5:** Valores de Biomasa utilizando la ecuación( 2)

#### 4.1.2.2 Factor de Expansión de Biomasa (FEB)

Fueron obtenidos valores FEB muy variables entre quintiles, inclusive valores menores a 1 en los quintiles que representan a los estratos de mayor volumen, esta tendencia se observó con los FEB derivados de las ecuaciones (1) y (2), una explicación seria que de esas parcelas

fueron extraídas los árboles de mayor diámetro lo cual disminuyó considerablemente el volumen de las parcelas para la siguiente medición realizada en el 2003.

Los valores de expansión de biomasa utilizando las ecuaciones 1 y 2 se describen en las **Tablas 6 y 7** respectivamente.

Quintil	2001	2003	FEB
	Biomasa tn/ha	Biomasa tn/ha	
1	109,992	191,649	1,742
2	134,537	249,387	1,854
3	238,843	293,835	1,230
4	293,673	283,414	0,965
5	482,850	324,486	0,672

**Tabla 6** FEB calculado en función de la ecuación (1)

Quantil	2001	2003	FEB
	Biomasa tn/ha	Biomasa tn/ha	
1	25,925	53,993	2,083
2	40,625	85,773	2,111
3	68,075	138,098	2,029
4	100,725	90,283	0,896
5	130,725	116,306	0,890

**Tabla 7** FEB calculado en función de la ecuación (2)

### Densidad de Carbono Total

Los mayores valores para densidad de carbono correspondieron al estrato bosque primario intervenido, y los menores valores para el estrato bosque secundario en cuanto a las demás categoría las mayores densidades se encontraron en las tierras habilitadas para cultivos en la década de los 90 y la categoría con los menores valores ha sido encontrada en el estrato correspondiente a los pastizales. Los valores de densidad totales se detallan en la tabla 8.

Los valores para densidad de carbono se basaron en la ecuación de volumen comercial (*ec2*) por arrojar esta los valores más conservadores.

Bosque primario intervenido		Bosque bajo		Bosque secundario	
Compartimiento	Carbono (tn/ha)	Compartimiento	Carbono (tn/ha)	Compartimiento	Carbono (tn/ha)
necromasa	0,993	necromasa	0,993	necromasa	0,993
suelo y humus	38,938	suelo y humus	38,938	suelo y humus	38,938
raíces	10,984	raíces	5,954	raíces	1,493
biomasa arboles	55,014	biomasa arboles	27,507	biomasa arboles	5,750
<b>Subtotal</b>	105,930	<b>Subtotal</b>	73,393	<b>Subtotal</b>	47,175
Pastizales		Cultivos 78		Cultivos 90	
Carbono (tn/ha)		Carbono (tn/ha)		Carbono (tn/ha)	
30		38,3		41,7	

**Tabla 8:** Densidad de carbono para los estratos identificados en el estudio

### 4.2 Stock total de carbono y emisiones

Se observo una disminución del orden de las 1.109.379.5 toneladas de C entre el periodo comprendido entre los años 1989 y 2002, esto equivale a una emisión de mas de 4.060.329 toneladas de CO<sub>2</sub> (ver tabla 9), por cambio de uso, aunque debe destacarse que existió una

