

PROYECTO SISTEMA AMBIENTAL DEL CHACO

Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección
de los Espacios Naturales en la Región Occidental del Paraguay



Tomo IV: INFORMES TECNICOS

Asunción 1998

Cooperación Técnica

Ministerio de Agricultura y
Ganadería MAG; Dirección de
Ordenamiento Ambiental,
DOA, Asunción, República de
Paraguay

Bundesanstalt für Geowissen-
schaften und Rohstoffe,
Hannover, Bundesrepublik
Deutschland



Editorial

Autores Hans Bender, Franz Böker, Mebus Geyh, Ralf
Mitlöhner, Manfred Nitsch, Uwe Schäffer, Rüdiger
Wagner, Fernando Wiens

Diseño Grafico Andreas Stickler

Copyright Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA)
Ruta Mcal. Estigarribia km 10,5
San Lorenzo - Paraguay
E-Mail: DOA@quanta.com.py
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
(BGR)
Postfach 51 01 53
30631 Hannover - Bundesrepublik Deutschland
Fax: +49-511-643 23 04
San Lorenzo 1998

Cooperación Técnica Paraguay - Alemana

PROYECTO SISTEMA AMBIENTAL DEL CHACO

Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección
de los Espacios Naturales en la Región Occidental del Paraguay

Tomo IV: INFORMES TECNICOS

Ministerio de Agricultura y
Ganadería (MAG)

Subsecretaría de Estado de
Recursos Naturales y Medio Ambien-
te (SSERNMA)

Dirección de Ordenamiento
Ambiental (DOA)

Bundesministerium für
wirtschaftliche Zusammenarbeit
und Entwicklung (BMZ)

Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
(BGR)

El trabajo ha sido dividido en diferentes tomos. El Tomo I corresponde al informe general. Los tomos adicionales se refieren a investigaciones específicas y documentaciones:

Tomo I INFORME FINAL

Tomo II INVESTIGACIONES ESPECIALES

| | |
|----------------------|--|
| A. Carlini | Informe paleontológico |
| A. Carlini | Documentación Fauna |
| F. Mereles/ R. Degen | Aspectos Fenológicos de Arboles y Arbustos del Chaco |
| F. Mereles/ R. Degen | Contribución al Estudio de la Flora y la Vegetación del Chaco Boreal Paraguayo |
| F. Mereles/ R. Degen | Los Nombres Vulgares de los Arboles y Arbustos del Chaco Boreal, Paraguay |
| F. Mereles/ R. Degen | Formaciones Vegetales del Chaco Boreal Paraguayo |
| F. Mereles/ R. Degen | Contribución al Conocimiento de los Arboles y Arbustos Indígenas Utilizados como Medicinales en el Chaco Boreal (Paraguay) |
| R. Degen | Dinámica poblacional del Caranda'y, Copernicia alba morong |
| F. Mereles/ R. Degen | Documentación Vegetación |

Tomo III DOCUMENTACION SUELOS

Tomo IV INFORMES TECNICOS

| | |
|--------------|---|
| M. Nitsch | Agua Subterránea Cerca de la Superficie del Suelo y la Salinización en el Este de las Colonias Mennonitas en el Chaco Central Oriental del Paraguay |
| R. Mitlöhner | Caracterización de Sitios en el Chaco Central Paraguayo a través de la Capacidad de Succión Vegetal y la Presión Osmótica Potencial |
| F. Wiens | Evaluación económica del uso de la tierra al Este de Loma Plata, Chaco Central - Paraguay |
| H. Bender | Propuesta para el Mapeo de Unidades de Relevancia Hidroecológica en el Chaco Central |
| M. Geyh | Estudios Geogronológicos y Ensayos Isótopos Aplicados a la Hidrogeología |
| H. Bender | Abastecimiento de Agua Subterránea en la Región Occidental del Paraguay |
| R. Wagner | Determinación del Aforo de los Rios Chaqueños |
| U. Schäffer | Utilización de los Satélites de Observación Meteorológica TIROS - N/NOAA - N para su Aplicación en el Terreno |
| F. Böker | Informe de un Viaje Técnico |
| U. Schäffer | Satélites de Observación Metereológica NOAA-N para su Aplicación en la Agricultura con el Sistema de Procesamiento de Imágenes Satelitarias ERDAS |

INDICE

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| Manfred Nitsch | Agua Subterránea Cerca de la Superficie del Suelo y la Salinización en el Este de las Colonias Mennonitas en el Chaco Central Oriental del Paraguay | 7 |
| Ralf Mitlöhner | Caracterización de Sitios en el Chaco Central Paraguayo a través de la Capacidad de Succión Vegetal y la Presión Osmótica Potencial | 71 |
| Fernando Wiens | Evaluación económica del uso de la tierra al Este de Loma Plata, Chaco Central - Paraguay | 103 |
| Hans Bender | Propuesta para el Mapeo de Unidades de Relevancia Hidroeconómica en el Chaco Central | 139 |
| Mebus Geyh | Estudios Geogronológicos y Ensayos Isótopos Aplicados a la Hidrogeología | 153 |
| Hans Bender | Abastecimiento de Agua Subterránea en la Región Occidental del Paraguay | 169 |
| Rüdiger Wagner | Determinación del Aforo de los Rios Chaqueños | 183 |
| Uwe Schäffer | Utilización de los Satélites de Observación Meteorológica TIROS - N/NOAA - N para su Aplicación en el Terreno | 201 |
| Franz Böker | Informe de un Viaje Técnico | 213 |
| Uwe Schäffer | Satélites de Observación Metereológica NOAA-N para su Aplicación en la Agricultura con el Sistema de Procesamiento de Imágenes Satelitarias ERDAS | 235 |

**Agua Subterránea Cerca de la Superficie
del Suelo y la Salinización en el Este de las
Colonias Mennonitas en el Chaco Central
Oriental del Paraguay**

por
M. Nitsch

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Resumen | 10 |
| 2 | Introducción | 11 |
| 3 | Las Localidades de Investigación y los Parámetros Medidos | 12 |
| 3.1 | Estancia Iparoma, Heinrich Epp, Campo | 12 |
| 3.2 | Lindendorf | 13 |
| 3.2.1 | Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo) | 13 |
| 3.2.2 | Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa) | 13 |
| 3.3 | Estancia Santa Sofía | 14 |
| 3.3.1 | Estancia Santa Sofía, Monte (SaSoMo) | 14 |
| 3.3.2 | Estancia Santa Sofía, Pastura (SaSoPa) | 15 |
| 3.4 | Estancia Laguna Porá | 17 |
| 3.4.1 | Estancia Laguna Porá, Monte (LPMo) | 17 |
| 3.4.2 | Estancia Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1) | 18 |
| 3.4.3 | Estancia Laguna Porá, Pastura 2 (LPPa2) | 19 |
| 3.5 | Campo Loa | 19 |
| 4 | Evaluación de Parámetros en las Unidades de Investigación | 20 |
| 4.1 | Precipitaciones, nivel del agua subterránea y conductividad eléctrica del agua subterránea | 20 |
| 4.2 | Precipitaciones, nivel del agua subterránea y conductividad eléctrica del suelo | 20 |
| 4.3 | Comparación entre localidades de Monte y de Pastura | 21 |
| 4.4 | Cálculo de una "distancia crítica del nivel del agua subterránea a la superficie" y determinación de una curva de tensión de agua | 21 |
| 4.5 | Aptitud de riego de los suelos de monte | 24 |
| 4.6 | La relación ente parámetros de vegetación y de suelo | 25 |
| 4.6.1 | Mediciones de la capacidad de succión de las plantas | 26 |
| 4.6.2 | Determinación de la presión osmótica potencial | 26 |
| 5 | Resumen | 29 |
| 6 | Conclusiones | 29 |
| 7 | Futuras Necesidades de Investigación | 29 |

| | |
|---------------------|---|
| Comitente | Ministerio Federal de Cooperación Económica (BMZ) |
| Autor del Informe | Dipl. Ing. M. Nitsch |
| Número del Proyecto | 90.2056.1 |
| Número del Archivo | 113996 |
| Número del Diario | 11 829/95 |

ANEXOS

30

- 1.1 Estancia **Iparoma, Campo, Heinrich Epp (IpaCa)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea
- 1.2 Estancia **Iparoma, Campo, Heinrich Epp (IpaCa)**; Valores de análisis de suelo
- 2.1 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 2.2 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Monte"
- 2.3 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo)**; Valores característicos físicos de suelo
- 2.4 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo)**; Valores característicos químicos de suelo
- 3.1 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 3.2 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Pastura"
- 3.3 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa)**; Valores característicos físicos de suelo
- 3.4 **Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa)**; Valores característicos químicos de suelo
- 4.1 Estancia **Santa Sofía, Monte (SaSoMo)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 4.2 Estancia **Santa Sofía, Monte (SaSoMo)**; Conductividad eléctrica de suelo [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] según mediciones de sensor
- 4.3 Estancia **Santa Sofía, Monte (SaSoMo)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Monte"
- 4.4 Estancia **Santa Sofía, Monte (SaSoMo)**; Valores características físicos de suelo
- 4.5 Estancia **Santa Sofía, Monte (SaSoMo)**; Valores características químicos de suelo
- 5.1 Estancia **Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 5.2 Estancia **Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)**; Conductividad eléctrica de suelo [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] según mediciones de sensor
- 5.3 Estancia **Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Pastura"
- 5.4 Estancia **Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)**; Valores característicos físicos de suelo
- 5.5 Estancia **Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)**; Valores características químicos de suelo
- 6.1 Estancia **Laguna Porá, Monte (LPMo)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 6.2 Estancia **Laguna Porá, Monte (LPMo)**; Conductividad eléctrica de suelo [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] según mediciones de sensor
- 6.3 Estancia **Laguna Porá, Monte (LPMo)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Monte"
- 6.4 Estancia **Laguna Porá, Monte (LPMo)**; Valores característicos físicos de suelo
- 6.5 Estancia **Laguna Porá, Monte (LPMo)**; Valores características químicos de suelo
- 7.1 Estancia **Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 7.2 Estancia **Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)**; Conductividad eléctrica de suelo [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] según mediciones de sensor
- 7.3 Estancia **Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)**; Descripción de perfiles de suelo de la unidad "Pastura"
- 7.4 Estancia **Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)**; Valores característicos físicos de suelo
- 7.5 Estancia **Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)**; Valores característicos químicos de suelo
- 8.1 Estancia **Laguna Porá, Pastura 2 (LPPa2)**; Profundidad del nivel de agua subterránea [m] conductividad eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] y valores de pH del agua subterránea como precipitación [mm]
- 9.1 Campo Loa; Valores característicos de suelo "dulce"
- 9.2 Campo Loa; Valores característicos de suelo "salada"

1 RESUMEN

En el Chaco Central Paraguayo, en el área Loma Plata - Cruce de los Pioneros - Estancia Santa Sofía - Estancia Laguna Porá, al este de las colonias menonitas (Fig. 1), se desmonta el matorral espinoso para obtener superficies para pastoreo y cultivos agrícolas. En esta región se encuentra agua subterránea muy salina a 1 - 3 m de la superficie. Posterior al desmonte ocurre un fuerte enriquecimiento de sales en el horizonte superior como consecuencia de un rápido ascenso del agua subterránea.

Sin embargo, no se conocían las causas de la salinización del suelo en superficies de pastoreo y cultivo en la cercanía de lagunas. Con la expansión de la agricultura y ganadería hacia suelos más densos, los así llamados «suelos de monte», que se encuentran en las colonias Fernheim y Menno, el problema de la salinización va adquiriendo cada vez más importancia, porque puede llevar a pérdidas económicas y hasta la pérdida total de superficies explotables. Los «suelos de monte» en esta área son suelos salinos, limoso-arcillosos (similar al loess) con un fino horizonte superior «poco salino» y buena reserva de nutrientes a disposición de las plantas.

