



AQUÍFERO GUARANI

DOCUMENTO TÉCNICO PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS
NO BALANÇO HÍDRICO E
QUALIDADE DE ÁGUAS
DECORRENTES DE
PROJETOS FLORESTAIS

ACUÍFERO GUARANÍ

DOCUMENTO TÉCNICO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS
EN EL BALANCE HÍDRICO Y
CALIDAD DE AGUAS DERIVADOS
DE PROYECTOS FORESTALES



Série Manuais e Documentos Técnicos do
Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento
Sustentável do Sistema Aquífero Guarani
Serie Manuales y Documentos Técnicos del
Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo
Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní



**Projeto para a Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável
do Sistema Aquífero Guarani**
**Proyecto para la Protección
Ambiental y Desarrollo Sostenible
del Sistema Acuífero Guarani**



Projeto para a Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável
do Sistema Aquífero Guarani
Proyecto para la Protección
Ambiental y Desarrollo Sostenible
del Sistema Acuífero Guarani



**Documento Técnico para a Identificação de
Impactos no Balanço Hídrico e Qualidade de
Águas decorrentes de Projetos Florestais
“Sistema Aquífero Guarani”**

**Documento Técnico para la Identificación de
Impactos en el Balance Hídrico y Calidad de
Aguas derivados de Proyectos Forestales
“Sistema Acuífero Guarani”**



**Série “Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental
e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani”**

**Serie “Manuales y Documentos Técnicos del Proyecto para la Protección Ambiental
y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani”**

Autores:

- **Eng. Claudia Cabal e Eng. Jorge Bellagamba¹**

¹Consórcio Guaraní: Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S. R. L., Hidroestructuras S. A., Hidrocontrol S. A., Hidroambiente S. A.

Consórcio Guaraní:

- Coordenação Técnica: **Dr. Gerardo Veroslavsky**

Secretaria-Geral do Projeto SAG:

- Supervisão Técnica Geral: **Dr. Jorge N. Santa Cruz**
- Revisão Final: **Lic. Alberto Manganelli**
- Plano de Obra e Responsabilidade por Desenho e Publicação: **Lic. Roberto Montes**

Os resultados, interpretações, conclusões, denominações e opiniões presentes neste relatório e a forma como aparecem são de responsabilidade exclusiva do autor. Não representam juízos de valor sobre as condições jurídicas de países, territórios, cidades ou áreas, nem sobre as atividades diversas e a delimitação de fronteiras e limites estabelecidos pelos países. Tampouco representa a opinião da Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos (SG/OEA) ou da Secretaria Geral do Projeto SAG.

Fica autorizada a reprodução e a difusão do conteúdo deste livro para fins educativos e não comerciais e sem prévia autorização escrita, desde que haja referência expressa à fonte.

Autores:

- **Ing. Claudia Cabal y Ing. Jorge Bellagamba¹**

¹Consórcio Guaraní: Tahal Consulting Engineers Ltd., Seinco S.R.L., Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A

Por el Consorcio Guaraní:

- Coordinación Técnica: **Dr. Gerardo Veroslavsky**

Por la Secretaría General del Proyecto SAG:

- Supervisión Técnica General: **Dr. Jorge N. Santa Cruz**
- Revisión Final: **Lic. Alberto Manganelli**
- Plan de Obra y Responsabilidad Diseño y Publicación: **Lic. Roberto Montes**

Los resultados, interpretaciones, conclusiones, denominaciones y opiniones presentes en este informe y la forma como aparecen son una contribución técnica para la difusión de los conocimientos del Sistema Acuífero Guaraní. No representan juicios de valor sobre las condiciones jurídicas de países, territorios, ciudades o áreas, ni sobre las actividades diversas y la delimitación de fronteras y límites establecidos por los países. Tampoco representa la opinión de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (SG/OEA).

Queda autorizada la reproducción y difusión del contenido de este libro para fines educativos y no comerciales y sin previa autorización por escrito, siempre y cuando se cite claramente la fuente.

PREFÁCIO

O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní é uma iniciativa da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai para aumentar o conhecimento referente ao aquífero e propor medidas de caráter técnico, legal e institucional para sua gestão sustentável. O projeto contou com o apoio de fundos de doação provenientes do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF por sua sigla em inglês), que foram implementados pelo Banco Mundial e executados pela Organização dos Estados Americanos (OEA). Foi executado no período 2003-2009 segundo componentes e atividades previamente definidos.

O mesmo foi organizado em sete componentes com atividades inter-relacionadas que permitiram caracterizar o sistema Aquífero Guaraní em função de suas particularidades e comportamento hidrogeológico, seu aproveitamento e preservação, seu relacionamento com comunidades e instituições, em particular pelas necessidades de planejamento e ordenamento territorial para melhorar a gestão sustentável de suas águas.

No componente do conhecimento, foi prevista a execução da Série “Manuais e Documentos Técnicos”, com a consequente iniciativa de que todos os produtos obtidos em forma de dados e conhecimento devem ser traduzidos e compatibilizados com termos práticos e concretos, que sirvam ou orientem convenientemente aos gestores, legisladores e políticos para poder preparar e aplicar com bases técnicas sólidas, as regulamentações necessárias para o gerenciamento, regulação e proteção do Sistema Aquífero Guaraní.

Agradeço a contribuição dos técnicos e autores do Consórcio Aquífero Guaraní, em especial de Alberto Manganelli pelo trabalho de compilação da Síntese Hidrogeológica e de Jorge Santa Cruz pelo trabalho de supervisão dos documentos da presente Série.

PRÓLOGO

El Proyecto de Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es una iniciativa de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay para aumentar el conocimiento referente al acuífero y proponer medidas de carácter técnico, legal e institucional para su gestión sostenible. El proyecto contó con el apoyo de los fondos de donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por su sigla en inglés), que fueron implementados por el Banco Mundial y ejecutados por la Organización de los Estados Americanos (OEA). Fue ejecutado en el período 2003-2009 siguiendo componentes y actividades previamente definidas.

Fue organizado en siete componentes con actividades interrelacionadas que permitieron caracterizar el sistema Acuífero Guaraní en función de sus particularidades y comportamiento, hidrogeológico, su aprovechamiento y preservación, su relación con comunidades e instituciones, en particular las necesidades de planificación y ordenamiento del territorio para mejorar la gestión sostenible de sus aguas.

En el componente del conocimiento se inscribe la ejecución de la Serie “Manuales y Documentos Técnicos”, consecuentemente con la iniciativa de que todos los productos obtenidos en forma de datos y conocimiento deben ser traducidos y compatibilizados con términos práticos y concretos que sirvan u orienten convenientemente a los gestores, legisladores y políticos para poder aplicar técnicamente, con bases técnicas sólidas, las normas necesarias para el manejo, regulación y protección del Sistema Acuífero Guaraní.

Agradezco la contribución de los técnicos y autores del Consorcio Acuífero Guaraní, en especial de Alberto Manganelli por el trabajo de recopilación de la Síntesis Hidrogeológica y de Jorge Santa Cruz por el trabajo de supervisión de los documentos de la presente Serie.

Luiz Amore
Secretário Geral do Projeto
Secretario General del Proyecto

PREFÁCIO

A maior parte do Sistema Aquífero Guarani (SAG) encontra-se sob confinamento. Seus setores de afloramento são principalmente de recarga, havendo alguns casos de descarga subterrânea. Os setores mais profundos apresentam artesianismo e temperaturas de origem geotérmica de 60 °C ou mais.

O estudo do SAG foi feito de forma interdisciplinar. Foram aplicadas metodologias e tecnologias geológicas, petrológicas, petrofísicas, geofísicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e isotópicas. Além disso, foram realizados estudos complementares de hidrometeorologia, hidrologia superficial e modelação matemática, entre outros. Esse complexo sistema aquífero exige um conhecimento detalhado e concreto das características de cada um de seus setores.

A gestão sustentável das águas subterrâneas requer conhecimento atualizado sobre esse recurso. O conhecimento deve ser transmitido à sociedade, incentivando sua participação e melhorando sua relação com a ciência e a tecnologia. Esse é o propósito destes manuais e guias de procedimentos, elaborados por profissionais especializados e de prestígio.

A realização de estudos detalhados sobre os elementos do ciclo hidrológico nas áreas florestadas, especialmente sobre os afloramentos de materiais geológicos arenosos do SAG (possíveis áreas de recarga), resolve o *deficit* metodológico existente nos campos da hidrogeologia e da hidrologia. A percolação, a infiltração, o movimento da água em zonas não saturadas (ZNS), a interceptação da chuva pela folhagem, a qualidade da água infiltrada, as modificações no escoamento superficial e subsuperficial, as mudanças provocadas pelo desenvolvimento do ciclo vegetativo são alguns dos temas pesquisados e desenvolvidos neste Documento Técnico.

PRÓLOGO

El SAG presenta su mayor parte de cobertura territorial bajo confinamiento. Sus sectores aflorante pueden ser de recarga o en algunos casos de descarga subterránea. Los sectores más profundos presentan artesianismo y temperaturas de origen geotérmico de 60°C y aún más.

Su estudio fue encarado interdisciplinariamente aplicándose metodologías y tecnologías geológicas, petrológicas-petrofísicas, geofísicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e isotópicas, habiéndose encarado también estudios complementarios de hidrometeorología, hidrología superficial y modelación matemática, entre otros. Se resalta la complejidad del Sistema y la necesidad del conocimiento a escalas de más detalle y aspectos concretos de las distintas problemáticas existentes a nivel más sectorial.

Desde el momento que la Gestión Sustentable del Agua Subterránea implica también un conocimiento actualizado del Recurso y una transferencia a la sociedad para participar en la mejora de la relación: C y T / Sociedad, es que se encaró la realización de estos Manuales y Guías de procedimientos por prestigiosos profesionales especializados.

La aplicación de métodos de estudios detallados del comportamiento de los elementos del ciclo hidrológico en áreas forestadas, especialmente sobre los materiales geológicos arenosos aflorantes del SAG (posibles áreas de recarga), cubre un déficit metodológico existente en las áreas del conocimiento hidrogeológico e hidrológico en ese sentido. Elementos como percolación e infiltración, movimiento del agua en la zona no saturada (ZNS), efecto de la interceptación de la lluvia por el follaje, calidad del agua infiltrada, modificaciones en el escurrimiento superficial y subsuperficial, cambios a través del desarrollo del ciclo vegetativo, y otros, son los aspectos a ser investigados en este tipo de tecnologías y desarrollados en este Documento Técnico.