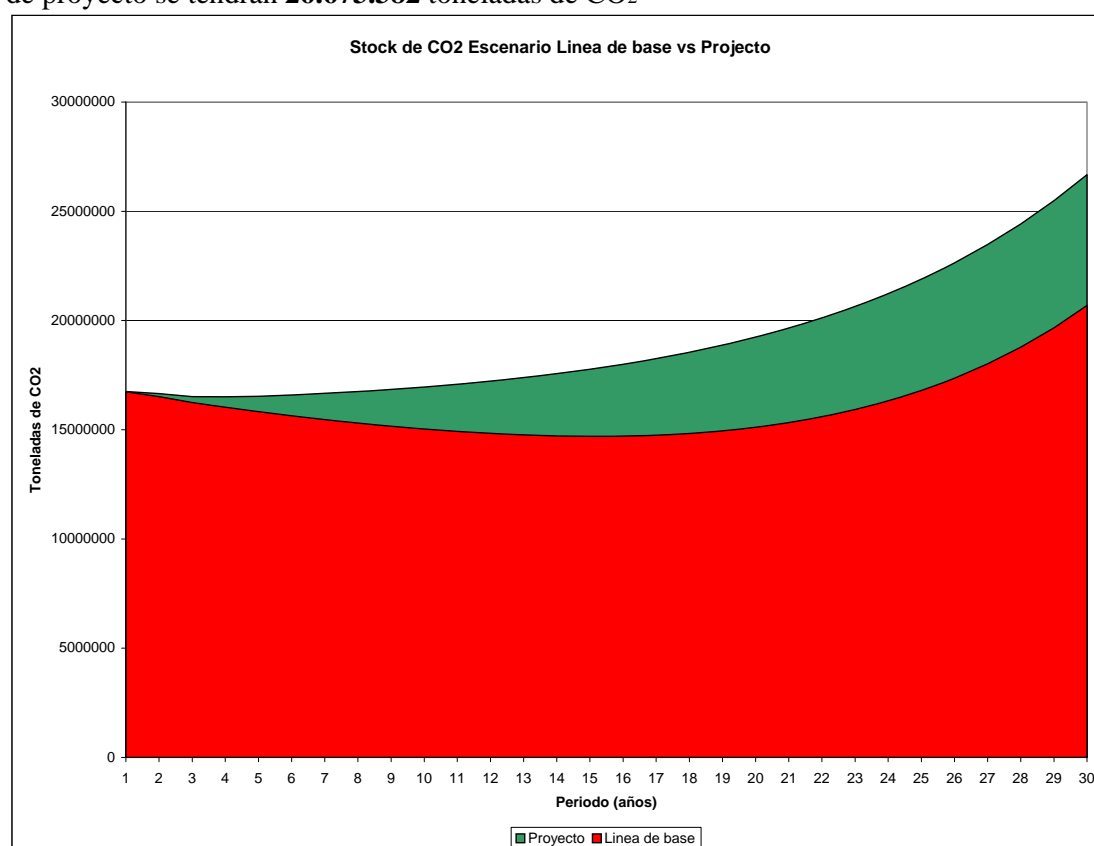
remoción de 423.581 toneladas de CO<sub>2</sub> debido a la aparición de vegetación secundaria que esta actuando de sumidero en las áreas abandonadas de pasturas y cultivos.

Stock de C (en Toneladas)		
Estrato	1989	2002
BPI	4.944.149,28	4.239.848,25
BB	740.050,39	219.239,42
BS		115.732,52
Emisiones (Toneladas de CO <sub>2</sub> )		
4.060.328,90		

**Tabla 9:** Stock de carbono para los periodos estudiados y emisiones de CO<sub>2</sub> para el periodo 89 –2002.

### 4.3 Escenario Línea de Base vs Proyecto

Se estimo que para el escenario de proyecto disminuyendo la tasa de deforestación en un 50 % se tendrán **5.989.104** toneladas de CO<sub>2</sub> conservadas y secuestradas netas y adicionales. Para un periodo de 30 años se tendría que de seguir al ritmo actual de deforestación el stock total de carbono en los bosques será de **20.684.278** toneladas de CO<sub>2</sub> y con en el escenario de proyecto se tendrán **26.673.382** toneladas de CO<sub>2</sub>



**Figura 6:** Stock de CO<sub>2</sub> conservado y secuestrado, escenario Línea de base y Proyecto

### 4.4 Costo del estudio

El monto descrito en la tabla 10 se basa en las 10 parcelas inventariadas en el 2003 incluyendo el costo de los análisis de suelo.