Los daños causados por la salinización son cada vez mayores, debido a los rigurosos procesos de desmonte. El primer factor, de mayor importancia que conlleva al proceso de salinización, es la propagación de material salino causada por el desmonte y/o el enriquecimiento por la quema de la biomasa. El segundo factor, es la eliminación de la capa de vegetación adaptada a las condiciones naturales. Con ello, se destruye el sistema de enraizamiento fino que regula el equilibrio hídrico en los suelos, en consecuencia ocurre un ascenso brusco del nivel de las aguas subterráneas. Debido a las plantas cultivadas, que sólo tienen una baja evapotranspiración y no pueden lograr este equilibrio, surge una mayor infiltración de agua a través de las grietas de desecación de suelos que se forman durante la sequía. La consecuencia es un rápido ascenso del nivel del agua subterránea. Con un nivel de agua subterránea cerca de la superficie (en la Estancia Laguna Porá alrededor de 1 m y en la Estancia Santa Sofía alrededor de 2 m), el agua de lluvia que penetra a través de grietas y/o poros grandes, de acuerdo al principio de los canales intercomunicados, empuja desde abajo la capa freática muy salina hacia arriba hasta el área de enraizamiento de los cultivos. Cuando el nivel del agua subterránea es más bajo (Santa Sofía aprox. 2 m y Lindendorf aprox. 3 m), el borde capilar asciende correspondientemente, de manera que

los niveles superiores llegan con todas las sales disueltas hasta el área de raíces de las plantas o hasta la superficie (Fig. 2). Las consecuencias son daños leves hasta la pérdida total de los cultivos agrícolas.

Se ha proseguido la medición de las fluctuaciones de las aguas subterráneas y los cambios de contenidos de sal de las aguas subterráneas, como en el año 1994 en las tres localidades (Anexos 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1 y 7.1). Adicionalmente se midieron en las localidades Estancia Santa Sofía y Estancia Laguna Porá, en las unidades de estudio monte y pastura, las modificaciones de los contenidos de sal en el perfil del suelo mediante sensores de salinidad (Anexos 4.2, 5.2, 6.2 y 7.2). Después de precipitaciones más intensas ascendió el nivel de las aguas subterráneas y disminuyeron los contenidos de sal hacia la superficie del suelo (Tabla 1). Recién cuando el horizonte superior estaba lo suficientemente saturado y se habían cerrado las grietas y poros gruesos por la expansión del suelo, se inició una infiltración lenta. Lluvias suaves favorecen este efecto.

Los datos de la humedad del suelo (datos de campo) del año 1994 y las mediciones en laboratorio realizadas en 1995, permiten el cálculo de una «distancia crítica del agua subterránea a la superficie del suelo», la cual fue determinada entre 1,60 m y 1,90 m para los suelos de monte pesados. Este valor debería utilizarse en el futuro para la delimitación de localidades que deberían permanecer en su estado natural y otras que podrían ser desmontadas.

La relación entre los parámetros vegetales como la presión osmótica potencial y la capacidad de succión, por un lado, la elevación de las aguas subterráneas salinas/dulces por otro, no pudieron comprobarse para la localidad de Campo Loa (suelo arenoso) con aguas subterráneas alrededor de 22m de profundidad. Las excavaciones de raíces para determinar la profundidad de enraizamiento se han suspendido a una profundidad de 2,50 m. Se encontraron diferentes tipos de suelo (todos arenosos) que también registran diferentes capacidades de retención de agua. En otras localidades, la relación entre los parámetros arriba citados es muy marcada, presiones osmóticas potenciales altas y capacidades de succión entran en correlación con la salinidad del agua subterránea.

Los procesos de salinización del terreno por ascenso capilar del agua subterránea en el suelo aún no están bien conocidos. Futuras investigaciones han sido planificadas.

2 INTRODUCCION

Mediante orden de trabajo emitida por el Presidente del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BZ 1.1-40 - Diario N° 3904/94, el autor del presente informe fue enviado a Asunción/Paraguay al Proyecto Sistema Ambiental del Chaco del 18.01.1995 al 30.05.1995 (más días de viaje). En prosecución de los trabajos iniciados en el año anterior dentro del marco de la Cooperación Técnica con el Paraguay, en una segunda fase de estudio y a efectos del objetivo del Proyecto «Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección del Potencial Natural de la Región Occidental» se plantearon los siguientes términos de referencia:

- Estimación del peligro de salinización de suelos causado por la modificación del uso -también en vista de los proyectos de irrigación- en el Chaco Central Oriental,

- Descripción de factores que influyen bajo condiciones naturales dadas en los procesos de salinización,

- Inventario y evaluación de factores de salinización en superficies piloto,

El Dr. Mitlöhner, de la Universidad de Göttingen, cooperó con la investigación relacionada al equilibrio de salinidad de la planta - suelo - agua. Las actuales investigaciones se concentrarán en las localidades anteriormente citadas y otras a ser determinadas aún.

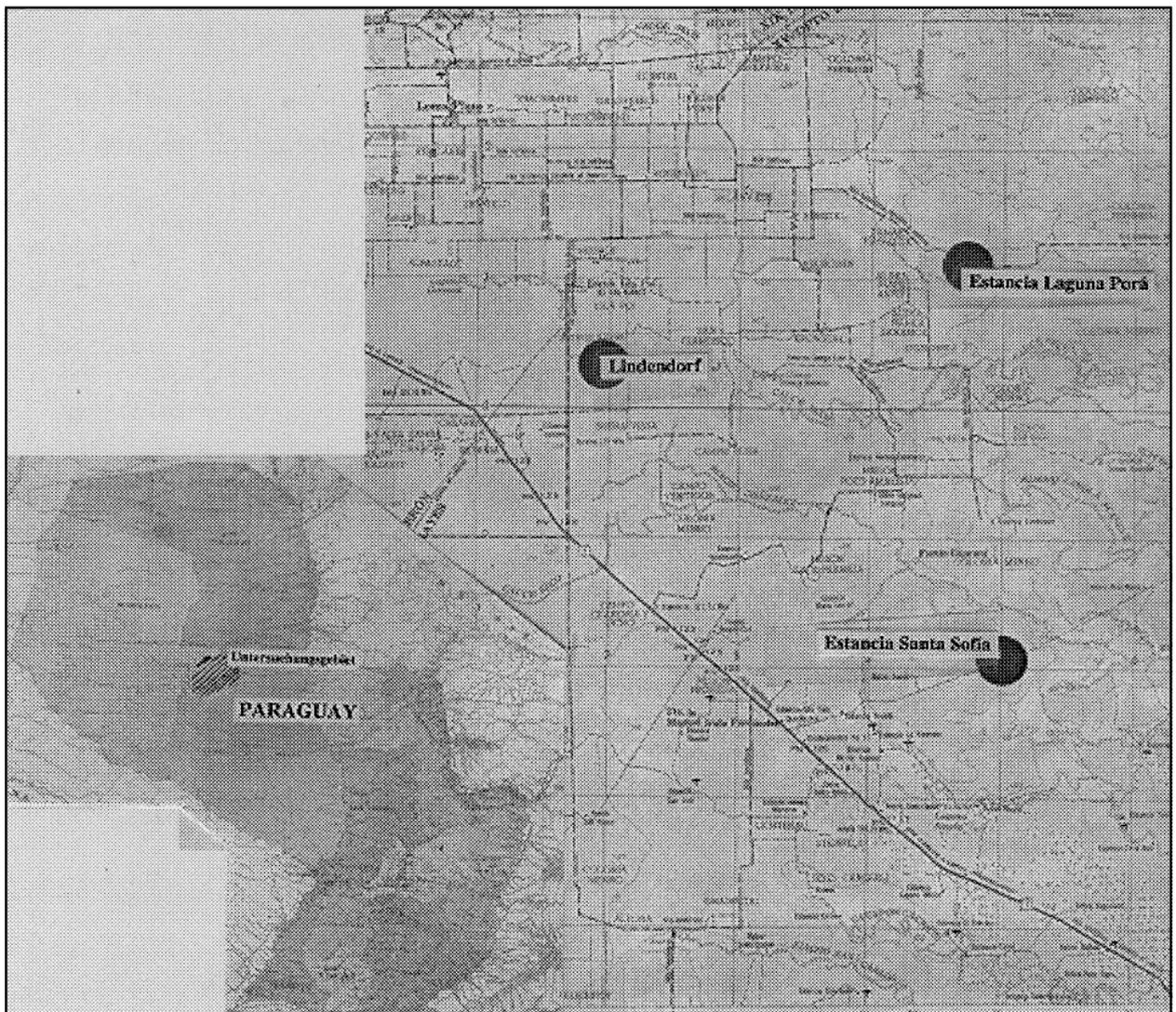


Fig. 1: Area y localidades de estudio en el Chaco Central al Este de las colonias mennonitas.

3 LAS LOCALIDADES DE INVESTIGACIÓN Y LOS PARÁMETROS MEDIDOS

Las condiciones naturales (clima, suelos y vegetación) en el área de investigación fueron descritos en el informe «Caracterización de Localidades en el Chaco Central Paraguayo a través de la Capacidad de Absorción Vegetal y la Presión Osmótica Potencial», Archivo BGR N° 11 2528 año 1994, de manera que en el presente informe se citan las localidades de investigación sólo para una mejor orientación.

El Proyecto fomentado por la GTZ, «Estación Experimental Chaco Central» (EECC) en el Cruce de los Pioneros, ha proseguido con las mediciones de la conductividad y los niveles de las aguas subterráneas en todas las localidades (a excepción de la Estancia Iparoma, Heinrich Epp), de manera que se ha podido establecer una relación entre los periodos de medición de 1994 y 1995.

Parámetros medidos:

1. En todas las localidades se han medido la conductividad eléctrica del agua subterránea cerca de la superficie y a una profundidad de 50 cm. La medición de la concentración de sales, así como variaciones en la misma, se realiza mediante la conductividad eléctrica $CE = \text{mS/cm}$ a 25°C . (En la hidrología la conductividad del agua generalmente se mide en mS/cm a 25°C . Utilizamos este sistema en el presente trabajo).
2. En las localidades Estancia Santa Sofía y Estancia Laguna Porá se ha medido, en las unidades monte¹ y pastura², la conductividad del suelo mediante sensores de salinidad a diferentes profundidades. Los sensores consisten de un cuerpo cerámico cuyos poros se han elegido de tal forma que sigue saturado a través de toda la escala de succión hídrico de 0 a 15 bar (punto de marchitez permanente/p.m.p.), posibilitando de esta manera la medición de conductividad de forma constante. El elemento electrolítico es una placa redonda de alrededor de $0,32 \text{ cm}^2$, a la cual se han incorporado electrodos finos de platino a una distancia de 1 mm. Entre los electrodos se mide la resistencia de la solución. (La concentración salina de suelos es indicada mediante la conductividad eléctrica, $CE = \text{mS/cm}$ ($1 \text{ mS/cm} = 1.000 \text{ mS/cm}$) a una temperatura de 25°C , siendo medida en una muestra de suelo saturado).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de los valores encontrados, pudiéndose ver la relación entre contenido de sal y la planta. Permite, además una estimación del riesgo potencial y se refiere a suelos de textura fina y mediana.

3. En muestras de suelo no alteradas (cilindros de puntas de 100 cm^3) se han determinado parámetros físicos del suelo, como ser saturación de agua, bajo diferentes grados de presión, y densidad bruta [rt en g/cm^3]. Estos valores sirvieron de base para calcular el volumen de los poros [vol.%], para elaborar una curva de tensión del agua del suelo y además para fundamentar el valor de tabla de una «distancia crítica de las aguas subterráneas a la superficie».
4. En las diferentes localidades se han medido los valores de precipitación. Se utilizaron para Lindendorf los valores de la estación de medición de la GTZ en Lindendorf, para la Estancia Santa Sofía y Estancia Laguna Porá los valores de la estación de medición existentes en las mismas.
5. En la localidad Campo Loa se han excavado las raíces de un *Astronium urundeuva* para investigar la profundidad de enraizamiento y determinar una posible relación entre raíces y agua subterránea a través de los resultados obtenidos respecto a textura, conductividad del suelo y pH mediante dos perforaciones hasta una profundidad de alrededor de 30 m.

3.1 Estancia Iparoma, Heinrich Epp, Campo

La localidad Estancia Iparoma (**IpaCa**) fue elegida para las investigaciones debido a su ubicación y sus cualidades de suelo que lo clasifica entre los suelos tipo monte. Dado que después de realizar la primera perforación de estudio, la capa freática se encontraba a demasiada profundidad para nuestras investigaciones, en 1994 se midieron sólo la profundidad de la capa freática y la conductividad eléctrica en el agua subterránea. Estas mediciones fueron proseguidas durante la misión en 1995. Al inicio de las investigaciones, el 04.05.1994, la capa freática se encontraba a 11,78 m y se registró una conductividad eléctrica de 7.000 mS/cm . Hasta finalizar las investigaciones, el 11.06.1994, la capa freática no varió, sin embargo la conductividad eléctrica disminuyó a 5.900 mS/cm . Al reiniciar las mediciones el 27.01.1995, la conductividad eléctrica era de 3.760 mS/cm con un valor de pH constante alrededor de 6,9. Estos valores oscilaron sólo ligeramente hasta finalizar los estudios el 24.05.1994. Ello permite suponer que existe cierto equilibrio (Anexos 1.1).