Jorge Néstor Santa Cruz
Coordenador técnico 1 e 6 do Projeto SAG
Coordinador Técnico 1 y 6 del Proyecto SAG

Equipe do Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní em 2009

Responsáveis Nacionais:

Por Argentina: Fabián López
Por Brasil: Vicente Andreu Guillo
Por Paraguai: José Luis Casaccia
Por Uruguai: José Luis Genta

Coordenadores Nacionais:

Por Argentina: Miguel Ángel Giraut
Maria Josefa Fioriti (Coordenadora Adjunta)
Maria Santi (Coordenadora Adjunta)
Por Brasil: João Bosco Senra
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Suplente)
Por Paraguai: Amado Insfrán Ortíz
Por Uruguai: Lourdes Batista
Juan Ledesma (Suplente)

Representantes da OEA:

Cletus Springer
Jorge Rucks
Enrique Bello
Beatriz Santos
Lydia Ugas

Representantes do Banco Mundial:

Douglas Olson
Abel Mejía
Karin Kemper
Samuel Taffesse

Membros da Secretaria Geral:

Secretário-Geral: Luiz Amore
Coord. Técnico: Jorge N. Santa Cruz
Coord. Técnico: Daniel H. García Segredo
Coord. de Comunicação: Roberto Montes
Coord. de Administração: Luis Reolón
Assistente Técnico: Alberto Manganelli
Auxiliar Administrativa: Virginia Vila
Auxiliar Administrativo: Mathias González
Informática: Diego Lupinacci
Secretária Técnica Administrativa: Rossana Obispo
Secretária Bilingue: Patricia Guianze

Facilitadores dos Projetos Piloto:

Concordia – Salto: Enrique Massa Segui
Rivera – Santana: Achylles Bessedas
Itapúa: Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto: Mauricio dos Santos

Organismos e Entidades de Apoio:

Agência Internacional de Energia Atômica
Serviço Geológico Alemão

Equipe Técnica de Editoração e Produção Gráfica:

TDA Comunicação

Equipo del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní en 2009

Responsables Nacionales:

Por Argentina: Fabián López
Por Brasil: Vicente Andreu Guillo
Por Paraguai: José Luis Casaccia
Por Uruguay: José Luis Genta

Coordinadores Nacionales:

Por Argentina: Miguel Ángel Giraut
Maria Josefa Fioriti (Co-coordinadora)
Maria Santi (Co-coordinadora)
Por Brasil: João Bosco Senra
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Alterna)
Por Paraguai: Amado Insfrán Ortíz
Por Uruguay: Lourdes Batista
Juan Ledesma (Alterno)

Representantes de OEA:

Cletus Springer
Jorge Rucks
Enrique Bello
Beatriz Santos
Lydia Ugas

Representantes Banco Mundial:

Douglas Olson
Abel Mejía
Karin Kemper
Samuel Taffesse

Integrantes de la Secretaría General:

Secretario General: Luiz Amore
Coord. Técnico: Jorge N. Santa Cruz
Coord. Técnico: Daniel H. García Segredo
Coord. Comunicación: Roberto Montes
Coord. de Administración: Luis Reolón
Asistente técnico: Alberto Manganelli
Auxiliar Administrativa: Virginia Vila
Auxiliar Administrativo: Mathias González
Informática: Diego Lupinacci
Secretaría Técnica Administrativa: Rossana Obispo
Secretaría Bilingüe: Patricia Guianze

Facilitadores proyectos piloto:

Concordia – Salto: Enrique Massa Segui
Rivera – Santana: Achylles Bessedas
Itapúa: Alicia Eisenkölbl
Ribeirão Preto: Mauricio dos Santos

Organismos y Entidades de Apoyo:

Organismo Internacional de Energía Atómica
Servicio Geológico Alemán

Equipo Técnico de Editoración y Producción Gráfica:

TDA Comunicação

ÍNDICE GERAL

1 OBJETIVO	13
2 ALCANCE	16
3 METODOLOGIA	16
4 DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE ESTUDO	21
4.1 Considerações gerais	21
4.2 Cartografia	21
4.3 Área	22
4.4 Relevo	22
4.5 Cobertura do solo	22
4.6 Hidrografia	23
5 MEDIÇÃO DE PARÂMETROS FUNDAMENTAIS	24
5.1 Precipitações	24
5.1.1 Pluviógrafo	24
5.1.2 Pluviômetro	25
5.1.3 Cuidados na instalação dos equipamentos	26
5.2 Escoamento superficial	27
5.2.1 Medição de fluxo	27
5.2.2 Estrutura de saída	27
5.2.3 Limnógrafo	28
5.3 Qualidade da água	29
5.4 Infiltração e percolação	30
5.4.1 Piezômetros	31
5.4.2 Sensores de umidade	31
5.4.3 Lisímetros	32
5.5 Lista de equipamentos básicos	33
6 PROCESSAMENTO DE DADOS	34
7 BIBLIOGRAFIA	39

ÍNDICE GENERAL

1 OBJETIVO	13
2 ALCANCE	16
3 PLANTEO METODOLÓGICO	16
4 DETERMINACIÓN DE UNA UNIDAD DE ESTUDIO	21
4.1 Consideraciones generales	21
4.2 Cartografía	21
4.3 Área	22
4.4 Relieve	22
4.5 Cobertura de suelos	22
4.6 Hidrografía	23
5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FUNDAMENTALES	24
5.1 Precipitaciones	24
5.1.1 Pluviógrafo	24
5.1.2 Pluviómetro	25
5.1.3 Recaudos para la instalación de equipos	26
5.2 Escorrentía superficial	27
5.2.1 Aforo	27
5.2.2 Estructura de salida	27
5.2.3 Limnógrafo	28
5.3 Calidad del agua	29
5.4 Infiltración y percolación	30
5.4.1 Piezómetros	31
5.4.2 Tensiómetros	31
5.4.3 Lisímetros	32
5.5 Listado del equipamiento básico	33
6 PROCESAMIENTO DE DATOS	34
7 BIBLIOGRAFÍA	39

1 OBJETIVO

O uso tradicional do solo na Argentina, no Brasil, no Paraguai e no Uruguai sofreu grandes mudanças. Em alguns casos, observou-se um aumento significativo da cobertura florestal. Em outros, sua clara diminuição, causada pelo desmatamento. Essas mudanças podem ser observadas nos mapas sobre o uso do solo confeccionados pelo Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guaraní (PSAG), referentes aos anos de 1973 a 1980, 1990 e 2007 (figuras 1 a 4).

Este Documento Técnico tem o objetivo de oferecer diretrizes e especificações que podem ser aplicadas de forma preventiva e durante a vida útil de qualquer projeto de florestal. Ele permite o estudo quantitativo de alguns dos principais impactos associados às florestas plantadas e sua relação com o Sistema Aquífero Guaraní, em particular os efeitos sobre o ciclo hidrológico, o escoamento superficial e a infiltração.

Este Documento Técnico é um instrumento de gestão ambiental e sua aplicação produzirá resultados que permitirão conhecer de forma detalhada os temas de interesse. Além disso, contribuirá para o desenvolvimento sustentável, pois a informação gerada poderá ensejar ações corretivas inéditas.

Sobretudo, pretende-se:

- Identificar os efeitos dos projetos florestais sobre o ciclo hidrológico.
- Fomentar a incorporação da dimensão ambiental nos projetos florestais, por meio do monitoramento de seus efeitos mais diretos.
- Estabelecer bases para delimitar uma área de estudo.
- Estabelecer medidas mínimas para realizar um monitoramento que permita quantificar os principais impactos associados ao projeto florestal – escoamento superficial, sua quantidade e qualidade e infiltração.
- Esclarecer o papel do empreendedor na gestão ambiental necessária na implementação de qualquer projeto florestal.

1 OBJETIVO

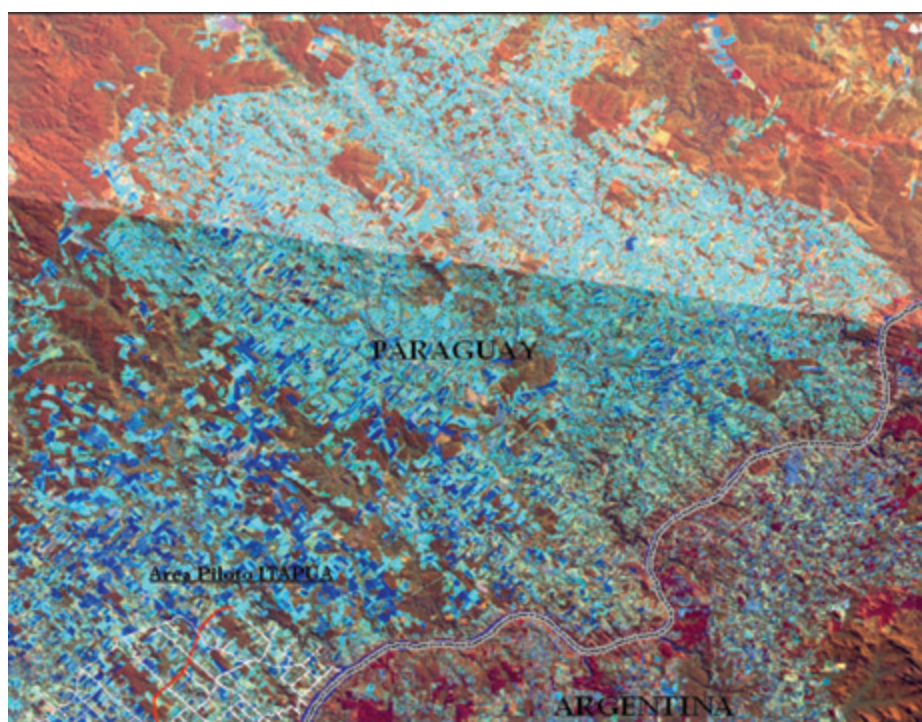
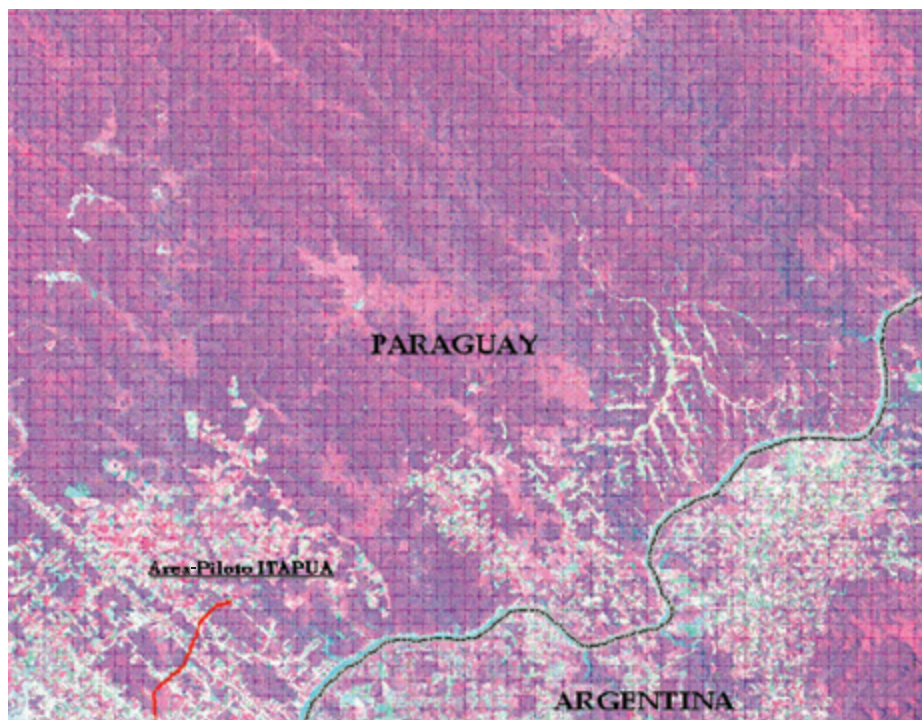
El uso tradicional del suelo en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay se ha visto francamente modificado, resultando en algunos casos en un aumento significativo de las plantaciones forestales y en otros en una clara disminución por deforestación. Esta evolución puede apreciarse muy gráficamente al analizar los mapas de uso del suelo confeccionados por el Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní para los períodos 1973-1980, 1990 y 2007. (Figuras 1 la 4).

El presente Documento Técnico tiene como objetivo ofrecer lineamientos y especificaciones que se pueden aplicar en forma previa y durante la vida útil de cualquier proyecto de forestación a fin de conocer en forma cuantificada algunos de los principales impactos asociados a la forestación sobre el Sistema Acuífero Guaraní. En particular los efectos sobre ciclo hidrológico, específicamente sobre el escurrimiento superficial y la infiltración.

Se entiende que este material constituye un instrumento de gestión ambiental de cuya aplicación se obtendrán resultados que permitirán conocer la problemática antes citada en mayor detalle y significará contribuir al desarrollo sostenible, en tanto de la información generada se podrán derivar acciones correctivas, si correspondieren.