Costo de inventario	Monto (gs)	Monto en \$
Materiales	4.474.000	721,6
Personal	4.600.000	741,9
Alimentación	4.200.000	677,4
Combustibles	1.170.000	188,7
Subtotal	14.444.000	2329,7
Análisis de suelos	4.500.000	725,8
<b>Total</b>	<b>33.388.000</b>	<b>5385,2</b>

**Tabla 10:** Costo estimativo de instalación de parcelas de muestreo.

## 5. Recomendaciones

### Cálculo de Biomasa

- Debe diseñarse una ecuación de biomasa adecuada a las condiciones de los bosques de San Rafael a fin de reducir la incertidumbre en el cálculo de los estimados de biomasa. Esto implica realizar muestreos destructivos de árboles pesarlos para construir los modelos alométricos, también se debe incrementar el número de muestras de suelo.
- Los estudios deben basarse en parcelas permanentes de medición para que los datos sean lo más confiables posible.
- Podría trabajarse en alianza con los laboratorios de la CIF e INTN, A fin de desarrollar una metodología económica y efectiva para determinar densidad de la madera como fracción de carbono.

### Estimado de área

- La cantidad de áreas definidas como zonas de muestra para el posterior reagrupamiento de las clases, debe ser aumentada a fin de obtener una mejor clasificación, esto deberá realizarse mediante un nuevo recorrido de campo para la incorporación de más observaciones en puntos de control predefinidos.
- Para poder participar al mercado del carbono es necesario estimar el error estadístico del estimado de carbono. Por lo tanto es necesario emplear técnicas de muestreo que permitan cuantificar el error de los estimados a un nivel de confianza establecido (generalmente el 95%). Lo único que se permitirá vender en un mercado de carbono es el estimado más conservador, es decir el margen más bajo del intervalo de confianza. Si se quiere vender más es necesario aumentar la precisión de los estimados (reducir el error), pero esto cuesta más, así que cada proyecto deberá estimar lo que más le conviene.
- Obtener e incorporar una nueva escena satelital del periodo de invierno, en lo posible del año 2003.

## Acciones futuras

De nada sirve realizar estos esfuerzos de medición de carbono si el marco institucional político de las instituciones encargadas tanto en la esfera gubernamental como los proponentes de proyectos no desarrollan una estrategia a fin de desarrollar reglas y normativas para la formulación de proyectos.

Las reglas y procedimientos ya han sido establecidos, para la formulación de proyectos de forestación y reforestación aunque esta experiencia desarrollada en este proyecto solo podrá aplicarse para la iniciativa de BioCarbono del banco Mundial.

Para que estos proyectos sean operativos y causen un impacto real beneficioso se debe desarrollar un plan de acción que contemple el fortalecimiento de la Autoridad Nacional Designada y de los proponentes de proyectos para que puedan ser capaces de fiscalizar y desarrollar respectivamente proyectos de calidad.

## 6. Bibliografía citada

- Brown, S. *et al.* Managment of forests for mitigation of green house gas emissions. In: Watson, R.T.; ZINYOWERA, M.C.; MOSS, R.H. (Eds) Climate change 1995, impacts, adaptations and mitigation of climate change :scientific –technical analyses. Report of Working Group II, Assessment Report, IPCC,p.773-797.Cambridge, UK, Cambridge University Press,1996.
- Caballero, R. 2002. *Estudio fitosociológico en bosque nativo estacional semidecidual alterado*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Forestal.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),2000. Land Use, Land Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Robert. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N.H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds). Cambridge University Press, UK. pp 375.
- López, J. A.; Little Jr., E. L.; Ritz, G. F.; Rombold, J. S.; Hahn, W. J. 1987. *Árboles comunes del Paraguay; Ñande yvyra mata kuera*. Cuerpo de Paz. Asunción, Paraguay.
- Vera, M. 2001. *Zonificación Potencial de l a Región Oriental para Reforestación con Eucalyptus spp.* En: Jornada Forestal Servicio Forestal Nacional – J.I.C.A. Marzo 2001.
- S.A.R.O (*Sistema Ambiental de la Región Oriental* ) Informe Técnico Final – BGR – SEAM San Lorenzo, Paraguay 2001.