La elevada conductividad medida al inicio se habría producido por la perforación helicoidal, durante el cual

| Influencia de la sal generalmente con poca relevancia | Rendimiento de plantas muy sensibles podría afectarse | Rendimiento de muchas plantas disminuidas | Sólo plantas tolerantes producen rendimientos satisfactorios | Sólo muy pocas plantas tolerantes producen rendimientos satisfactorios |
|---|---|---|--|--|
| 0 | 2 | 4 | 8 | 16 (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C) |
| | 0,128 | 0,256 | 0,512 | 1,024 (contenido de sal en %) |

Tabla 1: Conductividad eléctrica en el extracto de saturación (mS/cm a 25°C) y convertido en contenido total de sal (%) para a una evaluación del uso vegetal (mod. según Richards L. A.- 1954).

posiblemente se introdujo material de suelo con mayor concentración de sal. En el horizonte superior, similar al suelo de monte (Anexos 1.2), de 0 a 5 m de grosor, se midieron valores de conductividad entre 5 mS/cm y 12 mS/cm ; en la capa arenosa, entre 9 y 12 m, los valores fueron 1 a 2 mS/cm (Anexos 1.2). Recién en la proximidad de la capa freática se registra nuevamente una mayor conductividad. Los valores de pH del material del suelo aumentan gradualmente de 7,4 a 8,2 - 8,3 de arriba hacia abajo.

3.2 Lindendorf

La localidad de Lindendorf se encuentra aproximadamente a 14 km al norte de la Ruta Transchaco en el Cruce de los Pioneros - Loma Plata hacia el asentamiento Lindendorf (Fig. 1).

En esta localidad se describieron, en 1994, tres unidades de investigación, de las cuales, sin embargo, en la fase actual sólo se continúan investigando las unidades monte (**LiKraMo**) y pastura (**LiKraPa**). (Para mayor información me remito aquí al informe citado más arriba, Archivo BGR N° 11 25 28, año 1994).

3.2.1 Lindendorf, Wilhelm Krahn, Monte (LiKraMo)

Durante las fases de investigación 1994 y 1995 se han medido, en fecha 17.02.1995, el nivel del agua subterránea más alto con 2,17 m y en fecha 06.01.1995, el nivel del agua subterránea más bajo, con 3,37 m. Siendo el intervalo de oscilación de 1,20 m. En la primera fase de investigación los valores de conductividad subieron de 55.000 mS/cm a 80.000 mS/cm entre el 12.05.1994 y el 04.07.1994 con un descenso del nivel del agua subterránea, para luego bajar a 60.000 mS/cm con la precipitaciones registradas hasta el 14.07.1994 con agua subterránea en ascenso. De las precipitaciones mayores de 6,5 mm el 24.06., 16,9 mm el 04.07 y 7,6 mm el 09.08, sólo los 16,9 mm del 04.07 filtraron después de 7 días hasta la capa freática a 3 m de profundidad, ascendiendo a 5 cm. Es decisivo para este efecto la intensidad con la cual ocurren las precipitaciones. Lluvias breves y fuertes alcanzan el nivel del agua subterránea más rápidamente y en mayor

volumen a través del sistema de grietas del suelo que lluvias suaves más prolongadas (Anexos 2.1).

Las mediciones realizadas en la segunda fase de investigación confirman los datos obtenidos más arriba. Bajo cobertura de monte se registra un ascenso tardío del agua subterránea, aún después de lluvias muy fuertes y prolongadas. Entonces, también aquí, se registra en la superficie del agua subterránea un leve efecto de dilución, mientras que a una profundidad de aproximadamente 50 cm la conductividad se mantiene. En el período del 06.03.1995 al 10.05.1995 los valores de pH eran constantes con 7,2, a excepción de la medida en fecha 06.05.1995 cuando, probablemente a consecuencia de las fuertes precipitaciones previas, el valor de pH disminuyó a 6,4 (Anexo 2.1).

Descripción del perfil de suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 2.2), y a los valores de los análisis físicos (Anexo 2.3) y químicos (Anexo 2.4), este suelo fue identificado como «Solonetz gypico» (SNy - Sistema FAO).

3.2.2 Lindendorf, Wilhelm Krahn, Pastura (LiKraPa)

El nivel del agua subterránea más alto durante las dos fases de investigación fue medido el 18.05.1995 con 2,62 m, el más bajo con 3,40 m en fecha 06.01.1995. De manera que en esta área resulta una oscilación máxima de 0,78 m. Las conductividades eléctricas son menores comparándolas con la localidad de suelo de monte. Las lluvias registradas desde el 06.01.1995 hasta el 28.01.1995 tuvieron un efecto notable, causando con 135 mm, un rápido ascenso de las aguas subterráneas de 32,5 cm, medido el 17.02.1995, y una disminución de la conductividad eléctrica de 31.000 mS/cm (el 06.01.1995) a 6.200 mS/cm en la superficie del agua subterránea (Anexo 3.1).

Descripción del perfil del suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 3.2), y a los valores de los análisis físicos (Anexo 3.3) y químicos (Anexo 3.4), este suelo fue identificado como «Luvisol haplico» (LVh - Sistema FAO).

3.3 Estancia Santa Sofía

La localidad Estancia Santa Sofía se encuentra situada a 25 km al noreste de la Ruta Transchaco, próximo a la Estancia del mismo nombre (Fig. 1). Para informaciones más detalladas, también aquí, me remito al informe arriba citado, Archivo BGR N° 11 25 28, año 1994.

En esta localidad se establecieron dos unidades de investigación, una en el área de monte y otra en el área de pastura. Estas unidades, **SaSoMo** y **SaSoPa**, fueron provistas de un amplio equipamiento técnico de medición durante la fase de investigación de 1994. De acuerdo a las informaciones obtenidas previamente, esta localidad con profundidades de aguas subterráneas de aproximadamente dos metros, parecía más riesgosa debido al ascenso capilar que se esperaba y, al consecuente transporte de sales. Las mediciones de conductividad y profundidad del nivel del agua subterránea fueron proseguidas por la Estación Experimental Chaco Central (EECC). En enero de 1995 se realizó una segunda fase de investigación.

3.3.1 Estancia Santa Sofía, Monte (SaSoMo)

En la unidad de investigación monte, con un nivel freático de 2,62 m, en la fecha se ha medido 16.02.1995, en el nivel superior de las aguas subterráneas una conductividad eléctrica de 55.800 mS/cm y, 50 cm

más abajo, una conductividad de 56.900 mS/cm. En fechas 19. y 22.02.1995 se produjeron precipitaciones de 33 mm respectivamente. Hasta el 23.03.1995 las aguas subterráneas alcanzaron su nivel más alto con 2,04 m. La conductividad eléctrica había disminuido insignificadamente en la superficie a 50.400 μ S/cm y, 50 cm. más abajo aún menos, a 54.500 mS/cm. En el siguiente período más seco, hasta el 10.04.1995, el nivel de las aguas subterráneas bajó nuevamente a 2,29 m, sin embargo, los valores de conductividad permanecieron prácticamente sin variación. Fuertes precipitaciones del 17.04 al 17.05.1995 de un total de 297 mm causaron un ascenso del nivel de las aguas subterráneas a 1,25 m hasta el 22.05.1995, sin embargo los valores de conductividad disminuyeron a 36.000 mS/cm en la superficie y a 52.500 mS/cm a 50 cm de profundidad. Aquí, al contrario de la superficie de pastura, el suelo no se había inundado (Tabla 2 y Anexo 4.1).

Los valores de pH de las aguas subterráneas se midieron del 09.02.1995 al 18.05.1995; registrándose valores de pH entre 7,5 y 7,7, disminuyendo sin embargo después de fuertes precipitaciones a 7,1 (14.02.1995) y 7,2 respectivamente (18.05.1995) (Anexo 4.1).

La evaporación fue medida del 19.05.1994 al 16.08.1994 mediante el sistema «Class-A-Pans» reconstruidos. Para la unidad de investigación monte se ha calculado una tasa de evaporación promedia actual de 1,9 mm/d (Anexo 4.1).

| Fecha Hora | 16.02.95 16:00 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 13:20 | 06.03.95 9:10 | 08.03.95 | 15.03.95 11:00 | 20.03.95 | 21.03.95 |
|---|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|----------|----------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | 2,62 | | | 2,18 | 2,11 | | 2,10 | | |
| Conductividad eléctrica* (μ S/cm a 25°C) | 55.800 56.900 | | | 20.300 54.700 | 52.500 55.000 | | 28.000 53.300 | | |
| Precipitaciones (mm) | | 33 | 33 | | | 6 | | 20 | 20 |

| Fecha Hora | 23.03.95 9:45 | 28.03.95 13:55 | 07.04.95 8:30 | 10.04.95 8:50 | 17.04.95 | 18.04.95 | 19.04.95 | 20.04.95 | 27.04.95 |
|---|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------|----------|------------------|----------|------------------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | 2,04 | 2,12 | 2,26 | 2,29 | | | | 2,16 | 50.400 54.500 |
| Conductividad eléctrica* (μ S/cm a 25°C) | 52.700 | 51.000 53.000 | 50.500 53.300 | | | | 50.000 51.900 | | |
| Precipitaciones (mm) | | | | | 80 | 10 | 70 | | 12 |

| Fecha Hora | 02.05.95 | 05.05.95 15:30 | 09.05.95 9:08 | 15.05.95 | 16.05.95 | 17.05.95 | 18.05.95 9:20 | 22.05.95 9:15 | 25.05.95 11:20 |
|---|----------|-------------------|------------------|----------|----------|----------|------------------|------------------|-------------------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | | 1,70 | 1,45 | | | | 1,36 | 1,25 | 1,36 |
| Conductividad eléctrica* (μ S/cm a 25°C) | | 49.800 51.800 | 51.900 51.300 | | | | 46.600 50.000 | 36.000 51.500 | 43.400 51.600 |
| Precipitaciones (mm) | 31 | 34 | | 12 | 7 | 30 | 11 | | |

* El valor superior corresponde a la superficie del agua subterránea y el inferior es a 50 cm por debajo de la misma!

Tabla 2: Influencia de las precipitaciones en la profundidad del agua subterránea y la modificación de la conductividad eléctrica cerca de la superficie, durante el período del 14.02.1995 al 25.05.1995, en la localidad de SaSoMo

| Fecha Hora | 08.02.95 | 10.02.95 11:00 | 14.02.95 14:45 | 16.02.95 13:40 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 14:30 |
|--|----------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|
| Profundidad (cm) | | | | | | | |
| 10 | | 2,2 | 1,5 | 1,2 | | | 1,5 |
| 20 | | 2,1 | 1,5 | 1,5 | | | 1,5 |
| 40 | | 4,0 | 7,6 | 7,8 | | | 11,5 |
| 60 | | 6,3 | 22,0 | 20,5 | | | 24,5 |
| 80 | | 9,0 | 24,0 | 24,0 | | | 40,0 |
| 100 | | 12,7 | 34,0 | 35,0 | | | 38,5 |
| 120 | | 21,0 | 45,5 | 45,5 | | | 28,0 |
| 140 | | 10,5 | 32,0 | 40,0 | | | 38,0 |
| 160 | | 13,5 | 38,0 | 40,0 | | | 45,5 |
| 180 | | 18,0 | 40,0 | 48,0 | | | 45,5 |
| 200 | | 28,0 | 45,5 | 50,0 | | | 40,0 |
| 220 | | 29,0 | 28,0 | 28,0 | | | 34,0 |
| Superficie del agua subterránea (m debajo del suelo) | | 2,605 | 2,62 | 2,62 | | | 2,18 |
| Precipitaciones (mm) | 55 | | | | 33 | 33 | |

Tabla 3: Precipitaciones y valores de conductividad del suelo así como profundidad de la superficie del agua subterránea para la localidad SaSoMo durante el período elegido del 08.02.1995 al 27.02.1995

Las mediciones de la conductividad del suelo se realizaron mediante sensores de salinidad, los cuales fueron instalados en el suelo el 10.02.1995, a profundidades de 10, 20, 40, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 y 220 cm. Los resultados ya conocidos gracias a las investigaciones con respecto a las precipitaciones, conductividad eléctrica y niveles de las aguas subterráneas fueron confirmados a través de los valores resultantes de las mediciones del suelo. El 16.02.1995 se registró el nivel superior del agua subterránea a 2,62 m. Precipitaciones de 33 mm, el 19 y 22.02.1995, causaron un ascenso a 2,18 m hasta el 27.02.1995.