En particular se pretende:

- *Identificar los efectos que genera la forestación sobre el ciclo hidrológico.*
- *Fomentar la incorporación de la dimensión ambiental en los proyectos de forestación a través del monitoreo de sus efectos más directos.*
- *Establecer las bases para delimitar un área de estudio.*
- *Establecer las medidas mínimas que se deben tomar para llevar adelante un monitoreo que permita cuantificar los principales impactos significativos asociados a la forestación: es decir sacar ambientales negativos significativos.*
- *Señalar el rol del emprendedor en la gestión ambiental requerida en todo proceso de implantación de proyectos forestales.*

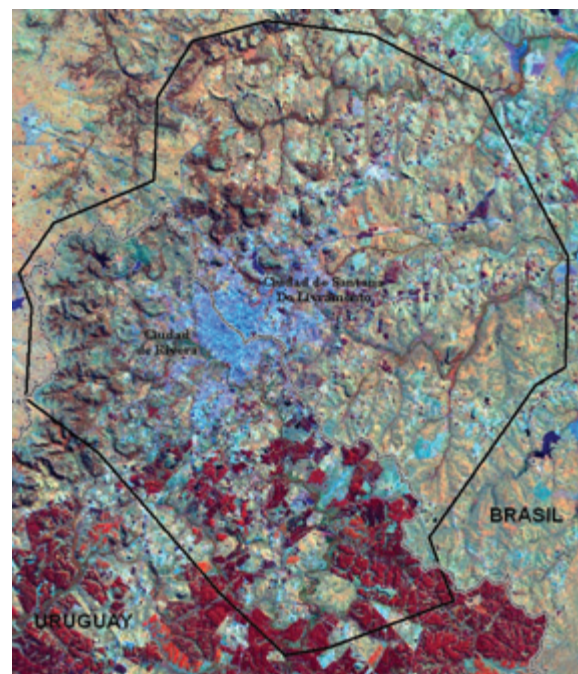
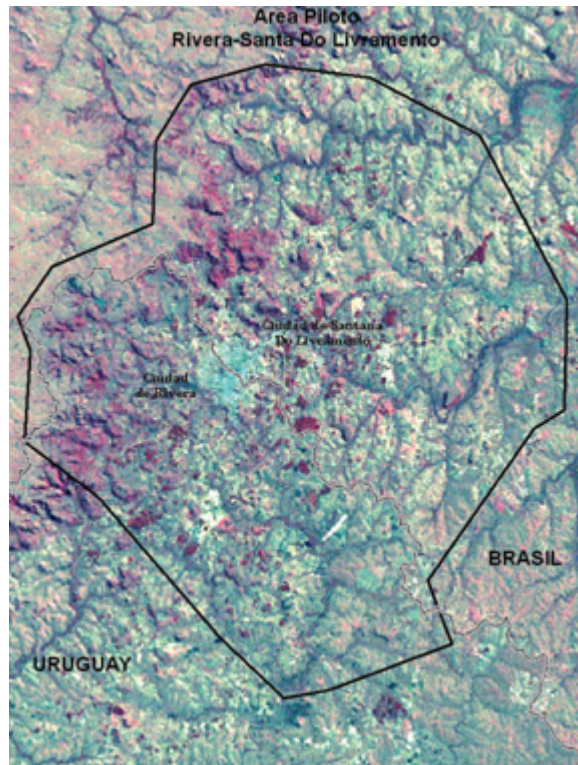


Figuras 1 e 2.-

As imagens de satélite mostram o aumento da urbanização na área-piloto de Itapúa e a consequente diminuição da cobertura florestal (azul). Período 1973-2007.

Figuras 1 y 2.-

Imágenes satelitarias muestran como en el área piloto de Itapúa ha aumentado la urbanización y en consecuencia a disminuido el área forestada (colores celestes). Período 1973 - 2007.



Figuras 2 e 3.-

Imagens de satélite mostram o aumento da cobertura florestal na área-piloto de Riviera – Santana do Livramento (vermelho e ocre). Período 1976-2007.

Figuras 2 y 3.-

Imágenes satelitarias- muestran como en el área piloto de Riviera – Santana do Livramento ha aumentado el área forestada (colores rojos y ocre). Período 1976 - 2007.

2 ALCANCE

Este Documento Técnico, de adoção voluntária, é aplicável a todos os projetos florestais que utilizem espécies não nativas, que ocupem superfícies maiores de 50 hectares e que tenham fins comerciais. Pode ser aplicado em qualquer projeto florestal que seja desenvolvido sobre o Sistema Aquífero Guarani.

Além do cumprimento dos critérios ambientais apresentados neste Documento Técnico, o projeto florestal deverá cumprir com todas as obrigações ambientais previstas na legislação vigente e aplicável, mesmo que não tenha sido mencionada explicitamente neste documento.

2 ALCANCE

El presente Documento Técnico será de adopción voluntaria y aplicará a todos los proyectos de forestación que utilicen especies no nativas, en superficies mayores a las 50 hectáreas y que presenten fines comerciales. En particular será de aplicación a todos los proyectos forestales que se desarrollen sobre el Sistema Acuífero Guarani.

Además del cumplimiento de los criterios ambientales contenidos en este Documento Técnico, el proyecto de forestación deberá cumplir con todas las obligaciones ambientales previstas en la normativa vigente y aplicable, aunque no hayan sido señaladas explícitamente en este documento.

3 METODOLOGIA

O Sistema Aquífero Guarani é uma reserva subterrânea de água que ocupa uma área de 1,2 milhão de quilômetros quadrados. Ele localiza-se entre os paralelos 12° e 35° de latitude sul e os meridianos 47° e 65° de longitude oeste. Ocupa, geograficamente, quatro países: Argentina (19%), Brasil (70%), Paraguai (6%) e Uruguai (5%).

Sua recarga, que ocorre em zonas de afloramento do aquífero, provém de águas da chuva e superficiais. O Sistema Aquífero Guarani está localizado sob a extensa rede de drenagem da Bacia do Prata, que desemboca nos principais rios da região: Paraná, Paraguai e Uruguai. Por causa de seu confinamento, em aproximadamente 90% de sua área, a interação do aquífero com a água do sistema superficial ocorre em áreas de contato direto, ou seja, nas zonas de afloramento de arenitos. Essa interação está descrita na modelagem numérica regional realizada pelo Consórcio Guarani (figura 5).

3 PLANTEO METODOLÓGICO

El Sistema Acuífero Guarani es una reserva subterrânea de agua que ocupa 1.200.000 km² de superficie. Se desarrolla entre los 12° y 35° de latitud sur y los 47° y 65° de longitud oeste y ocupa geográficamente cuatro países: Argentina (19%), Brasil (70%), Paraguay (6%) y Uruguay (5%).

Su recarga, que se realiza en zonas de afloramiento del acuífero, proviene necesariamente del agua de lluvia y también de agua superficial. El Sistema Acuífero Guarani está ubicado debajo de la extensa red de drenaje de la cuenca del Plata que desemboca en los principales ríos de la región: Paraná, Paraguay y Uruguay. Debido a su confinamiento en aproximadamente 90% de su área, la interacción del acuífero con el agua del sistema superficial, ocurriría en zonas de contacto directo entre ellas, esto es en zonas de afloramiento de las areniscas según se describe en la Modelación numérica regional realizada por el Consorcio Guarani. (Figura 5).

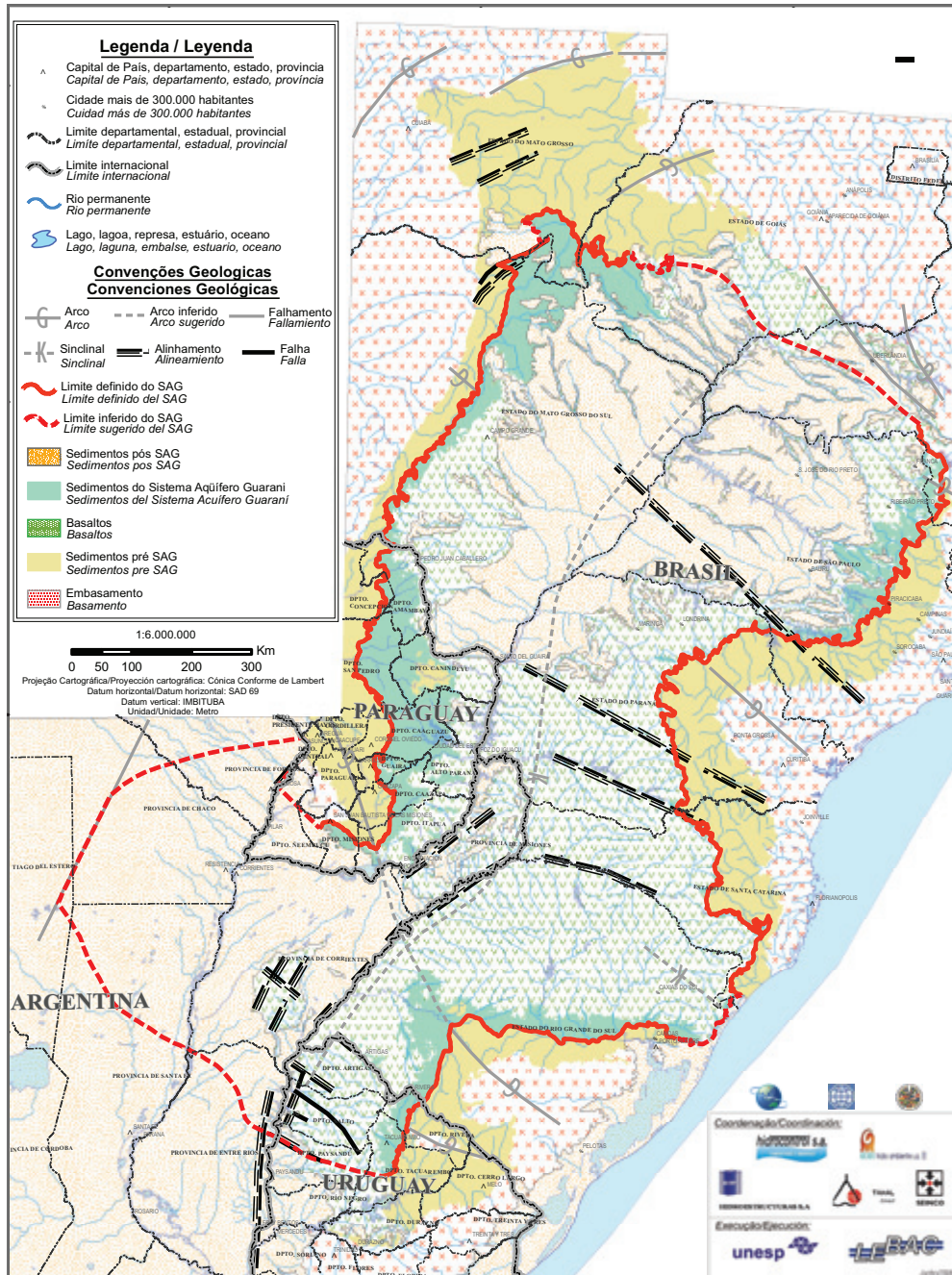


Figura 5.- Mapa geológico simplificado do SAG. Em verde aparecem as zonas de afloramento de arenitos que conformam o SAG.

A existência de projetos florestais provoca mudanças na cobertura do solo, aumentando substancialmente a biomassa vegetal, tanto aérea quanto subterrânea. Essa modificação

Figura 5.- Mapa geológico simplificado del SAG. En verde se puede apreciar las zonas de afloramiento de las areniscas que conforman el SAG.

La existencia de proyectos forestales determina necesariamente que la cobertura del suelo se vea modificada, aumentándose sustancialmente la biomassa vegetal, tanto aérea como subterrânea.

leva a uma redução do escoamento e da infiltração, causada pelo aumento das taxas de evapotranspiração (figura 6).

Está bien establecido que esta modificación resultará en una reducción del agua escurrida e infiltrada, debido a la existencia de mayores tasas de evapotranspiración. (Figura 6).

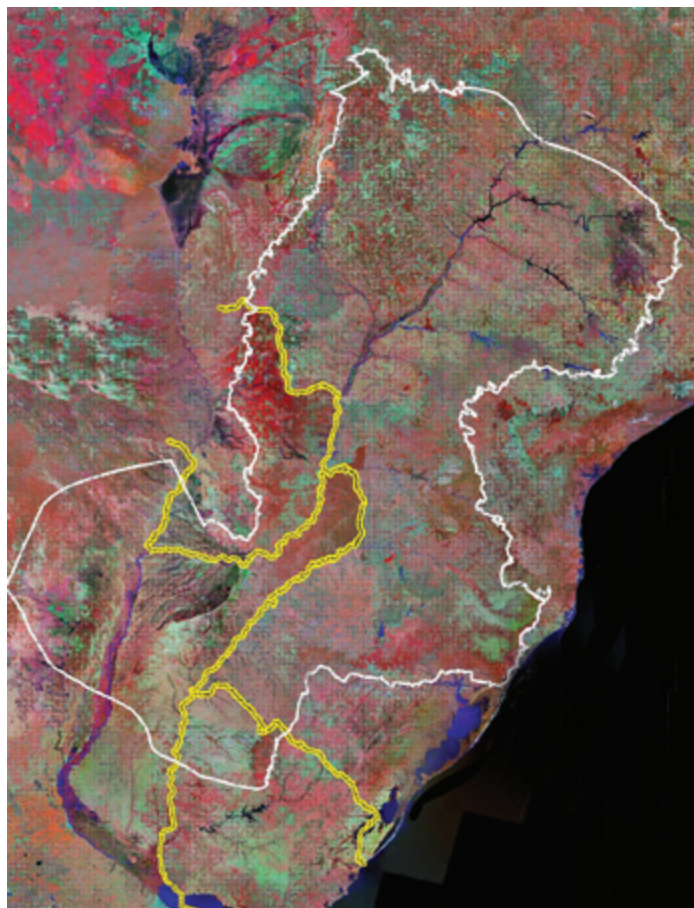


Figura 6.-

Imagens de satélite, feitas em 2007, mostram as áreas de florestas plantadas (vermelho e ocre) dentro dos limites do SAG.

Para determinar a incidência dessas modificações, é necessário introduzir o conceito de ciclo hidrológico. Segundo Linsley, esse ciclo começa com a evaporação da água dos oceanos. O vapor da água é transportado por massas móveis de ar. Sob condições adequadas, o vapor condensa e forma as nuvens, que podem transformar-se em precipitação. Quando chega a terra, a precipitação se dispersa de diferentes formas. A maior parte é retida temporariamente pelo solo da região onde caiu e retorna à atmosfera

Figura 6.-

Imágenes satelitares, año 2007 que muestran las zonas forestadas (colores rojos y ocre) dentro de los límites de SAG.

A fin de determinar la incidencia de estas modificaciones resulta necesario introducir el concepto de ciclo hidrológico. De acuerdo a Linsley, este ciclo se visualiza iniciándose con la evaporación del agua de los océanos. El vapor de agua resultante, es transportado por masas móviles de aire. Bajo condiciones adecuadas, el vapor se condensa para formar las nubes, las que a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación una vez sobre la tierra se dispersa de distintas maneras. La mayor parte, es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la

por evaporação e por transpiração das plantas. Outra parte escorre pela superfície ou através do solo até alcançar um curso de água. O restante penetra no solo e forma os depósitos de água subterrânea.

O balanço hídrico pode ser descrito pela seguinte expressão:

$$P = I + E + T + S + D + A$$

P = água precipitada

I = água interceptada pela vegetação e que logo evapora

E = água evaporada diretamente do solo

T = água absorvida pelas raízes das plantas e que volta à atmosfera por transpiração

S = água que escorre na superfície

D = água que penetra no solo e que serve de recarga para o aquífero

A = água armazenada no solo

atmósfera por evaporação y transpiración de las plantas. Otra parte, escurre sobre la superficie o a través del suelo hasta alcanzar las corrientes de agua. La parte restante, penetra más profundamente en el suelo para conformar el agua subterránea.

Una expresión detallada del balance hídrico se presenta seguidamente.

$$P = I + E + T + S + D + A$$

P = agua precipitada

I = agua interceptada por la vegetación que luego es evaporada

E = agua evaporada directamente del suelo

T = agua que luego de ingresar al suelo es absorbida por las raíces y transpirada

S = agua que escurre en forma superficial

D = agua que drena en profundidad y sirve de recarga al acuífero

A = agua almacenada en el suelo

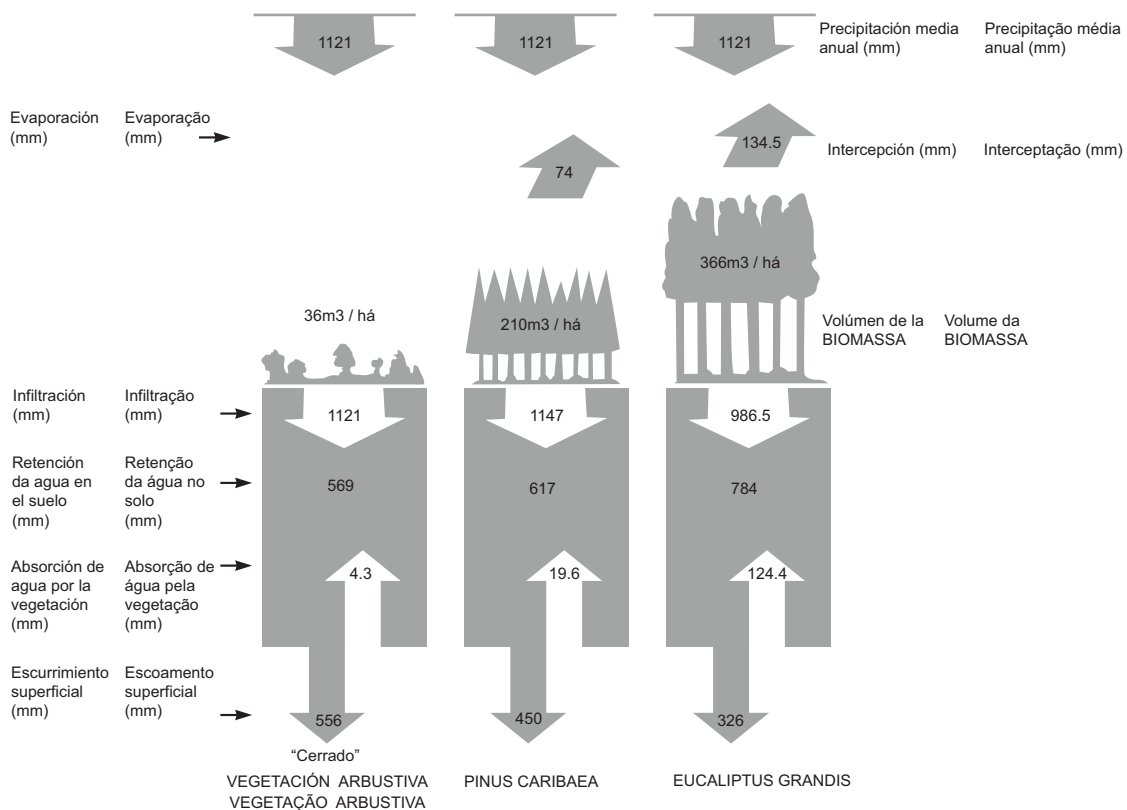


Figura 7.-

Quantificação do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, em três ecossistemas diferentes: um nativo e dois com monocultura florestal.

Figura 7.-

Cuantificación del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica en tres ecosistemas diferentes, uno nativo y dos monocultivos forestales.

O objetivo deste Documento Técnico é oferecer ferramentas para calcular a redução do escoamento e da infiltração causada pela implantação de projetos florestais. A medição direta de todas as variáveis do balanço hídrico é a forma ideal, porém inviável na prática.

Ao se desconsiderar os escoamentos superficiais, tem-se a precipitação efetiva. A medição desses parâmetros é viável e permite estimar a infiltração, calculando a diferença entre a precipitação efetiva, os usos consuntivos e as variações de armazenamento do solo.

Entretanto, a evapotranspiração real do complexo formado por solo e cultivo, em um lugar específico, constitui um dos elementos mais difíceis de calcular na equação geral de balanço. Esse dado depende da quantidade de chuva anual, do potencial de evapotranspiração da espécie plantada, de seu ciclo vegetativo e da água disponível para a planta em função do tipo de solo. Também influenciam os limites de umidade do solo, que controlam o fim da evapotranspiração, o início do escoamento e a percolação. Esses são o ponto de esgotamento permanente e a capacidade de campo de um solo, respectivamente. Existem aproximações a partir da estimativa da evapotranspiração potencial calculada em função da evaporação medida em tanques classe A.

O que se propõe é medir a precipitação, o escoamento superficial e a infiltração. Cabe destacar que, entre os parâmetros estabelecidos, a infiltração costuma ser o de mais difícil quantificação.

Com o objetivo de chegar a resultados precisos, é necessário que o monitoramento comece pelo menos três anos antes do início da plantação e continue durante todo o período de crescimento e amadurecimento do projeto florestal.

Da comparação dos resultados obtidos poderão ser extraídas conclusões que permitirão aprofundar o conhecimento acerca dos efeitos ambientais dos projetos florestais sobre o ciclo hidrológico. Cabe destacar que:

- A redução do escoamento e da infiltração dependerá da produtividade dos exemplares, da porcentagem de área de estudo efetivamente plantada e do manejo da plantação.
- O impacto sobre a redução do fluxo será maior nos casos de fluxo-base.

Es objetivo de este Documento Técnico-Guia es abordar los extremos necesarios a fin de determinar la reducción de escurrimiento e infiltración por la implantación de proyectos forestales. La medición directa de todas las variables del balance hídrico es la situación ideal, sin embargo, ello no resulta posible en la práctica.

Se conoce como precipitación efectiva, la precipitación menos los escurrimientos superficiales, la medición de ambos parámetros resulta factible. En este contexto, podría plantearse el estimar la infiltración como la diferencia entre la precipitación efectiva, los usos consuntivos y las variaciones de almacenamiento del suelo.

Sin embargo, la evapotranspiración real del complejo suelo – cultivo en un sitio específico, constituye uno de los términos de la ecuación general de balance de mayor dificultad de cuantificación. Básicamente porque depende de la lluvia anual efectivamente ocurrida, del potencial de evapotranspiración de la especie plantada y su ciclo vegetativo, y del agua disponible que tiene la planta en función del tipo de suelo. Juegan en esto, los límites de humedad del suelo que controlan el cese de la evapotranspiración y el inicio de la escorrentía y la percolación, que son el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo de un suelo, respectivamente. Existen aproximaciones a partir de la estimación de la evapotranspiración potencial calculada en función de la evaporación medida en tanques clase A.

En tal sentido lo que se propone es medir: precipitación, escurrimiento superficial e infiltración. Cabe destacar que de todos los parámetros establecidos, la infiltración es usualmente el más difícil de cuantificar.

A fin de poder llegar a resultados acertados, se requiere que el monitoreo comience no menos tres años antes de iniciarse las tareas de plantación y continúe durante todo el período de crecimiento y maduración del proyecto forestal.