Durante el transcurso del tiempo, los sensores instalados a diferentes profundidades reflejaron la modificación de las concentraciones de sal en el suelo. Después de una serie de fuertes precipitaciones entre el 12.01.1995 y el 08.02.1995, el 16.02.1995 fueron realizadas las primeras mediciones válidas. Los resultados indican un horizonte superior «libre de sales» hasta 20 cm de profundidad con valores de conductividad de 1,5 mS/cm. Más abajo, los valores ascienden de 7,6 mS/cm a alrededor de 46 mS/cm con una profundidad de 200 cm. Aproximadamente un mes más tarde, el 15.03.1995, después de un período prolongado y seco, los valores de la conductividad eléctrica en el horizonte superior, hasta 20 cm debajo de la superficie, habían aumentado marcadamente a 15,8 mS/cm debido al ascenso capilar del agua a 2,10 - 2,20 m de profundidad. Algunas precipitaciones aisladas que interrumpen la fase seca, no tuvieron efecto en profundidad (Anexo 4.2). La tabla 3 confirma este proceso en forma ejemplar mediante los valores de medición para esta unidad de investigación durante el período del 08.02.1995 al 27.02.1995.

Los valores medidos a 120 cm de profundidad (durante el transcurso de todas las mediciones) representan una excepción, dado que este sensor se encuentra inmediatamente por debajo de un cambio textural, se debe esperar un movimiento de agua más rápido en la superficie del estrato.

Descripción del perfil del suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 4.3), y a los valores de los análisis físicos (Anexo 4.4) y químicos (Anexo 4.5), este suelo fue identificado como «Solonetz gypico» (SNy - Sistema FAO).

3.3.2 Estancia Santa Sofía, Pastura (SaSoPa)

La profundidad del nivel superior del agua subterránea y su conductividad eléctrica, igual que en la localidad vecina de suelo monte, también fueron medidos en forma continua del 12.05.1994 al 25.05.1995. Algunas precipitaciones escasas no ocasionaron variaciones de la profundidad de la superficie del agua. Debido al proceso de medición (sumersión no siempre exactamente a la misma profundidad y en parte recolección y medición), las conductividades oscilaron, entre 46.000 y 55.000 mS/cm con lo que se encuentran levemente (alrededor de 5.000 mS/cm) debajo de los valores de las unidades de suelo de monte. Períodos con abundantes precipitaciones intercalados por fases secas sólo causaron una variación insignificante de la conductividad en la superficie del agua subterránea y también los valores medidos 50 cm más abajo disminuyeron sólo en menor medida (pero en forma relativamente constante y marcada) de 43.000 mS/cm a 39.000 mS/cm. Mayores precipitaciones

intercaladas por períodos secos hasta el final de la investigación causaron una fluctuación de la conductividad en la superficie de la capa freática dando valores entre 24.000 mS/cm y 29.000mS/cm, mientras que los valores medidos 50 cm más abajo no variaron (Anexo 5.1).

En la unidad de investigación pastura se ha medido el 16.02.1995 -con un nivel del agua subterránea a 2,64 m- una conductividad eléctrica de 33.100 mS/cm. El 19.02. y 22.02.1995 se registró 33 mm de lluvia. El 27.02.1995, cuando el nivel del agua subterránea fue medido a 1,79 m, la conductividad había disminuido a 2 800 mS/cm. En el consiguiente período más seco el nivel bajó nuevamente a 2,29 m y la conductividad subió a 8.300 mS/cm hasta el 10.04.1995. Un período de intensas lluvias del 17 al 19.04.1995 con 80, 10 y 70 mm, no causó ninguna variación en el nivel del agua hasta el 20.04.1995. Toda la superficie estaba inundada. De ello se deduce que después de las lluvias previas, se habían cerrado las grietas y poros grandes con lo que no era posible una rápida infiltración hasta el nivel superior de las aguas subterráneas. El agua de lluvia/inundación dio valores de 98,8 mS/cm. Otras precipitaciones causan ascenso del nivel del agua subterránea a 1,40 m hasta finalizar las mediciones, el 25.05.1995; la conductividad en la superficie de las aguas subterráneas fue de 23.200 mS/cm y, a una profundidad de 50 cm 29.700 mS/cm (tabla 4 y Anexo 5.1).

El 22.05.1995 fue medido el nivel más alto del agua subterránea a 1,33 m y, el nivel más bajo, medido el 06.01.1995, con 2,62 m. Ello arroja una oscilación del agua de 1,29 m (Anexo 5.1). Las mediciones se iniciaron el 12.03.1995 y finalizaron el 25.05.1995.

Los valores de pH del agua subterráneas medidos en la segunda fase de investigación oscilaron entre 7,2 y 8,0 (Anexo 5.1).

La evaporación fue medida con interrupciones desde el 19.05.1994 hasta el 16.08.1994. Se ha calculado para esta unidad una tasa promedio de evaporación actual de 2,7 a 4,3 mm/d, siendo estos valores normales para esta región (Anexo 5.1).

La medición de la conductividad del suelo fue realizada (así como en suelo monte) también mediante sensores de salinidad, los que fueron instalados en el suelo en fecha 14.02.1995 a las mismas profundidades de 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 y 220 cm. Los valores de medición fueron registrados a partir del 16.02.1995, considerando que después de dos días se había formado un equilibrio dentro de la solución del suelo.

Los resultados indican también en esta localidad de pastura un horizonte superior «libre de sales» hasta una profundidad de 20 cm con conductividades < 2 mS/cm. A partir de esta profundidad se registra hasta los 120 cm un constante aumento de las conductividades hasta llegar a 38 mS/cm (Anexo 5.2). El

| Fecha Hora | 16.02.95 15:45 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 13:05 | 06.03.95 9:00 | 08.03.95 | 15.03.95 11:00 | 20.03.95 | 21.03.95 |
|---|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|----------|----------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | 2,64 | | 1,79 | 2,20 | | 2,24 | | | |
| Conductividad eléctrica* (μS/cm a 25°C) | 33.100 | | | 2.800 | 3.500 | | 5.000 | | |
| Precipitaciones (mm) | | 33 | 33 | | | 6 | | 20 | 20 |

| Fecha Hora | 23.03.95 9:30 | 28.03.95 13:30 | 07.04.95 7:55 | 10.04.95 8:20 | 17.04.95 | 18.04.95 | 19.04.95 | 20.04.95 8:40 | 27.04.95 |
|---|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------|----------|----------------|------------------|----------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,29 | | | | 2,29 | |
| Conductividad eléctrica* (μS/cm a 25°C) | 6.500 | 8.200 | 8.400 | 8.300 | | | 5.300 8.300 | | |
| Precipitaciones (mm) | | | | | 80 | 10 | 70 | inundación | 12 |

| Hora | 02.05.95 | 05.05.95 15:15 | 09.05.95 8:55 | 15.05.95 | 16.05.95 | 17.05.95 | 18.05.95 10:00 | 22.05.95 8:45 | 25.05.95 10:45 |
|---|----------|-------------------|------------------|----------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------------|
| Profundidad de la superficie de las aguas subterráneas (m debajo del suelo) | 1,93 | 1,74 | | | | | 1,56 | 1,41 | 1,40 |
| Conductividad eléctrica* (μS/cm a 25°C) | | 17.400 13.500 | 19.600 25.000 | | | | 21.000 28.000 | 20.100 29.300 | 23.300 29.700 |
| Precipitaciones (mm) | 31 | 34 | | 12 | 7 | 30 | 11 | | |

* La conductividad eléctrica fue medida en la superficie del agua subterránea; una segunda medición más tarde se realizó a una profundidad de 50 cm.

Tabla 4: Influencia de las precipitaciones en la profundidad del agua subterránea y la modificación de la conductividad eléctrica cerca de su superficie, durante el período del 14.02.1995 al 25.05.1995 en la localidad SaSoPa

| Hora | 08.02.95 | 09.02.95 8:45 | 14.02.95 14:10 | 16.02.95 15:45 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 13:10 | 28.02.95 8:45 |
|----------------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|
| Profundidad del suelo (cm) | | | | | | | | |
| 10 | | | 1,3 | 1,3 | | | 1,2 | 1,3 |
| 20 | | | 4,25 | 12,5 | | | 1,2 | 1,3 |
| 40 | | | 1,3 | 7,0 | | | 14,6 | 13,6 |
| 60 | | | | 9,2 | | | 30,0 | 28,0 |
| 80 | | | | 7,0 | | | 38,8 | 37,5 |
| 100 | | | | 17,2 | | | | 44,0 |
| 120 | | | 18,7 | 38,0 | | | | 19,2 |
| 140 | | | 17,8 | 27,0 | | | | 35,0 |
| 160 | | | 11,7 | 20,0 | | | | 34,0 |
| 180 | | | 12,0 | 19,0 | | | | 36,0 |
| 200 | | | 12,9 | 17,5 | | | | 40,0 |
| 220 | | | 12,2 | 18,8 | | | | 32,0 |
| Nivel freático | | 2,57 | 2,58 | 2,56 | | | 2,31 | |
| Precipitaciones (mm) | 55 | | | | 33 | 33 | | |

Tabla 5: Precipitaciones y valores de conductividad del suelo, así como profundidad de la superficie del agua subterránea para la localidad SaSoPa, durante el período del 08.02.1995 al 28.02.1995.

03.02.1995 en esta localidad se registraron 55 mm de precipitaciones. La primera medición realizada el 16.02.1995 no permitió sacar ninguna conclusión debido a la distancia temporal desde el día de la instalación. Sin embargo, las mediciones efectuadas el 27 y 28.02.1995 mostraron (después de precipitaciones de 33 mm respectivamente en los días 19.02.1995 y 22.02.1995) un marcado aumento de la conductividad eléctrica encima del nivel del agua subterránea, la cual había subido de 2,56 y 2,31 m. Una excepción representan los valores de medición a la profundidad de 120 cm (como también en el transcurso de las demás mediciones), dado que este sensor se encuentra instalado directamente debajo de un cambio textural del suelo. Después de precipitaciones leves prolongadas o después de una serie de lluvias fuertes, el agua se infiltraba lentamente. Obviamente en el horizonte superior se produjo un cierre de las grietas debido a que el suelo se ha dilatado por la humedad. El lento movimiento de la humedad hacia abajo (con todas las sales) es indicado por la disminución de la conductividad eléctrica.

La tabla 5 muestra este efecto para el período considerado entre el 14.02. al 28.02.1995

Descripción del perfil del suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 5.3), y a los valores de los análisis físicos (Anexo 5.4) y químicos (Anexo 5.5), este suelo fue identificado como «Luvisol gléico» (LVg - Sistema FAO).

3.4 Estancia Laguna Porá

La localidad Estancia Laguna Porá se encuentra aproximadamente a 75 km al este de Loma Plata y a 60 km al norte de la Estancia Santa Sofía (Fig. 1).

En esta localidad se han instalado en 1994 tres puntos de medición en las unidades **LPMo**, **LPPa1** y **LPPa2**. - En LPPa2 se ha medido, en 1995, sólo la profundidad del agua subterránea y la conductividad de la misma, puesto que ha sobrevivido pasto Estrella en una pequeña superficie. Se prosiguieron las investigaciones en las tres unidades. Sin embargo, sólo las unidades **LPMo** y **LPPa1** fueron ampliadas por las mediciones de conductividad del suelo (instalación de sensores) porque sólo se disponía de un número limitado de sensores.