De la comparación de los resultados obtenidos podrán extraerse conclusiones que permitirán profundizar en el conocimiento de los efectos ambientales de la forestación sobre el ciclo hidrológico. Cabe destacar que:

- La reducción del escurrimiento y de la infiltración dependerá de la productividad de los ejemplares, del porcentaje del área de estudio efectivamente forestada y del manejo de la plantación.
- El impacto en la reducción del flujo será mucho mayor cuando se trata del flujo base.

4 DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE ESTUDO

Para levar adiante as medidas práticas propostas neste Documento Técnico, é indispensável definir pelo menos uma unidade de estudo para cada projeto florestal.

4.1 Considerações gerais

Toda unidade de estudo deve estar relacionada a uma unidade territorial perfeitamente localizada do ponto de vista geográfico e definida espacialmente por meio de GPS (*Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global), sobre a qual serão realizadas as determinações práticas propostas.

Caso exista uma única unidade de estudo, é necessário que ela esteja totalmente contida na área que se pretende cultivar. Essa será a “unidade básica” de estudo.

Caso seja possível, deve-se contar com uma segunda unidade de estudo que esteja fora da área a ser cultivada e cujo destino não seja o plantio. Essa será a “unidade de observação”.

Para facilitar a aplicação do Documento Técnico, é necessário que todas as unidades de estudos, tanto as básicas quanto as de observação, apresentem as seguintes características:

- Estejam localizadas em pelo menos uma bacia hidrográfica, ou seja, em uma unidade territorial na qual a água que cai por precipitação escorre em direção a um único ponto de saída.
- Estejam localizadas em áreas consideradas representativas da área total a ser cultivada, no que se refere à superfície, ao relevo, ao tipo de solo e à localização geográfica.
- Caso sejam selecionadas mais de uma área de estudo, as unidades deverão ser comparáveis nos parâmetros que caracterizam as bacias que integram o projeto florestal.

4.2 Cartografia

É necessário ter à disposição uma base cartográfica com mapas planialtimétricos. Pode-se tomar como

4 DETERMINACIÓN DE UNA UNIDAD DE ESTUDIO

A fin de llevar adelante las determinaciones prácticas que se proponen en este Documento Técnico resulta indispensable definir al menos una unidad de estudio para cada proyecto forestal.

4.1 Consideraciones generales

Toda unidad de estudio se deberá corresponder con una unidad territorial perfectamente localizada del punto de vista geográfico y definida espacialmente mediante GPS (Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global), sobre la cual se llevarán adelante las determinaciones prácticas que se proponen.

Resulta necesario que, de existir una única unidad de estudio, ésta quede totalmente comprendida dentro del área que se propone forestar. A esta unidad de estudio la denominaremos “unidad básica”.

En caso de ser posible, sería conveniente contar con una segunda unidad de estudio, no comprendida dentro del área a forestar y cuyo destino no fuera la forestación, a fin de ser utilizada como “unidad testigo”.

A efectos de facilitar las determinaciones prácticas resulta necesario que toda unidad de estudio, básica o testigo, se constituya:

- *Por al menos una cuenca hidrográfica, entendiéndose por tal a toda unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación escurre a un único punto común de salida.*
- *Por un área que pueda considerarse representativa, en superficie, relieve, tipo de suelo y localización geográfica, del área total a forestar.*
- *En caso de seleccionar más de una unidad de estudio, las unidades deberán ser comparables en los parámetros que caracterizan las cuencas que integran el proyecto forestal.*

4.2 Cartografía

Resulta necesario contar con una base cartográfica con mapa planialtimétrico. Podrá tomarse como

Essa informação deve ser atualizada sistematicamente.

O levantamento de informações pode começar com a análise de fotos aéreas. É necessário que as amostras utilizadas na obtenção de dados sejam de parcelas representativas.

Cabe ressaltar que a biomassa florestal é definida como o peso (ou estimativa equivalente) de matéria orgânica que existe em determinado ecossistema florestal, tanto sobre quanto sob o solo. Normalmente é quantificada em toneladas por hectare de peso verde ou seco e para uma determinação exata são necessários ensaios destrutivos.

A possibilidade de acesso ao mercado de carbono tornou o cálculo da biomassa uma etapa de fundamental importância. Nela, pode-se determinar a capacidade de captura de CO₂. Por isso, é importante verificar se o projeto florestal participa ou pretende participar desse mecanismo, o que determina a necessidade de contar com informações sobre a biomassa.

4.6 Hidrografia

Para definir corretamente o sistema hidrográfico envolvido, é necessário determinar os seguintes elementos:

- número de cursos de água e relação em sua tributação;
- comprimento total de cursos permanentes e intermitentes;
- densidade da drenagem ou comprimento dos cursos por km²;
- comprimento e inclinação do curso principal;
- tempo de concentração da unidade;

“Curso principal” é o curso de água mais longo dentro da unidade de estudo e vai das nascentes até o ponto de saída da bacia hidrográfica definida.

O tempo de concentração da unidade de estudo corresponde ao tempo que leva uma gota de água que cai em um ponto afastado para chegar ao ponto de saída da bacia. Esse tempo é calculado da seguinte forma:

$$T_c = 0,4 L^{0,77} S^{-0,385}$$

- cantidad de ejemplares
- levantamiento de datos de desarrollo
- estimación de la biomasa vegetal

Esta información debe ser actualizada en forma sistemática.

El levantamiento de la información puede iniciarse mediante el análisis de fotos aéreas, pero requiere de la obtención de datos mediante muestreos de parcelas representativas.

Cabe destacar que la biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco y para una determinación exacta se requiere de ensayos destructivos.

La posibilidad de acceder al mercado del carbono ha hecho que la determinación de la biomasa resulte de fundamental importancia a fin de determinar la capacidad de captura de CO₂. Por este motivo debe verificarse si el proyecto forestal de que se trata ha ingresado o plantea ingresar a este mecanismo, a fin de contar con la información antedicha.

4.6 Hidrografía

A fin de definir correctamente el sistema hidrográfico involucrado se deberán determinar los siguientes elementos:

- número de cursos y relación en su tributación
- longitud total de cursos permanentes e intermitentes
- densidad de drenaje o longitud de cursos por km₂
- longitud y pendiente del cauce principal
- tiempo de concentración de la unidad

Se define como cauce principal al curso de agua de mayor longitud que recorre la unidad de estudio y que va, desde las nacientes hasta el punto de salida de la cuenca hidrográfica definida.

El tiempo de concentración de la unidad de estudio, se define como el tiempo de viaje de la gota de agua que cae en el punto más alejado de la cuenca y corre hacia el punto de salida de la cuenca. Ese tiempo se calcula como:

$$T_c = 0,4 L^{0,77} S^{-0,385}$$

Tc = tempo de concentração em horas
L = comprimento do curso principal em quilômetros
S = inclinação do curso principal em %

Tc = tiempo de concentración en horas
L = longitud del cauce principal en Km
S = pendiente del cauce principal en %

5 MEDIÇÃO DE PARÂMETROS FUNDAMENTAIS

Existem diversas variáveis envolvidas no balanço hidrológico. Este Documento Técnico propõe a medição direta de algumas delas.

5.1 Precipitações

O volume total de precipitações que chegam ao solo durante determinado período de tempo corresponde ao nível que alcançaria a água sobre uma projeção horizontal da superfície terrestre caso permanecesse no mesmo lugar onde caiu.

Para obter a maior quantidade possível de dados e informações, é necessário contar com os seguintes registros:

- registros contínuos que caracterizem a intensidade das chuvas;
- registros de precipitação acumulada diária;
- registros complementares que mostrem a interceptação da plantação.

5.1.1 Pluviógrafo

O pluviógrafo é um aparelho que serve para registrar, de forma contínua, a duração da chuva e sua quantidade em milímetros. Os registros que esse aparelho produz permitem determinar a quantidade de água precipitada, o momento em que isso ocorreu e sua distribuição temporal.

5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FUNDAMENTALES

De todas las variables incluidas en el balance hidrológico este Documento Técnico propone proceder a la medición directa de algunas de ellas.

5.1 Precipitaciones

El volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado de tiempo se expresa en función del nivel de agua que alcanzarían las mismas sobre una proyección horizontal de la superficie terrestre si la precipitación permaneciera en el mismo lugar donde cae.

A fin de obtener la mayor cantidad de datos e información posible, resulta necesario contar al menos con:

- *registros continuos que caractericen la intensidad de los eventos;*
- *registros de precipitación acumulada diaria;*
- *registros complementarios que muestren el efecto de interceptación que genere la plantación.*

5.1.1 Pluviógrafo

El pluviógrafo es un aparato registrador que sirve para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros, de los registros puede definirse no sólo la altura de la precipitación caída sino también, cuándo ha caído, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo.

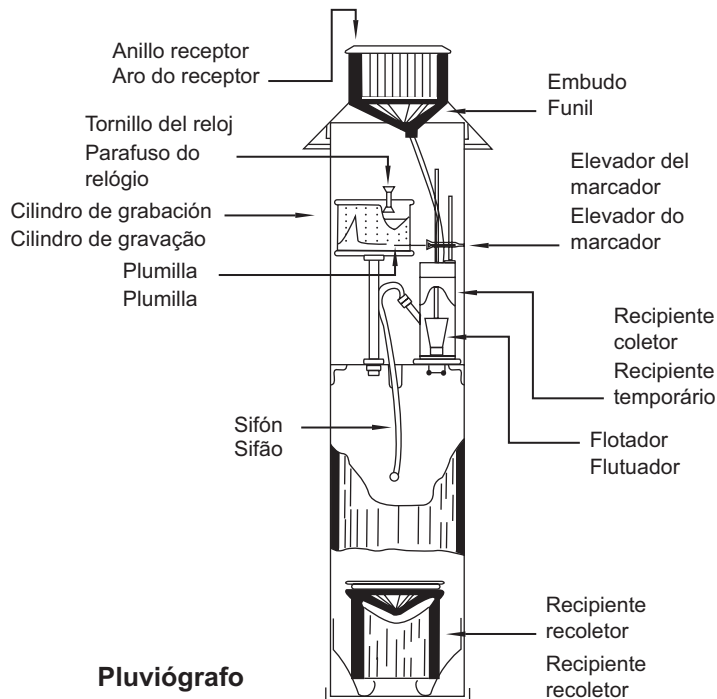


Figura 8.-
Pluviógrafo

Figura 8.-
Pluviógrafo

5.1.2 Pluviómetro

O pluviómetro é um aparelho que mede a quantidade de água que cai em forma de chuva, neve ou granizo, gerando um resultado em litros ou milímetros por metro cuadrado.

5.1.2 Pluviómetro

El pluviómetro es un aparato destinado a medir la cantidad de agua caída, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo, expresada a través de la cantidad de litros o milímetros caídos por metro cuadrado.

Em um pluviómetro, a chuva captada por um funil de diâmetro padronizado é depositada em um recipiente de boca estreita. Esse recipiente fica isolado dentro de outro, de forma que suas paredes não estejam em contato uma com a outra, evitando o aquecimento da água e minimizando perdas por evaporação. A água acumulada é medida com uma proveta graduada.

En un pluviómetro, la lluvia se recoge en un embudo de diámetro normalizado y entra en un depósito de boca estrecha, que se mantiene aislado del contacto con las paredes de un recipiente exterior, para evitar el calentamiento del agua. Se minimizan así las pérdidas de agua por evaporación. La lluvia recogida se mide luego con una probeta graduada adecuadamente.

Um pluviómetro básico é formado por um recipiente de entrada, um funil e um depósito. A água acumulada no depósito pode ser medida visualmente com uma régua graduada ou pode ser pesada. Além disso, a oscilação no nível da água no recipiente de entrada permite registrar, de forma mecânica ou elétrica, a intensidade da chuva precipitada.

El diseño básico de un pluviómetro consiste en un recipiente de entrada, llamado balancín, por donde el agua ingresa a través de un embudo hacia un colector donde el agua se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Asimismo, el balancín oscila a volumen constante de agua caída, permitiendo el registro mecánico o eléctrico de la intensidad de lluvia caída.

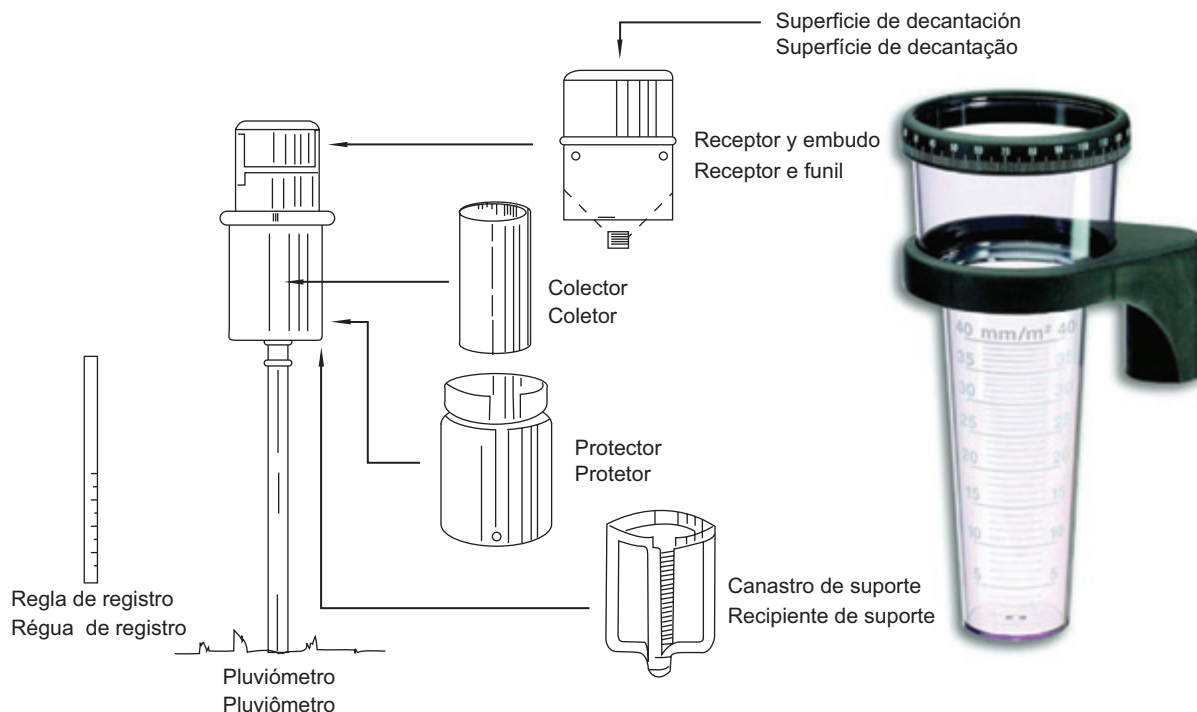


Figura 9.-
Pluviômetro.

5.1.3 Cuidados na instalação dos equipamentos

Os erros de amostragem são mais comuns quando há um aumento da precipitação média na área e são menos comuns quando aumenta a densidade das medições, a duração da precipitação e o tamanho da área. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial, a distância máxima recomendada entre os pontos de medição é de 30 quilômetros. Com base nesse dado, deve-se calcular a quantidade de pluviômetros a serem instalados.

Para determinar a intensidade das precipitações, é necessário que haja um pluviógrafo. E para analisar o fenômeno da interceptação, o pluviógrafo e pelo menos um pluviômetro devem ser instalados fora da área florestada.

O objetivo de qualquer método de medição de precipitações é obter amostras representativas da área em análise. Portanto, é fundamental que se estude a distribuição e a exposição dos equipamentos. Além disso, deve-se ter cuidado

Figura 9.-
Pluviômetro.

5.1.3 Recaudos para la instalación de equipos

Los errores de muestreo tienden a aumentar cuando se incrementa la precipitación media en el área y tienden a disminuir cuando aumenta la densidad de medidas, la duración de la precipitación y el tamaño del área. De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial la distancia máxima recomendada entre puntos de medida es de 30 Km, por lo que deberá calcularse para cada unidad de estudio la cantidad de pluviómetros a instalar.

A fin de determinar la intensidad de los eventos se requiere que uno de ellos sea un pluviógrafo y a efectos de analizar el fenómeno de interceptación se requiere que el pluviógrafo y al menos un pluviómetro se localicen fuera de la zona forestada.

El objetivo de cualquier método de medición de precipitaciones es obtener muestras representativas de la precipitación en la zona a que se refiere la medición. Por tanto resulta fundamental la ubicación de los equipos y su exposición, así como cuidar

com as perdas por evaporação e com o efeito causado pelo vento e pelo respingo.

Cada equipamento deve ser alocado para representar as precipitações que ocorrem em seu entorno. Talvez seja difícil recriar essas condições por causa dos efeitos do vento. O recomendável é que a velocidade do vento na altura da boca do instrumento seja a menor possível, sem que a chuva seja detida por objetos circundantes. A boca do pluviômetro deve ficar o mais próximo possível do solo e distante o suficiente para evitar os respingos.

5.2 Escoamento superficial

5.2.1 Medição de fluxo

A aferição é o conjunto de medições e operações realizadas em um curso de água para determinar sua vazão. Vazão é o volume de líquido que passa por uma seção de referência em uma unidade de tempo.

$$Q = A \times V$$

Onde:

Q = vazão em unidades de volume e tempo

A = área em unidades de superfície

V = velocidade em unidades de longitude e tempo

Frequentemente, a forma de expressar a vazão no sistema métrico é em litros por segundo (l/s) e metros cúbicos por segundo (m³/s).

Há vários métodos para medir o fluxo de água. O registro dos níveis de água em um curso pode transformar-se em um registro de vazões mediante a geração de uma curva de calibragem.

5.2.2 Estrutura de saída

Normalmente, o ponto de fechamento de uma unidade de estudo não coincide com uma seção de curso de água cujo fluxo já tenha sido medido. Nessa situação, há duas formas de solucionar o problema.

Se o ponto de fechamento estiver sobre um curso de água que apresente uma estrutura de saída natural mensurável, basta determinar a seção e medir o fluxo, estabelecendo uma curva que correlacione a altura da água e o gasto que circula por ela. O processo de medição do fluxo

las pérdidas por evaporación, efecto del viento y salpicaduras.

Cada equipo se deberá ubicar de manera que represente las precipitaciones que se produzcan en la zona circundante. Puede resultar difícil recriar estas condiciones por los efectos del viento. Lo recomendable es que la velocidad del viento al nivel de la boca del instrumento sea lo más pequeña posible pero sin que la lluvia sea detenida por objetos circundantes. La boca del pluviómetro deberá estar lo más cerca del suelo posible, pero lo suficientemente alejada a fin de evitar salpicaduras.

5.2 Escorrentía superficial

5.2.1 Aforo

El aforo se define como el conjunto de mediciones y operaciones que se realizan en un curso de agua para determinar el caudal. Entendiéndose caudal como la cantidad de líquido, expresada en volumen, que pasa por una sección de referencia en una unidad de tiempo.

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Caudal en unidades de volumen y tiempo

A = Área en unidades de superficie

V = Velocidad en unidades de longitud y tiempo

Frecuentemente, la forma de expresar el caudal en el sistema métrico es en l/s y m³/s.

En la medición del flujo del agua existen varios métodos y el registro de niveles de agua en el curso puede transformarse en un registro de caudales mediante la generación de una curva de calibración.

5.2.2 Estructura de salida

Resulta difícil que el punto de cierre de la unidad de estudio coincida con una sección ya aforada de un curso de agua, por lo que habrá de optarse por una de las siguientes dos soluciones.

Si el punto de cierre que encuentra sobre un curso de agua que presenta en ese punto una estructura de salida natural aforable, sólo será necesario proceder a determinar la sección y aforar la misma,

exigirá a instalação de equipamentos durante um período de tempo que permita cobrir diversas situações pluviométricas.

Talvez isso não seja possível, ou porque levaria muito tempo ou porque a geração de uma área inundada descaracterizaria a seção. Nesse caso, deve-se recorrer à introdução de obras artificiais de confinamento, mediante terraplanagem e instalação de estruturas de saída que incluam desaguadouros calibrados antecipadamente. Recomenda-se a utilização de uma seção triangular na base e retangular em altura. Esse formato traz maior precisão na leitura de correntes pequenas e possui capacidade adequada para vazões maiores. Em qualquer caso, a construção de estruturas deve considerar os tempos de retorno, que deverão ser compatíveis com a vida útil do projeto.

5.2.3 Limnígrafo

Após resolver os problemas relacionados à estrutura de saída, deve-se realizar uma leitura sistemática do nível da superfície da água no curso. Essa medição é realizada imediatamente a jusante do ponto de fechamento. E, para isso, é necessário instalar um limnígrafo, aparelho que registra os movimentos de um flutuador (limnímetro), monitorando continuamente a saída.

estableciendo una curva en la que se correlacione la altura de agua con el gasto que circula por la misma. El proceso de aforo requerirá de la instalación de equipamiento por un lapso de tiempo en el que puedan cubrirse distintas situaciones pluviométricas.

Si lo anterior no resultara factible, ya fuera por el tiempo que insumiría tal trabajo o porque se estima que la generación de un área de inundación desdibujaría la sección, se debe recurrir a introducir obras de cierre artificiales, mediante la construcción de terraplenes y de una estructura de salida que incluya un vertedero precalibrado. Se recomienda la utilización de una sección triangular en la base y rectangular en altura, a fin de contar con una mayor precisión en la lectura de caudales pequeños y con una capacidad adecuada para caudales mayores. En todos los casos resulta necesario construir estas obras con atención a tiempos de retorno que deberán se acordes a la vida útil del proyecto.

5.2.3 Limnígrafo

Una vez resuelta la estructura de salida se requiere proceder a la lectura sistemática de la altura de agua en el curso de agua inmediatamente aguas arriba del punto de cierre. Para ello resulta necesaria la instalación de un limnígrafo, aparato que registra el movimiento de un flotador generando un registro continuo de salida.



Figura 10.-
Registrador de nível d'água ou limnígrafo.

Figura 10.-
Registrador de nível d'água ou limnígrafo.

5.3 Qualidade da água

Para determinar os efeitos do plantio de florestas sobre a qualidade da água de escoamento, é importante conhecer suas características. Isso pode ser feito mediante análises laboratoriais, que exigem a coleta de amostras representativas dessa água.

A metodologia de coleta e conservação das amostras deve garantir que os resultados analíticos obtidos em laboratório sejam representativos de sua composição. Há fatores que podem alterar a qualidade dos resultados, tais como: presença de matéria suspensa e mudanças físico-químicas, que podem ser causadas pela conservação inadequada ou pela aeração da amostra.

Para garantir a integridade da amostra, desde sua coleta até a produção dos relatórios, recomenda-se a manutenção de um registro de cada amostra coletada, por meio da identificação permanente dos recipientes. Nos recipientes devem constar informações como o nome da pessoa que fez a coleta, a data, a hora, o local, entre outros dados necessários.

O método de amostragem Documento Técnico não requer equipamentos, porém pode ser caro e consumir muito tempo em programas de grande escala. Já os métodos automáticos não são considerados aplicáveis.