3.4.1 Estancia Laguna Porá, Monte (LPMo)

La profundidad del nivel superior del agua subterránea y su la conductividad eléctrica se midieron en intervalos más o menos grandes desde el 18.05.1994 hasta el 24.05.1995. Los primeros resultados de medición válidas se recogieron el 20.05.1994, cuando a 0,92 m de profundidad del agua subterránea, la conductividad era de 60.000 mS/cm. En la primera fase de investigación en 1994, las precipitaciones se reflejaron en un rápido ascenso del agua subterránea, sin embargo no se pudo registrar claramente el esperado efecto de dilución. En la fase de investigación de 1995, y gracias a métodos de medición mejorados, se pudo confirmar claramente el efecto de las precipitaciones y las modificaciones en la concentración de sales en las aguas subterráneas. Fuertes precipitacio-

nes en Enero de 1995 ocasionaron un ascenso de 1,44m (26.01.1995) a 1,15 m (06.02.1995) y a 0,365 m el 01.03.1995. La conductividad medida en la superficie del agua disminuyó de 23.000 mS/cm el 26.01.1995 a 6.400 mS/cm el 01.03.1995. En comparación, el valor medido a una profundidad de 50 cm varió de 39.000 mS/cm (15.02.1995) a 24.000 mS/cm (01.03.1995). Este efecto de dilución puede observarse hasta el final de las investigaciones, de acuerdo a la cantidad e intensidad de las precipitaciones, así como a la duración de períodos de sequía. Incluso las inundaciones modificaron muy poco el valor de la conductividad de las aguas subterráneas a más profundidad (Anexo 6.1).

El nivel freático más alto fue medido el 18.05.1995 con 0,02 m y el más bajo con 1,49 m el día 12.10.1994. Resultando una amplitud de 1,51 m. La inundación duró poco tiempo. Dentro de un lapso de 6 días (entre el 18.05.1995 y el 24.05.1995) el nivel del agua subterránea había disminuido de 12 cm a 0,10 cm, debido al escurrimiento superficial, a la saturación de los poros finos, antes no saturados, a la evaporación y eventualmente también por escurrimiento lateral (Anexo 6.1).

Los valores de pH del agua subterránea fueron medidos del 01.03.1995 al 10.05.1995; éstos se encontraban entre 7,1 y 7,4, disminuyendo a 6,6 después de intensas precipitaciones del 18.04. al 5.05.1995 (Anexo 6.1).

La conductividad del suelo fue medida mediante sensores de salinidad instalados a 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 cm de profundidad, los valores de conductividad de los sensores indicaron claramente períodos de precipitaciones y de sequía, aunque, debido a la cercanía de las aguas subterráneas a 1 m y los altos contenidos de sal (20.000 a 60.000mS/cm en el agua subterránea), las reacciones ocurrieron en rangos de concentración más altos (Anexo 6.2).

En todo el perfil de esta localidad no existe zona libre de sales o de baja salinidad, todos los valores son muy altos (16 - 22 mS/cm). El 24 y 29.02.1995, en ésta zona, ocurrieron fuertes precipitaciones, de 35 y 10 mm, que llegaron rápidamente hasta la superficie del agua subterránea a través del sistema de grietas y poros gruesos del suelo. Desde abajo, y en menor medida también desde arriba, se humedeció el suelo. Dado que el proceso desde abajo venía realizándose más rápido, ocurrió un ascenso del agua salina. Las conductividades también, en el área de la superficie de las aguas subterráneas, indicaron contenidos de sal en disminución - una consecuencia de las precipitaciones que infiltraron rápidamente -. En épocas secas (con ascenso capilar) cambió el cuadro, es decir los contenidos de sal aumentaron nuevamente. La vegetación natural se ha adaptado a las condiciones.

Descripción del perfil del suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 6.3), y a los valores de los análisis físicos (Anexo 6.4) y químicos (Anexo 6.5), este suelo fue identificado como «Solonetz gléico» (SNg - Sistema FAO).

3.4.2 Estancia Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa1)

En esta localidad - pastura (con pasto Estrella) seco a causa de daños por salinización - se han medido en forma continua las profundidades de la superficie del agua subterránea y la conductividad eléctrica, desde el 18.05.1994 hasta el 24.05.1995. En la primera fase de investigación, entre el 18.05.1994 y el 26.01.1995 (debido a un largo período de sequía y diferentes métodos de medición de la conductividad), se pudieron detectar sólo pruebas poco contundentes de una influencia de las precipitaciones y períodos de sequía sobre la conductividad de las aguas subterráneas. Las conductividades oscilaron entre 30.000 mS/cm y 25.000 mS/cm. Recién después del 26.01.1995, con previas precipitaciones, luego de la medición cerca de la superficie y a 50 cm de profundidad, se pudo registrar una disminución de la conductividad en la superficie de la capa freática. Durante períodos secos sucedió lo contrario. Debido al ascenso capilar, primero fue sustraído agua cercana a la superficie (más dulce) y las conductividades (concentraciones de sal) volvieron a subir. Los valores medidos a una profundidad de 50 cm permanecieron en un nivel alto y oscilaron entre 29.000 mS/cm y 39.000 mS/cm (Anexo 7.1).

El 18.05.1995, la superficie de la capa freática se encontró a 0,03 m debajo de la superficie terrestre y, sin precipitaciones durante 6 días, bajó a 0,20 cm. El nivel más bajo de las aguas subterráneas fue medido el 16.01.1995 a 1,68 m. Con ello resulta una oscilación general, durante todo el período de investigación, de 1,65 m (Anexo 7.1).

Los valores de pH de las aguas subterráneas fueron medidos desde el 01.03.1995 hasta el 10.05.1995 y oscilaron entre 7,1 y 7,5 respectivamente (Anexo 7.1).

Los sensores de suelo fueron instalados, igual que en la localidad con suelo de monte, a profundidades de 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 cm. Las mediciones de la conductividad en el suelo, reflejadas en el contenido de sal, muestran excelentemente la influencia de las precipitaciones y sequías. Un ascenso de la capa freática después de precipitaciones, por un lado, eleva el nivel del agua subterránea salina hacia el área de enraizamiento de las plantas; por otro lado, asciende la zona de transporte capilar. Debido al agua subterránea en ascenso, además de una más prolongada saturación por aguas altamente salinas y un posterior descenso del nivel del agua subterránea, se registra una

mayor concentración de sales (aumento de la conductividad en el horizonte superior) debido al mayor ascenso capilar.

Descripción del perfil del suelo

En base al trabajo de campo (Anexo 7.3) y a los valores de los análisis físicos (Anexo 7.4) y químicos (Anexo 7.5), este suelo fue identificado como «Cambisol gléico» (CMg - Sistema FAO).

3.4.3 Estancia Laguna Porá, Pastura 2 (LPPa2)

Las investigaciones en la unidad LPPa2 se realizaron a modo de comparación, dado que había sobrevivido pasto Estrella en una pequeña superficie de suelo tipo monte. Se pretendió obtener informaciones preliminares en caso de que el bosque que se encuentra a una distancia de 10 m esté en condiciones de absorber agua y mantener la capa freática lo suficientemente baja como para evitar la destrucción de la pastura. Durante la primera fase de investigación en 1995 se tuvo que constatar la desaparición total del «resto» de la pastura.

Desde el inicio de la investigación, en fecha 18.05.1994, hasta finalizarla, en fecha 24.05.1995, se han medido la profundidad y la conductividad del agua subterránea. En el segundo periodo de investigación que se inició el 14.03.1995, se han medido las conductividades también a dos profundidades, es decir en la superficie y a 50 cm de profundidad. Como en otras localidades, los valores de profundidad y conductividad del agua subterránea dependieron de las precipitaciones y periodos secos (Anexo 8.1).

Los valores de pH de las aguas subterráneas cerca de la superficie, medidos entre el 01.03.1995 y el 05.05.1995, oscilaron entre pH 7,2 y 7,8 (Anexo 8.1).

3.5 Campo Loa

A efectos de

- la determinación de indicadores biológicos para concentraciones de sal y lentes de agua dulce,
- la correlación entre parámetros de vegetación, diversos parámetros de suelo y aguas subterráneas,
- la representación de localidades singulares (que difieren de la vegetación general debido a sus condiciones de suelo), y
- la investigación de relaciones entre la fisiología de las plantas y las concentraciones de sal en las aguas subterráneas,

el Dr. Ralph Mitlöchner de la Facultad Forestal de la Universidad de Göttingen, en 1995 ha elaborado un estudio en base a ejemplos seleccionados (véase Bibliografía).

La afirmación realizada para la localidad de Campo Loa (asentamiento indígena) de que las aguas subterráneas pueden ser descritas en su extensión horizontal y estratificadas según diferentes concentraciones de sal, tiene una importancia especial debido a la situación de suministro de agua potable para esta zona.

A efectos de investigar esta afirmación, se eligieron dos localidades en las cuales crecían dos tipos de árboles muy similares de Urundey y que tendrían contacto permanente con el agua subterránea «libre». Uno debía crecer en una zona de agua dulce y el otro en una zona de agua salada. Un pozo artesiano cercano hizo suponer que el agua subterránea se encuentra a unos 25 m de profundidad.

En la cercanía de ambos árboles, a unos 2,50 m de distancia, se realizaron perforaciones de alrededor de 28 m de profundidad mediante una perforación tipo helicoidal. Cada 0,75 m fue extraída una muestra. Se determinaron la textura mediante el tacto, la conductividad en el campo y la conductividad, pH y humedad en el laboratorio. A una profundidad de aproximadamente 22 m fue extraído en ambas perforaciones suelo limoso, arenoso y arcilloso.

En la perforación en agua «dulce» (debido a los valores de la vegetación se presume la presencia de agua subterránea dulce) fue extraído suelo limoso arenoso que a 0,75m cambió a arena fina limosa y a alrededor de 7m de profundidad a arena fina a mediana. Los valores de conductividad eléctrica (valores laborales calculados sobre el extracto de saturación del suelo) subieron de 0,4 mS/cm en el horizonte superior a alrededor de 1,3 mS/cm a 20,25 m de profundidad y a 6,3 mS/cm en el limo arenoso arcilloso a 22,50 m de profundidad (Anexo 9.1).

La perforación en agua «salada» arrojó valores algo distintos. El horizonte superior era menos limoso, sin embargo, al profundizar era muy similar. Los valores de conductividad eran muy parecidos, con un valor inicial alto de 1,8 mS/cm a 20,25m y un valor máximo de aproximadamente 12, 0 mS/cm a 22,50 m de profundidad (Anexo 9.2).

Los valores de humedad eran casi idénticos en ambas perforaciones, a excepción del horizonte superior, donde en la perforación «dulce» se registró una mayor capacidad de retención de agua debido a la textura limosa. A una profundidad de 19,50 m hasta 20,25 m se encontraron concreciones calcáreas duras, redondas, con un diámetro de alrededor de 5 mm. A partir de aproximadamente 26,50 m el material extraído estaba mojado. Esta profundidad correspondería a la profundidad de las aguas subterráneas.

Dado que las raíces difícilmente alcanzan esta profundidad, en la fase de investigación, en 1995, se excavaron las raíces del árbol Urundey en agua «sala-

da». A una profundidad de alrededor de 1,50 m se pudo observar una división de las grandes raíces pivotantes de 10 a 15 cm de diámetro en cinco raíces de 1 cm de grosor. Estas siguieron creciendo en dirección vertical. Las demás raíces pivotantes fuertes dieron un giro hacia el costado y en parte siguieron creciendo hacia la superficie del suelo. A una profundidad de 2,50 m aproximadamente, las cinco raíces más finas aún existían. Debido al esfuerzo que representa tal excavación se suspendieron los trabajos a esta profundidad.

4 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS EN LAS UNIDADES DE INVESTIGACIÓN

4.1 *Precipitaciones, nivel del agua subterránea y conductividad eléctrica del agua subterránea*

Tomando como ejemplo períodos de medición seleccionados, se presentan las relaciones entre precipitaciones, profundidad y la conductividad eléctrica del agua subterránea en su superficie. Como localidad de investigación se eligió la Estancia Santa Sofía con las unidades de investigación monte y pastura, porque aquí, con una profundidad del agua subterránea de 2m, una modificación de las condiciones, es decir en primer lugar un ascenso del agua subterránea y/o borde capilar, significa un peligro actual para la comunidad vegetal pastura. Donde falta el matorral, después de fuertes precipitaciones ocurre un rápido ascenso del agua subterránea salina hasta el área de raíces o incluso hasta la superficie terrestre. Dependiendo de la duración de la permanencia de las aguas en esta área y la tolerancia de los pastos a la sal, surgen daños por salinización leves o hasta la muerte de la misma. En caso de un ligero ascenso, sube el borde capilar pero no alcanza el límite de la distancia crítica de las aguas subterráneas a la superficie. Debido a ello, surge un transporte capilar de agua con todas las sales hacia el área de las raíces o hasta la superficie del suelo. El resultado es el mismo, es decir daño o desaparición de la pastura.