De forma geral, para determinar os pontos de coleta de amostras e os métodos empregados, deve-se considerar o seguinte:

- 1) As amostras devem ser coletadas nos pontos de entrada e saída da área de estudo.
- 2) Não devem ser incluídos na amostragem os sedimentos e a matéria flutuante acumulados no ponto de coleta, porque esse material não é representativo das águas de escoamento.
- 3) As amostras coletadas devem ser analisadas o mais rápido possível. Caso sejam retidas por mais de 1 hora, devem ser preservadas em gelo ou com outro método.
- 4) Os pontos de amostragem devem ser de fácil acesso. É necessário ter ao alcance das mãos o equipamento e o material adequado para a coleta. Devem ser tomadas todas as precauções de segurança possíveis e deve-se proteger o pessoal contra as inclemências do clima.

5.3 Calidad del agua

Para conocer los efectos que la forestación genera en la calidad de las aguas de escurrimiento es importante conocer sus características. Para la determinación de éstas en el laboratorio, es necesario recoger muestras representativas del agua de escurrimiento.

La metodología de toma de las muestras y la conservación de las mismas, deben asegurar que los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio serán representativos de la composición de las mismas. Factores importantes que pueden alterar la calidad de los resultados son: la presencia de materia suspendida y los cambios fisicoquímicos que puedan derivarse de una conservación inadecuada o de la aereación de la muestra.

Para asegurar la integridad de la muestra desde la recolección hasta el reporte de los resultados se recomienda llevar un registro de cada muestra colectada, identificar cada recipiente, preferentemente marcando los recipientes con tinta indeleble. Se debe recoger información como: nombre de quién recoge la muestra, fecha, hora, localización, y cualquier otro dato necesario para la correlación.

El método de muestreo Documento Técnico no requiere de equipo, pero puede ser costoso y consumir tiempo para rutinas en programa a gran escala. No se entienden aplicables los muestreadores automáticos.

Los puntos generales para la localización de los puntos de muestreo y la recolección de las muestras son:

- 1) *Las muestras deben de tomarse a la entrada y a la salida del área de estudio.*
- 2) *No deberán incluirse en el muestreo los sedimentos ni la materia flotante que se hubiera acumulado en el punto de muestreo, porque este material no sería representativo de las aguas de escurrimiento.*
- 3) *Las muestras tomadas deben analizarse tan pronto como sea posible. Si por algún motivo se retienen más de una hora deben preservarse en hielo o con algún otro conservador.*
- 4) *Los puntos de muestreo deben ser de fácil acceso; es necesario tener a la mano el equipo y material adecuado; se deberán tomar todas las precauciones de seguridad posibles y se tendrá que proteger al personal de las inclemencias del tiempo.*

É necessário determinar os seguintes parâmetros: pH, demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), total de sólidos suspensos (fixos e voláteis), sólidos sedimentáveis, nitrogênio e fósforo.

O termo pH se refere ao nível de acidez de uma solução e é uma maneira de expressar a concentração de íon hidrogênio. Nas águas naturais, sua variação está, normalmente, associada ao consumo ou produção de dióxido de carbono (CO_2) produzido pelos organismos fotossintetizadores e pelos fenômenos de respiração e fermentação de todos os organismos presentes na água. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, menor será o pH. Um método eletrométrico permite determinar o pH, o que é feito com um aparelho digital.

5.4 Infiltração e percolação

Dependendo da quantidade de precipitação e da forma como o solo é utilizado em determinada bacia, chuvas de mesma intensidade podem produzir escoamentos e recargas diferentes do aquífero.

A capacidade de infiltração é o fluxo que o perfil do solo pode absorver através de sua superfície quando mantido em contato com água sob pressão atmosférica.

Diferentes características do solo interferem no desenvolvimento da infiltração. Se a água que ingressa supera a capacidade de campo, ela se acumula e escoar sobre a superfície do solo.

No subsolo existem duas regiões separadas pelo nível freático, que é o lugar geométrico onde a pressão hidrostática é igual à pressão atmosférica. Acima do nível freático, os poros do solo podem conter ar e água. Abaixo dele, apenas água.

Acima do nível freático há uma zona úmida, onde estão as raízes das plantas. Nela, a quantidade de água disponível varia em função da extração ou do uso consuntivo. Entre o nível freático e a zona úmida, há uma zona capilar que gera tensões ascendentes. Em alguns casos existe uma zona intermediária, onde os níveis de

Se entiende adecuado proceder a la determinación de los siguientes parámetros: pH, demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (fijos y volátiles), sólidos sedimentables, nitrógeno, fósforo.

El término pH es utilizado para expresar el nivel de acidez de una solución y es una manera de expresar la concentración del ion hidrógeno. En las aguas naturales su variación está normalmente asociada al consumo o producción de dióxido de carbono (CO_2), realizados por los organismos fotosintetizadores y por los fenómenos de respiración y fermentación de todos los organismos presentes en el agua. A mayor cantidad de materia orgánica disponible, menor será el pH. La determinación del pH se hace a través de un método electrométrico, utilizándose para eso un aparato digital.

5.4 Infiltración y percolación

Como respuesta a una precipitación dada en una cuenca y dependiendo de su magnitud y del uso del suelo, lluvias de iguales intensidades pueden producir escurrimientos diferentes y recargas diferentes del acuífero.

La capacidad de infiltración es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica.

Muchos factores del suelo intervienen en el desarrollo de la infiltración. Si el agua que ingresa supera la capacidad de campo, entonces el agua aportada empezará a acumularse sobre la superficie y a escurrir sobre la misma.

Dentro del suelo existen dos regiones principales separadas por el nivel freático, siendo este nivel el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. Por encima de este nivel los poros del suelo pueden contener aire o agua, por debajo sólo agua.

Por encima del nivel freático se encuentra una zona de humedad que es la zona donde llegan las raíces de las plantas y en donde la cantidad de agua disponible varía en función de la extracción o uso consuntivo. Por debajo de ésta pero por encima del nivel freático, se encuentra la zona capilar que genera tensiones ascendentes. En algunos casos, puede existir una

umidade do solo permanecem constantes e são iguais à capacidade de campo do solo.

5.4.1 Piezômetro

Com o objetivo de monitorar o nível freático, devem ser utilizados piezômetros. São necessários pelo menos três desses aparelhos e os dados que coleta devem ser registrados de forma sistemática.

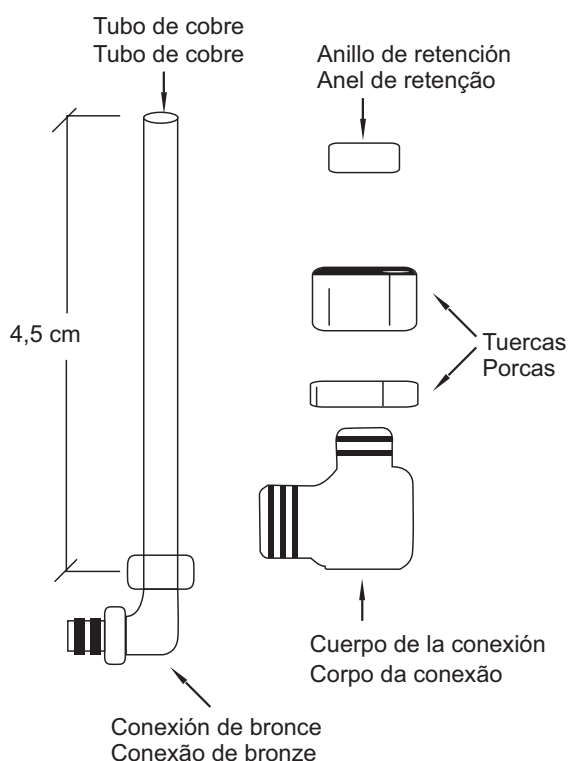


Figura 11.-
Piezômetro

5.4.2 Sensores de umidade

Com o objetivo de monitorar a umidade do solo, devem ser utilizados sensores de umidade (tensiômetros) em diferentes profundidades (30, 60 e 90 cm). Para determinar o movimento da água no tempo e no espaço, esses aparelhos devem ser instalados de acordo com a topografia (bacia florestal: ladeira alta, média e baixa).

O sensor de umidade possui um recipiente poroso de cerâmica conectado a um manômetro.

zona intermedia, donde los niveles de humedad del suelo permanecen constantes y son iguales a la capacidad de campo del suelo.

5.4.1 Piezômetro

A fin de monitorear el nivel freático se deben localizar piezómetros y registrar los valores en forma sistemática. Se requiere que al menos se instalen tres piezómetros.



Figura 11.-
Piezômetro

5.4.2 Tensiômetros

Con el objetivo de monitorear la humedad del suelo se deben localizar tensiómetros a distintas profundidades (30, 60 y 90 cm). Para determinar el movimiento del agua en el tiempo y el espacio los tensiómetros deben ubicarse de acuerdo a la topografía (cuena forestal: ladera alta, media y baja).

El tensiómetro está constituido por un recipiente poroso de cerámica que se inserta en el suelo, se

Essa parte do aparelho é enterrada. O recipiente poroso permanece em equilíbrio com o solo. Quando a umidade do solo diminui e fica abaixo da saturação, a água do recipiente é absorvida pelo solo, exercendo uma pressão negativa que é registrada pelo manômetro.

llena con agua y se conecta a un manómetro. El tensiómetro permanece en equilibrio con el suelo. Cuando la humedad del suelo desciende por debajo de la saturación, el agua del recipiente es absorbida por el suelo desarrollando una presión negativa que es registrada por el manómetro.



Figura 12.-
Sensores de umidade

Figura 12.-
Sensores de umidade

5.4.3 Lisímetros

Para quantificar a drenagem profunda, é preciso utilizar lisímetros dentro da área de estudo. Pelo menos dois desses equipamentos devem ser instalados, minimizando assim os problemas construtivos e operacionais.

O lisímetro é um depósito fechado, com paredes verticais, aberto na extremidade superior e recheado com o solo da unidade de estudo. Sua superfície é submetida aos mesmos agentes atmosféricos e recebe a mesma quantidade de precipitações que a unidade de estudo.

A água de drenagem é medida, assim como a umidade e a temperatura. A água de drenagem é conduzida pela gravidade do fundo do lisímetro para um recipiente localizado debaixo dele.

5.4.3 Lisímetros

A fin de cuantificar el drenaje profundo se requiere instalar lisímetros dentro del área de estudio. A fin de minimizar problemas constructivos y operativos, se requiere instalar al menos dos lisímetros.

Todo lisímetro consiste en un depósito cerrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno del mismo suelo de la unidad de estudio. La superficie del lisímetro queda sometida a los agentes atmosféricos y recibe las precipitaciones naturales al igual que el resto de la unidad de estudio.

El agua de drenaje es medida, al igual que la humedad y la temperatura. El agua de drenaje es conducida por gravedad desde el fondo del lisímetro hacia a un receptáculo ubicado por debajo y al costado de éste.