En base a estos resultados puede concluirse que movimientos de agua y consecuentemente también de sal, son regulados por la vegetación natural, adaptada a estas localidades. Por falta de datos de observación y medición no se puede evaluar hasta qué punto las influencias de aguas laterales desde unidades de pasturas lindantes influyen en estos movimientos. Trabajos australianos (WILLIAMSON, D.R., 1990) hacen en-

tender que ni grandes bosques naturales están en condiciones de limitar la afluencia de aguas subterráneas desde pasturas colindantes.

Estos resultados permiten concluir que después de precipitaciones existen dos procesos diferentes que influyen en las aguas subterráneas cercanas a la superficie.

En el primer caso se producen fuertes precipitaciones sobre suelos de monte seco y rajado. Toda el agua caída se infiltra a través de poros y grietas hasta la superficie del agua subterránea, acumulándose en la misma. Así se tiene una capa de «agua dulce» que se encuentra encima de una capa de agua salada. Esta capa de agua de precipitaciones separa entonces el suelo superior, enriquecido con sales por ascenso capilar del suelo más profundo, saturado con agua salada. El nivel del agua subterránea asciende y mientras sigue infiltrándose agua de lluvia seguirá existiendo, como fuera comprobado en la segunda fase de investigación en 1995, siempre existe una «capa de agua dulce» encima de una capa de agua salada.

En el segundo caso, precipitaciones «suaves» o prolongadas mantienen una saturación de agua en la superficie del suelo. El material arcilloso del suelo se expande y las grietas y poros gruesos se cierran. Este efecto se ve intensificado por el pastoreo bajo humedad y la consecuente compactación de la superficie por las pisadas. Ocurre una reducción de los poros con drenaje rápido. Ello impide una rápida infiltración de las aguas de lluvia en el suelo. Las consecuencias son inundaciones y las aguas de sumersión sólo se infiltran lentamente a través de las grietas más finas. El lente de agua subterránea es llenado desde arriba y, desde los poros finos y las grietas lleva agua salada hacia la superficie del agua subterránea. Por estas razones no se registra la esperada disminución de la conductividad en la capa superior de las aguas subterráneas, es decir es menor de lo esperado (tabla 3).

4.2 *Precipitaciones, nivel del agua subterránea y conductividad eléctrica del suelo*

Los resultados de la medición ofrecen una primera idea sobre las relaciones entre las precipitaciones, movimientos de aguas y sales en el suelo y la consecuente modificación de la conductividad eléctrica. Las unidades de investigación monte y pastura se mantuvieron para la evaluación de las conductividades eléctricas del suelo.

Unidad de investigación monte: el follaje de hojas impide una caída directa de la lluvia sobre la superficie terrestre y la densa red de raíces impide una (rápida) infiltración del agua que cae al suelo. En el transcurso del tiempo se ha formado un horizonte superior rela-

tivamente libre de sales hasta una profundidad de 20 cm. Al iniciarse un período de sequía, sólo puede surgir un ascenso capilar limitado porque el sistema de raíces finas sustrae humedad al flujo capilar ascendente que - como lo comprueban los valores de conductividad - no llega hasta la superficie terrestre. La consecuencia de este proceso es que las concentraciones de sal/conductividades varían sólo insignificamente.

Unidad de investigación pastura: se ratifican los resultados obtenidos en las investigaciones con relación a precipitaciones, nivel y conductividad eléctrica del agua subterránea. Después de tener una sequía las precipitaciones infiltran rápidamente hasta la superficie del agua subterránea a través de cavidades, grietas y poros de mayor tamaño (en el período seco de 1994 se observaron grietas de hasta 1,30 /1,40 m de profundidad). El nivel del agua subterránea asciende y las conductividades en el horizonte superior aumentan.

Los niveles y las conductividades eléctricas del agua subterránea en esta localidad reaccionan mucho más rápido marcando un cambio entre períodos secos y precipitaciones en comparación con una cobertura de monte. Después de precipitaciones registradas el 19 y 22.02., el nivel del agua subterránea ascendió de 2,56 a 2,31, penetrando la mayor parte del agua de lluvia en el suelo a través de cavidades y poros de drenaje rápido; aumentando la humedad del suelo y las concentraciones de sal.

4.3 Comparación entre localidades de Monte y de Pastura

Se comparan las unidades de investigación monte y pastura de la localidad Estancia Santa Sofía. Los siguientes gráficos reflejan nuevamente los diferentes efectos de las precipitaciones en ambas localidades.

En la unidad monte, el nivel del agua subterránea asciende paulatinamente sin registrarse un cambio esen-

cial en la concentración de sales y tampoco surge una modificación de la concentración de sal en la superficie terrestre. Ello es posible sólo con una vegetación natural adaptada que regula los movimientos de agua.

La unidad de investigación pastura, sin embargo, reacciona muy diferente. Debido a los procesos descritos, las curvas reflejan un rápido aumento de las conductividades/ concentraciones de sal debido al ascenso del nivel del agua subterránea hacia los horizontes amenazados (áreas de enraizamiento) y con ello existe un riesgo agudo para la vegetación. (Distancias del agua subterránea hacia la superficie terrestre de menos de 2 m - como fueron encontradas en la zona de la Estancia Laguna Porá, con alrededor de 1 m - facilitan una reacción mucho más rápida a este tipo de proceso, siendo, correspondientemente, más peligrosas. En 1992 aquí murió gran parte de la pastura Estrella. Las causas de la mortandad habrían sido precipitaciones prolongadas y una mayor permanencia del agua subterránea ascendida en los horizontes/zonas de enraizamiento amenazados).

Dependiendo de la intensidad de las lluvias y la duración del período de sequía estos procesos son reflejados en las conductividades del suelo. El peligro de salinización es mucho mayor debido a que en la localidad Santa Sofía, bajo condiciones de una sequía más prolongada y evaporación más rápida e intensa, también se inicia el ascenso capilar del agua subterránea salada a 2,10 - 2,20 m de profundidad.

4.4 Cálculo de una "distancia crítica del nivel del agua subterránea a la superficie"¹ y determinación de una curva de tensión de agua

En el transcurso de los trabajos de campo pudo observarse que los daños por salinización en superficies agrícolas tienen dos causas. La primera causa, que tiene efecto inmediato, es la deposición de sales en la

¹ Como distancia «crítica» del nivel del agua subterránea a la superficie terrestre, en el sentido de un peligro de salinización del suelo, se definirá en el área de investigación la distancia del agua subterránea en la que el borde capilar alcanza la zona de enraizamiento de los cultivos o la superficie terrestre. Es un valor arbitrario que depende de una serie de factores climáticos y característicos del suelo, como p.ej. granulometría, densidad y textura del suelo. El concepto de distancia «crítica» del agua subterránea caracteriza una distancia de la superficie del agua subterránea la cual, al ser traspasada, hace esperar una influencia negativa crítica en el horizonte superior por aguas subterráneas ascendentes. Debe entenderse como la distancia entre la superficie del agua subterránea y la altura hasta la cual el agua asciende en forma capilar. El ascenso capilar es lo opuesto a la infiltración, y se inicia cuando en el nivel de agua subterránea reina un potencial de matrices más bajo de lo que correspondería a un estado de equilibrio con una nivel freático libre. Este «estado de desequilibrio» siempre surge cuando las raíces sustraen agua del suelo o cuando el agua se evapora en la superficie del suelo.

Normalmente el ascenso capilar desde la zona freática hacia el área de enraizamiento tiene el objetivo de suministrar agua a las plantas; sin embargo, si el agua subterránea es muy salada, el ascenso capilar significa un serio peligro para las plantas, dado que también las sales son transportadas. En períodos más secos, la evaporación y el ascenso capilar originan un movimiento de agua constante hacia arriba que no se interrumpe en caso de cercanía de las aguas subterráneas y por ello transporta mayores cantidades de sal hacia el área de enraizamiento o la superficie terrestre. La distancia «crítica» del nivel de las aguas subterráneas también puede ser traspasado debido a aguas freáticas que ascienden.

superficie debido a la quema de vegetación y el aplanamiento de hormigueros, tratado detalladamente en el Informe interno de la BGR «Peligro de Salinización de los Suelos en el Chaco Central Oriental como Consecuencia de Medidas de Desmonte no Adecuadas» (Archivo BGR N° 11 25 28). La segunda causa es el ascenso del agua subterránea salada hacia el área de enraizamiento² efectivo (Ee) de las plantas o incluso hasta la superficie del suelo o el ascenso del borde capilar hasta estas zonas. La segunda causa es provocada por el agua de lluvia que se infiltra rápidamente en el suelo a través de cavidades y poros de mayor tamaño y que hasta ahora sólo ha podido observarse en localidades con pastura. Son bien conocidos suficientemente las consecuencias causadas por el desmonte. Por ello es importante definir áreas en peligro potencial, a efectos de evitar un desmonte de estas superficies.

Características de perfiles de suelo, así como observaciones y mediciones de parámetros edafológicos al inicio de las investigaciones (1994), permitieron suponer de que debe haber una distancia del agua subterránea alrededor de los 2 m. Dado que según nuestras mediciones y observaciones en la localidad de la Estancia Santa Sofía se ha registrado una distancia de la misma de 2 m, esta localidad es citada como ejemplo conjuntamente con la unidad de investigación pastura (**SaSoPa**).

Para determinar una medida de la distancia crítica del agua subterránea a la superficie del suelo, válida para suelos de monte, era imprescindible realizar estudios con respecto al movimiento de aguas subterráneas a largo plazo. Además, se elaboraron curvas de tensión de agua, con la ayuda de la textura y la densidad del suelo, a efectos de poder definir un valor físicamente aceptable. Resultando, entre otras cosas, en la comparación de valores de campo y laboratorio de la localidad de investigación pastura en la Estancia Santa Sofía (SaSoPa), que, a una profundidad de suelo de 50 cm, el punto de marchitez³ se había traspasado clara-

mente, correspondiendo a la profundidad de enraizamiento. A partir de esta profundidad la humedad es inferior al punto de marchitación, es decir que a partir de esta profundidad se espera el inicio del ascenso capilar (Tabla 6). Esta observación y las características de los perfiles del suelo (precipitaciones de yeso y/o cal, así como redoximorfosis⁴ de acuerdo a la profundidad) confirman los valores calculados a continuación, bajo las condiciones actuales del área de investigación:

$$D_{cas} = Ee + Ac \text{ a } 0,3\text{mm/d} =$$

$$D_{cas} = 5 + 13 (16) = 18 (21) \text{ dm distancia subterránea «crítica»}$$

con:

Dcas la distancia «crítica» del agua subterránea, también límite de la distancia subterránea en dm,

Ee la profundidad del área de enraizamiento efectivo en dm, resultó ser de 5 dm en la pastura con pasto búfalo y estrella y,

Ac el ascenso capilar en dm

Para esta localidad se han definido los tipos de suelo Tu2 y Tu3. Se registró un ascenso capilar de 13 y 16 dm (Tabla 6) y una tasa de 0,3 mm/d. Valores > 0,3 mm/d no representan peligro por sales aportados para las plantas en esta área.

En este cálculo no son consideradas las oscilaciones de aguas subterráneas >5 dm, dado que aún se dispone de pocas informaciones respecto a su permanencia.

El cálculo arriba indicado corresponde a los valores registrados en los análisis de campo y laboratorio (tabla 7) para la localidad Estancia Santa Sofía, pastura. Durante un período de sequía las raíces de las plantas (pastos) extraen tanta humedad del suelo que es traspasado el punto de marchitación. Recién por debajo de una profundidad de 5 dm, es decir bajo el área de enraizamiento efectivo de los pastos cultivados, surge una reversión de las condiciones. Entonces la hume-

² La profundidad de enraizamiento efectivo (Ee) es la profundidad utilizada para el cálculo de la capacidad de campo utilizable del área de enraizamiento efectivo (zona entre la superficie del suelo y la profundidad de enraizamiento efectivo). Bases para el cálculo de la profundidad de enraizamiento efectivo es la sustracción de agua por las raíces de las plantas en años secos (Manual de Cartografía Edafológica, 1982).

³ Punto de marchitez permanente (PMP) es un valor límite en el cual los cultivos agrícolas generalmente comienzan a marchitarse en forma irreversible; convencionalmente una tensión de succión de pF 4,2 (MANUAL DE CARTOGRAFIA EDAFOLOGICA, 1994).