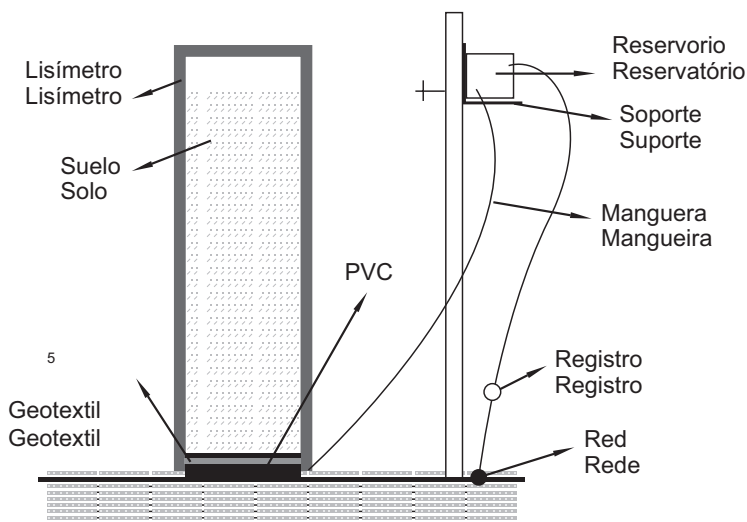


Figura 13.-
Lisímetro

Figura 13.-
Lisímetro

5.5 Lista de equipamentos básicos

Os equipamentos básicos que devem ser utilizados são os seguintes:

- Pluviômetros
O número de aparelhos deve ser definido, em cada caso, em função do tamanho da área de estudo e de acordo com os critérios estabelecidos neste Documento Técnico.
- Pluviógrafo
É necessário que pelo menos um dos aparelhos de medição de precipitações seja um pluviômetro.
- Estrutura de saída para medição da vazão
Cada unidade de estudo deve contar com uma estrutura dessas.
Quando se tratar de uma seção natural do curso, deve-se medir sua vazão com um equipamento adequado e durante o tempo que dure a calibragem da seção natural de saída.
Quando se tratar de uma estrutura artificial, recomenda-se uma medição prévia.
- Limnógrafo
É necessário apenas um aparelho desses por unidade de estudo.

5.5 Listado del equipamiento básico

El equipamiento básico a instalar y operar será entonces el siguiente:

- Pluviómetros
El número de equipos necesarios debe definirse en cada caso en función del tamaño del área de estudio y de acuerdo a los criterios que se establecen en este Documento Técnico.
- Pluviógrafo
Se requiere que al menos uno de los equipos para medición de la precipitación sea un pluviógrafo.
- Estructura de salida aforada
Cada unidad de estudio debe contar con una estructura de este tipo.
En caso de tratarse de una sección natural del curso, sólo será necesario proceder al aforo de la misma a través de la instalación del equipamiento necesario durante el tiempo que dure la calibración de la sección natural de salida.
Si se trata de una estructura artificial se recomienda que la misma sea preaforada.
- Limnógrafo
Se requiere sólo un equipo por cada unidad de estudio.

- Piezômetros
São necessários pelo menos três aparelhos desses por unidade de estudo.
- Sensores de umidade
São necessários pelo menos dois desses aparelhos por unidade de estudo, enterrados a diferentes profundidades e alocados de acordo com a topografia, seguindo o que estabelece este Documento Técnico.
- Lisímetros
São necessários pelo menos dois desses aparelhos por unidade de estudo.

- Piezómetros
Se requiere instalar al menos tres equipos por cada unidad de estudio.
- Tensiómetros
Se requiere instalar al menos dos equipos por cada unidad de estudio cubriendo diferentes profundidades y de acuerdo a la topografía como se establece en este Documento Técnico.
- Lisímetros
Se requiere instalar al menos dos equipos por cada unidad de estudio.

6 PROCESSAMENTO DE DADOS

O levantamento e o registro de dados devem começar, preferencialmente, três anos antes da implementação do projeto florestal e devem continuar enquanto durar o projeto.

Deverão ser elaborados:

- ficha técnica de caracterização para cada unidade de estudo, seja ela básica ou de observação;
- cartografia básica com curvas de nível e localização precisa da unidade;
- registro de evolução da biomassa vegetal;
- registro sistemático dos dados produzidos por cada um dos aparelhos instalados; e
- tabela com informações que facilitem a realização de análises comparativas e balanços.

6 PROCESAMIENTO DE DATOS

El levantamiento y registro de datos debe iniciarse, preferentemente, tres años antes de la implantación del proyecto forestal y debe acompañar la vida útil del mismo.

A tales efectos se deberá elaborar:

- *una ficha técnica de caracterización por cada unidad de estudio, sea básica o testigo;*
- *cartografía básica con curvas de nivel y localización precisa de la unidad;*
- *un registro de evolución de la biomasa vegetal;*
- *un registro de datos sistemáticos por cada uno de los equipos instalados; y*
- *tabla resumen de información que facilite la realización de análisis comparativos y balances.*

FICHA TÉCNICA DE CARACTERIZAÇÃO							
	Data: / /						
Responsável pela elaboração: _____							
IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO							
BÁSICA DE OBSERVAÇÃO	<table border="0"> <tr> <td>Sim</td> <td>Não</td> <td>Nome da unidade: _____</td> </tr> <tr> <td>Sim</td> <td>Não</td> <td>Existe unidade de observação?: Sim Não</td> </tr> </table>	Sim	Não	Nome da unidade: _____	Sim	Não	Existe unidade de observação?: Sim Não
Sim	Não	Nome da unidade: _____					
Sim	Não	Existe unidade de observação?: Sim Não					
Localização							
Área							
Curva Hipsométrica							
Hidrografia							
<ul style="list-style-type: none"> • número de cursos e relação em sua tributação • comprimento total de cursos permanentes e intermitentes • densidade de drenagem ou comprimento de cursos por km² • comprimento e inclinação do leito principal • tempo de concentração da unidade 	<ul style="list-style-type: none"> • _____ • _____ • _____ • _____ • _____ 						

FICHA TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN							
	Fecha: / /						
Responsable por su elaboración: _____							
IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD DE ESTUDIO							
BÁSICA TESTIGO	<table border="0"> <tr> <td>Si</td> <td>No</td> <td>Denominación: _____</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>No</td> <td>Existe unidad testigo?: Si No</td> </tr> </table>	Si	No	Denominación: _____	Si	No	Existe unidad testigo?: Si No
Si	No	Denominación: _____					
Si	No	Existe unidad testigo?: Si No					
Ubicación							
Área							
Curva Hipsométrica							
Hidrografía							
<ul style="list-style-type: none"> • número de cursos y relación en su tributación • longitud total de cursos permanentes e intermitentes • densidad de drenaje o longitud de cursos por km² • longitud y pendiente del cauce principal • tiempo de concentración de la unidad 	<ul style="list-style-type: none"> • _____ • _____ • _____ • _____ • _____ 						

REGISTRO DE EVOLUCIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL			
			Fecha: / /
Responsable por su elaboración: _____			
IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD DE ESTUDIO			
BÁSICA	Si	No	Denominación: _____
TESTIGO	Si	No	Existe unidad testigo?: Si No
Ubicación			
Área			
• tipo de suelo			
• características principales del subsuelo			
• tipo de cobertura			
• superficie que ocupa la cobertura			
• desarrollo forestal			
▪ tipo de ejemplares			
▪ cantidad de ejemplares			
▪ levantamiento de datos de desarrollo			
▪ cuantificación ó estimación de la biomasa vegetal			

O quadro seguinte é um exemplo de tabela que pode ser montada com base em dados mensais.

A modo de ejemplo se presenta una tabla que podría armarse en base a datos promediales mensuales.

ANO	Biomassa	Precipitação	Escoamento	Infiltração	Estimativa de usos consuntivos
Mês 1					
Mês 2					
Mês 3					
Mês 4					
Mês 5					
Mês 6					
Mês 7					
Mês 8					
Mês 9					
Mês 10					
Mês 11					
Mês 12					

AÑO	Biomasa	Precipitación	Escurrentía	Infiltración	Estimación de usos consuntivos
Mês 1					
Mês 2					
Mês 3					
Mês 4					
Mês 5					
Mês 6					
Mês 7					
Mês 8					
Mês 9					
Mês 10					
Mês 11					
Mês 12					

A análise temporal dos dados permite determinar se existem ou não variações no escoamento e na infiltração à medida que o projeto florestal se desenvolve. A análise comparativa com uma unidade testemunha permite visualizar esses desvios em tempo real.

Recomenda-se fortemente que os resultados obtidos sejam correlacionados com a biomassa florestal existente em cada momento. Para isso, sugere-se a realização de ensaios destrutivos de determinação. Caso não seja possível, deve-se realizar uma aproximação com base nas melhores práticas existentes.

Se as determinações propostas não forem implementadas, certamente serão realizados os clássicos balanços hídricos, nos quais as variáveis da equação são estimadas com base em informações sobre as precipitações mensais e a evapotranspiração potencial. Com o objetivo de contribuir para o avanço do conhecimento, recomenda-se comparar os resultados desse método clássico com os resultados obtidos na aplicação deste Documento Técnico.

El análisis temporal de los datos permitirá determinar si existen o no variaciones en la escurrentía e infiltración a medida que el proyecto forestal se desarrolla, y el análisis comparativo con una unidad testigo, si existe, permitirá visualizar esas desviaciones en tiempo real.

Se considera altamente recomendable que los resultados obtenidos se correlacionen con la biomasa forestal existente en cada momento, para lo cual, de ser posible, deberían realizarse ensayos destructivos de determinación, o al menos deberá procederse a su estimación conforme a las mejores prácticas existentes.

Si las determinaciones que se proponen no se llevaran adelante, seguramente se realizarían los clásicos balances hídricos, en los que en base a información de precipitaciones mensuales y evapotranspiración potencial, se estiman las restantes variables de la ecuación. A fin de avanzar en el conocimiento se recomienda, comparar estas clásicas estimaciones con los resultados obtenidos mediante la aplicación del presente Documento Técnico-Guía.

7 BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAFÍA

CAFFERA, Ruben; BIDEGAIN, Mario. **Estudio de la densidad óptima de la red pluviométrica en la principal zona triguera del Uruguay mediante el método de la entropía máxima**. Dirección Nacional de Meteorología. Montevideo, Uruguay.

CASANOVA, O. N.; FERRANDO, M. G. Cuantificación mediante lisímetros del lavado de bases en suelos, bajo dos regímenes hídricos. **Agrociencia**, vol. VII, n. 2, p. 39-48, 2003.

ELABORAÇÃO de mapas de uso do solo a partir de imagens de satélite. **Análise multi-temporal e incorporação ao SI-SAG**. Piloto Itapúa.

ELABORACIÓN de mapas de uso del suelo a partir de imágenes satelitarias. Análisis multitemporal e incorporación al SI-SAG. **Piloto Rivera** – Santa do Livramento.

ELABORACIÓN de mapas de uso del suelo a partir de imágenes satelitarias. Análisis multitemporal e incorporación al SI-SAG. Ing. Ftal. José María Ocroglich. Ing. Agr. Gustavo J. Calvanese. **Consortio Guaraní**, 2008.

IMFIA, Facultad de Ingeniería y Departamento de Suelos y Águas, Facultad de Agronomía. Monitoreo ambiental de plantaciones forestales en el Uruguay. **Informe Final**.

LINSLEY, Ray K. Jr.; KOHLER, Max A.; PAULHUS, Joseph L. H. **Hidrología para Ingenieros**. Segunda edición. McGraw-Hill.

MAPA DE USO del Suelo. Período 1973-1980. **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní**. 2008.

_____. Período 1990. **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní**. 2008.

_____. Período 2007. **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní**. 2008.

MODELACIÓN Numérica Regional del Sistema Acuífero Guaraní. Instituto de Hidrología de Llanuras – UNCPBA. Centro de Estudios Hidroambientales – FICH – UNL. Acuífero Guaraní. **Consortio Guaraní**, año 2008.

ORGANIZACIÓN Meteorológica Mundial. Guía de prácticas hidrológicas, OMM- n. 168. Quinta edición, 1994.

SCHLEGEL, Bastienne, Ganoso Jorge, Guerra, Javier. 2000. **Documento Técnico de procedimientos. Muestreos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial**. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076.

VON STACKELBERG, Nicholas Olaf. **Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the Tacuarembó river basin**, Uruguay, 2005.