⁴ Redoximorfosis es la formación de características redoximorfológicas que surgen con la falta de oxígeno. La falta de O₂ y condiciones reductoras son causadas en los suelos por organismos consumidores de O₂.

Horizontes de suelos que *continuamente* están libres de oxígeno, muchas veces tienen una coloración negra, debido a los sulfuros de hierro, o son blancos, pálidos debido a la escasez de hierro y manganeso. Los suelos también pueden tener una coloración gris, debido a siderita o vivianita, o verde hasta azul por los hidróxidos de hierro.

Suelos u horizontes que *temporalmente* tienen una escasez de oxígeno se caracterizan por manchas de óxido y/o concreciones de óxidos de hierro y manganeso que se encuentran conjuntamente con zonas decoloradas. En horizontes con *alta* conductividad de agua y aire se forman *concreciones* principalmente negras hasta marrones, que pueden alcanzar tamaños desde pocos mm hasta varios cm o también pueden consistir en horizontes enriquecidos compactados en forma continua. (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1992)

| Textura según "Bodenkundliche Kartieranleitung" Hannover, 1994 | Textura, Clasificación Internacional según FAO | Altura del ascenso capilar (dm) con una TA de 0,3 mm/d |
|--|--|--|
| gS, mSgs | S | 6 |
| mSfs | S | 9 |
| fS | S | 17 |
| Sl2, St2, Su2 | Sl - lS | 18 |
| Sl3, Sl4 | L - sL | 22 |
| St3, Su3 | sL - scL | 22 |
| Su4, Slu | sL - siiL | 24 |
| Uu, Us | Si - siC | 27 |
| Ut2, Ut3, Ut4, Lu, Uls | Si - siC | 26 |
| Ls3, Ls4 | siL - L | 14 |
| Ls2 | siL | 20 |
| Lts, Lt2 | cL - sicL | 13 |
| Tu4, Tu3 | Si - siC | 13 |
| Tt, Tl, Tu2, Lt3 | C | 16 |

| | | |
|-------------|----|----------------|
| Referencias | S | Sand - Arena |
| | L | Loam - Franco |
| | Si | Silt - Limo |
| | C | Clay - Arcilla |

Tabla 6: Nivel del ascenso capilar en dm, dependiente de la textura del suelo con una tasa de ascenso (TA) de 0,3 mm/d (distancia límite del nivel freático a pF 4) (según «Bodenkundliche Kartieranleitung», Hannover, 1994)

| Profundidad (cm) | | Humedad del suelo (Vol% H ₂ O) | Valor laboratorio pF 4,2 (Vol% H ₂ O) |
|------------------|-------|---|--|
| de | hasta | | |
| 0 | 10 | 4,20 | 8,49 |
| 10 | 20 | 6,36 | 11,44 |
| 20 | 30 | 10,29 | |
| 30 | 40 | 14,65 | 15,41 |
| 40 | 50 | 14,83 | |
| 50 | 60 | 19,26 | 16,20 |
| 60 | 70 | 22,16 | |
| 70 | 80 | 22,73 | 17,35 |
| 80 | 90 | 24,24 | |
| 90 | 100 | 23,42 | 14,88 |
| 100 | 110 | 23,48 | |
| 110 | 120 | 23,06 | 15,16 |
| 120 | 130 | 26,82 | |
| 130 | 140 | 25,73 | 13,61 |
| 140 | 150 | 28,51 | |
| 150 | 160 | 31,00 | 15,30 |
| 160 | 170 | 29,62 | |
| 170 | 180 | 32,51 | 15,13 |
| 180 | 190 | 31,58 | |
| 190 | 200 | 28,53 | 14,98 |
| 200 | 210 | 30,74 | |
| 210 | 220 | Agua subterránea a los 2,255 m | 14,83 |

Tabla 7: Humedad del campo y determinaciones en laboratorio del punto de marchitación (pF 4,2) para la localidad Estancia Santa Sofía, Pastura, después de un largo periodo de sequía. Extracción de las muestras: 27.07.1994

dad aportada por ascenso capilar sobrepasa el valor determinado en el laboratorio como punto de marchitación. En este momento, la superficie de las aguas subterráneas fue medido a los 2,26 m. Si se deduce 0,5m correspondiente al área efectivo de enraizamiento, se obtiene la distancia «crítica» de las aguas subterráneas a la superficie de 1,76 m, la que se encuentra dentro del área de los valores reflejados en tabla 6.

La curva de tensión (Fig. 2) determinada en base a los valores de los análisis físicos del suelo (Anexo 5.4) de esta localidad, confirma lo expresado anteriormente. Si para estos suelos se supone una capacidad de succión de 600 a 700 mm, en el límite inferior del área de enraizamiento efectivo (Ee), se obtienen, en base a esta curva, valores del contenido de agua de alrededor de 24 Vol% a una profundidad de 80 cm. En esta localidad se ha medido en el límite inferior del Ee un contenido de agua de 14,83 Vol% (Tabla 6), lo que corresponde a una capacidad de succión de 15 bar y con ello al punto de marchitación. De esta manera la cantidad de agua suministrada por ascenso capilar no representa peligro para las raíces del suelo.

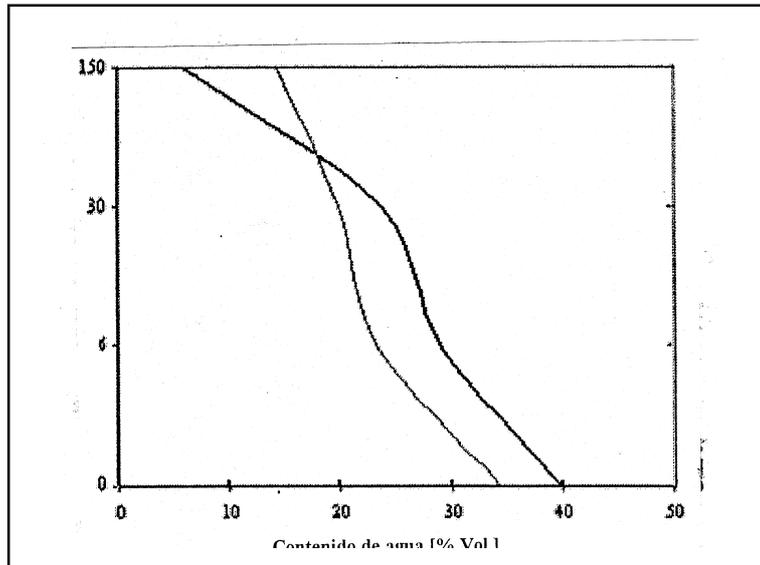


Fig. 2: Curva de tensión del agua calculada para la unidad de investigación SaSoPa (promedio aritmético para el área 0-20 en gris oscuro y 20-160 cm gris claro)

4.5 Aptitud de riego de los suelos de monte

Las diferentes localidades tienen en común la presencia de suelos de monte salinos de tipo limosos, arcilloso. Los altos contenidos de arcilla «sellan» la superficie al ser humedecida expandiéndose posteriormente.

Mediciones continuas: infiltrómetro de anillo doble N° 1

| Fecha Hora | 21.05 9:07 | 22.05 11:30 | 23.05 8:35 |
|---|---------------|----------------|---------------|
| Superficie de suelo (mm) | 2.818 | 2.825 | 2.821 |
| Superficie de suelo (mm) +50 mm de columna de agua llenado a mm | 2.798 | 2.800 | |
| Infiltración (mm) por unidad de tiempo (min)) | | 27/1583 | 21/1265 |
| Infiltración (cm/d) | | | 2,4 |

Mediciones continuas: infiltrómetro de anillo doble N° 2

| Fecha Hora | 21.05 9:10 | 11:30 | 22.05 11:40 | 23.05 8:36 |
|---|---------------|-------|----------------|---------------|
| Superficie de suelo (mm) | 860 | 817 | >860 | >860 |
| Superficie de suelo (mm) +50 mm de columna de agua llenado a mm | 810 | | | |
| Infiltración (mm) por unidad de tiempo (min)) | | 7/140 | | |
| Infiltración (cm/d) | | 7,2 | | |

Mediciones continuas: infiltrómetro de anillo doble N° 3

| Fecha Hora | 21.05 9:10 | 11:30 | 22.05 11:40 | 23.05 8:38 |
|---|---------------|-------|----------------|---------------|
| Superficie de suelo (mm) | 1.824 | 1.804 | 1.838 | 1.832 |
| Superficie de suelo (mm) +50 mm de columna de agua llenado a mm | 1.800 | | 1.790 | |
| Infiltración (mm) por unidad de tiempo (min)) | | | | 42/1258 |
| Infiltración (cm/d) | | | | 4,8 |

Tabla 8: Mediciones con infiltrómetro de anillo doble en estado «saturado» en suelo de Monte, Estancia Santa Sofía, Pastura (SaSoPa) de fecha 21.05.1995

| Clase | Clasificación de la infiltración | Tasa de infiltración (cm/d) |
|-------|--|-----------------------------|
| 1 | muy lenta (sin posibilidades de riego) | < 2,4 |
| 2 | lenta | 2,4 - 12 |
| 3 | moderadamente lenta | 12 - 48 |
| 4 | moderada | 48 - 144 |
| 5 | moderadamente rápida | 144 - 300 |
| 6 | rápida | 300 - 600 |
| 7 | muy rápida | > 600 |

Tabla 9: Clases de infiltración (según Landon, J.R. en Booker Tropical Soil Manual, 1984)

te (acentuándose este proceso debido a la compactación por pisadas del ganado), y ocasionan la represión superficial de agua. En este estado, el suelo sólo registra una tasa de infiltración muy baja. Para la unidad de investigación SaSoPa se ha medido, en estado saturado, una tasa de infiltración de 4,8 cm/d (Tabla 8). Según la Tabla 9, éstos suelo se encuentran en el límite de aptitud de irrigación.

La planificación de una irrigación es difícil, debido a la falta de agua dulce y a un drenaje natural insuficiente. Todos estos factores juntos, prácticamente no permiten una utilización económica de esta localidad bajo condiciones de riego artificial.

4.6 La relación entre parámetros de vegetación y de suelo

En su dictamen elaborado en el año 1995, por orden de la "Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe" (BGR) y la "Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit" (GTZ) con el título "Caracterización de Localidades en el Chaco Central Paraguayo a través de la Capacidad de Succión Vegetal y la Presión Osmótica Potencial" MITLÖHNER describe métodos de mediciones en hojas vegetales. Los resultados de estas mediciones facilitarían la cuantificación de los factores locales y de las variaciones entre las especies. Se pueden realizar contribuciones respecto a la situación actual del agua y de las sales en suelos enraizados así como la situación actual del agua y las sales del organismo vegetal. Sin embargo, una localización de los factores relevantes con respecto a la profundidad con profundidad y dimensión de enraizamiento aún no se pudo realizar. Por lo tanto, se precisan informaciones edafológicas y edafológicas-hidrológicas.

La comparación de datos de investigaciones edafológicas con los valores vegetales correspondientes medidos por MITLÖHNER, comprueban parcialmente estos valores, sin embargo, crea también nuevas preguntas. Los valores de la capacidad de succión

en las localidades Lindendorf - ~ 3m de distancia N.S.⁴ - y Santa Sofía - ~ 2m N de distancia N.S. - se ubican aproximadamente en el mismo rango. Los valores de la capacidad de succión de la localidad Laguna Porá - ~ 1m de distancia N.S. - son notablemente menores (más bajos) lo que indica que las plantas son capaces de abastecerse suficientemente, de manera directa o a través del agua freática cerca a la superficie, o también por ascensión capilar.

- Comparando los valores de la capacidad de succión de diferentes tipos de suelo, se nota que un suelo arenoso "seco" podría exigir la misma capacidad de succión vegetal que un suelo arcilloso "húmedo". Esto significa que se necesita un "ground check" edafológico para relacionar los valores de la capacidad de succión vegetal según los valores edafológicos estructurales. Para poder llegar a conclusiones generales en este campo, se tendría que realizar paralelamente investigaciones en las plantas (capacidad de succión) y en el suelo (capacidad de succión/humedad del suelo y tipo de suelo) durante una fase climática seca y una fase húmeda.
- La localidad Laguna Porá aparenta favorable por sus valores de mediciones de la capacidad de succión vegetal y de la presión osmótica potencial; por esto parece extraño que justo en esta localidad existen problemas referente al uso de la tierra. *Prosopis nuscifolia* crece todavía bajo condiciones sumamente difíciles, es decir con suelos "pesados" y contenidos salinos en el suelo y agua subterránea, aunque reacciona con una menor producción de biomasa. Se tendría que analizar en este lugar cuáles son las estrategias que han desarrollado las plantas individuales para lograr sobrevivir en esta localidad. Existe la probabilidad de que el agua "dulce" necesaria sería facilitada a través de un sistema extensivo, cerca a la superficie, de raíces someras. Aquí no existe un horizonte con bajo contenido salino.
- En las localidades Santa Sofía y Laguna Porá se han instalado sensores de salinidad para realizar

* N.S.: nivel superficial, definición: Distancia del nivel superior de las aguas freáticas a la superficie terrestre.

mediciones de conductividad del suelo. Se ubican en varias profundidades, alcanzando el nivel superior del agua subterránea. Estos valores se relacionan bastante bien con las presiones osmóticas potenciales. Por esto, se tendría que aclarar para estas localidades si el mayor volumen de las raíces se ubica en el límite del nivel superior del agua subterránea o en el límite superior del margen capilar.

MITLÖHNER mide dos parámetros, la capacidad de succión de la planta y la presión osmótica potencial, y compara estos valores con los edáficos. Por esta razón se describe en la siguiente parte a ambos métodos.

4.6.1 *Mediciones de la capacidad de succión de las plantas*

Según MITLÖHNER, los valores medidos en las plantas al mediodía, facilitan informaciones con respecto a la capacidad de succión de las plantas (SLAVAKOVA, 1965). La medición realizada de noche (pre-dawn) refleja el estado "relajado" de la planta. En esta hora de medición existe un equilibrio de succión vegetal entre planta y suelo, debido a que se obtienen valores claramente bajos por cierre de los estomas y menor déficit de saturación atmosférica. Se concluye que los valores nocturnos reflejan las condiciones predeterminadas en la zona de enraizamiento.

La medición de la capacidad de succión vegetal se realiza con ayuda del método de las cámaras de presión según SCHOLANDER et al (1965). Una hoja y/o rama cortada es introducida en el aparato permitiendo, que la parte del corte de la hoja se extendería hacia "afuera". Aumentando la presión hasta un valor determinado el agua sale de la muestra de hoja y/o rama. Este valor se verifica en el momento, y equivale a la capacidad de succión vegetal existente en este corte específico de la hoja y/o rama.

Bajo condiciones óptimas de abastecimiento de agua, el valor teórico de la capacidad de succión vegetal equivaldría a 0 bar, pero en la práctica vale 1 bar. La profundidad y extensión de enraizamiento no se pueden medir con esta metodología. La influencia del tipo de suelo aumenta, de manera recíproca con la granulometría partiendo de arena, pasando a limo para llegar a los valores más altos en suelos arcillosos, alcanzando valores mayores a 65 - 70 bar.

Los valores resultantes de la capacidad de succión vegetal llevan a conclusiones respecto al agua disponible para las plantas, pero no con respecto a su calidad. Este problema se soluciona, según MITLÖHNER, a través de la medición de la presión

osmótica potencial vegetal interna realizada al mediodía y a la noche.

4.6.2 *Determinación de la presión osmótica potencial*

Se toman muestras de hojas adyacentes, aplicadas para mediciones de la capacidad de succión y se determina su peso en estado fresco. Luego se secan las hojas durante 4 horas a una temperatura de 95°C y se determina el peso en estado seco. El contenido de humedad actual se halla a través de la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco. El material se pulveriza y se pesa una muestra parcial de 1 g en un tubo de ensayo. Luego se agrega el contenido húmedo calculado a una porción múltiple del mismo en forma de agua destilada y se mantiene la muestra por aproximadamente 12 horas con 55° C en baño María para disolver todas las sustancias solubles. Después se centrifuga la suspensión con 3.000 r/m a 4° C durante 20 minutos para separar las partes sólidas de las líquidas. Una parte de la solución se quita con la pipeta para luego someterla a la crioscopia, es decir, se mide el punto de congelación de la correspondiente solución.

Entre la depresión del punto de congelación Dt (°C) y presión osmótica potencial p^* [atm] existe la relación física $p^* = 0,021 (Dt)^2 - 12,06Dt$ (KREEB, 1977). La alimentación o pérdida de agua en el interior de la célula conducen al descenso o aumento de la concentración de las sustancias osmóticas disueltas en el interior de las células, en este caso en su mayor parte sales, en consecuencia se produce al descenso o ascenso de la presión osmótica potencial.

Bajo la premisa que la relación hídrica actual de la planta y el suelo esta equilibrado durante la noche, lo que no siempre tiene que ser el caso, se podría tomar el valor nocturno específico para la caracterización de localidades. El valor de mediodía caracteriza las especies vegetales. Cabe resaltar que el mejoramiento de la situación hídrica de la planta no causa el decrecimiento del contenido salino en las hojas. La cantidad salina medida conserva y refleja la situación de abastecimiento menos apropiada.

Las Localidades de Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá

Los valores de la capacidad de succión vegetal medidos al mediodía señalan, por lo demostrado arriba, la situación más difícil para la planta. La planta tiene que alcanzar la succión máxima para asegurar su abastecimiento de agua. Los valores de la capacidad de succión nocturna, medidos en las hojas, indican el estado más relajado de la planta. Fuera de algunas excepciones esto no vale para las localidades analizadas. Por

esta razón se tiene que concluir que la planta tiene su problema con el abastecimiento de agua, debido a parámetros edáficos desfavorables, como contenido de humedad en el suelo, granulometría, textura, compactación, etc. La diferencia entre las mediciones realizadas al mediodía y a la noche demuestra la capacidad de la planta de abastecerse con agua. Una diferencia grande significa alta capacidad, una diferencia pequeña, baja capacidad. Como era de esperar, Laguna Porá tiene el mayor nivel de agua subterránea y los menores valores de capacidad de succión, tanto de día como de noche; sin embargo, demuestran mayores diferencias de la capacidad de succión, lo que indi-

Estación experimental de la GTZ en las cercanías de Lindendorf

En la superficie mencionada arriba (S 22°32'0" y W* 059° 45'27"), MITLÖHNER realizó un trayecto atravesando un terreno visiblemente deteriorado. Se ha analizado plantas de algodón muy dañadas, medianamente dañados y sin manifestación de daños. Tanto las capacidades de absorción de la planta como las presiones osmóticas potenciales indican la situación de "estrés" de la planta. Estos resultados están de acuerdo con aquellos elaborados por el autor en el año 1994.

| | | | Algodón sin daños visibles | | Algodón con daños de forma circulares | | Algodón con daños de forma alargada | |
|-------------------------|---|-----|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Profundidad desde hasta | | | Humedad (Peso %) | CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25° C | Humedad (Peso %) | CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25° C | Humedad (Peso %) | CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25° C |
| 0 | - | 10 | 8,78 | 1,122 | 4,36 | 1,155 | 4,82 | 2,937 |
| 10 | - | 20 | 11,04 | 0,924 | 6,20 | 1,947 | 7,10 | 5,148 |
| 20 | - | 30 | 9,81 | 0,759 | 6,47 | 1,584 | 8,16 | 6,831 |
| 30 | - | 40 | 12,15 | 0,990 | 8,01 | 1,881 | 7,54 | 5,676 |
| 40 | - | 50 | 10,15 | 0,594 | 8,30 | 3,729 | 11,97 | 6,369 |
| 50 | - | 60 | 9,82 | 0,660 | 9,44 | 6,567 | 13,17 | 7,788 |
| 60 | - | 70 | 9,90 | 0,495 | 11,26 | 7,590 | 13,25 | 7,788 |
| 70 | - | 80 | 10,28 | 0,495 | 12,16 | 9,867 | 13,66 | 6,765 |
| 80 | - | 90 | 11,38 | 0,396 | 12,78 | 10,956 | 14,17 | 7,590 |
| 90 | | 100 | 12,05 | 0,429 | 13,05 | 10,461 | 13,65 | 6,270 |

CE = conductividad eléctrica

Tab. 10 Determinaciones de humedad y conductividad eléctrica en muestras de suelo

ca que las plantas no tienen problema con el abastecimiento de agua. El hecho de que los valores nocturnos no se ubican cerca de 1 bar confirma que el tipo de suelo, una arcilla limosa, la compactación y también el volumen de los poros serían factores limitantes que forzarían a las plantas a desarrollar una mayor capacidad de succión.

Las presiones osmóticas potenciales medidas en estas localidades reflejan los contenidos salinos del agua subterránea y/o del suelo. Estos valores están muy de acuerdo con los valores del agua subterránea medidos al mismo tiempo y/o de acuerdo con los valores de la conductividad del suelo, sin embargo, esto se refiere sólo para las zonas ubicadas directamente por encima del nivel del agua subterránea y en el margen capilar superior.

Según los resultados de las mediciones se puede aplicar, para estas localidades, y localidades parecidas, la metodología de medición a través del medio planta para la clasificación de ciertos parámetros del suelo, como humedad y contenido salino; así se podría facilitar enormemente la delimitación extensiva de unidades.

En un trayecto adyacente, comparable con las mismas coordenadas, se han medido conductividades eléctricas del suelo en profundidades entre 0 - 100 cm (en

| Valor max. | al mediodía | de noche |
|------------|-----------------|-----------------|
| 213 | 93,1 ± 69,7 (6) | 62,8 ± 47,0 (6) |

Tab. 11 Presión osmótica potencial del algodón (bar)

| Valor max. | al mediodía | de noche |
|------------|-------------|------------|
| 38,0 | 26,0 ± 8,4 | 10,4 ± 6,1 |

Tab. 12 Valores de la capacidad de succión del algodón (bar)

el suelo). Estos valores confirman aquellos medidos por MITLÖHNER (Tab. 10). Los valores decrecientes reflejan las presiones osmóticas potenciales en aumento, en consecuencia aumenta el contenido salino en el suelo (Tab. 11).

Los valores de la capacidad de succión determinados en el follaje por MITLÖHNER (Tab. 12) comprueban la situación de escasez de agua, observado en el campo y, también, los valores de humedad relativamente bajos en el suelo, medidos por el autor (Tab. 10), comprueban sus valores en general. Estos son

muy altos al mediodía y de noche (Tab. 12). El algodón sin daños visibles representa el estado más favorable de la humedad de suelo. En consecuencia, el algodón resulta como factor limitante para el suelo arcilloso y en menor escala los contenidos de sales relativamente altos.

Campo Loa

Para las localidades con menores profundidades del agua subterránea se podía confirmar la relación entre parámetros vegetales y la capacidad de succión vegetal interna así como la presión osmótica potencial por un lado, y por el otro la altura de elevación del agua subterránea salobre/dulce y la concentración salina del suelo era más difícil para la localidad Campo Loa con profundidades de aproximadamente 22 metros. Esta localidad está compuesta por un centro, un paleocauce de aproximadamente 1 km de ancho, con depósitos de sustratos arenosos -arenoso/limosos ("suelos de campo") de una delimitación septentrional y una sureña, compuesta de sustratos limosos -arcillosos (suelos de "monte"). El cuerpo arenoso se ve atravesado por un "cauce" de erosión, el así denominado "punto más profundo de la depresión", en donde escurren y percolan las aguas superficiales posteriores a las precipitaciones pluviales.

Capacidad de succión vegetal interna

Según las mediciones de MITLÖHNER los valores de la capacidad de succión medidos al mediodía de los árboles "pequeños" son relativamente altos y solo pocos árboles "altos" en el centro tienen también altos valores. Esto indica un déficit hídrico de estos árboles, favorecidos en el centro por el material de suelo arenoso y de un rápido agotamiento del agua que está al alcance de las plantas; pero esto significa también que estos árboles no alcanzarían con su sistema de raíces las reservas hídricas profundas. Todos los árboles en localidades marginales, probablemente enraizados ya en suelos tipo "monte" demuestran altos valores de la capacidad de succión, condicionados por el material de suelo arcilloso y así, indicarían un abastecimiento de agua más exigente. La mayoría de los árboles "grandes" en el centro poseen valores menores de la capacidad de succión vegetal. Esto podría ser un indicador de donde se logra un acceso directo al agua que se encuentra a mayores profundidades con plantas de raíces muy profundas. Excavaciones en zonas enraizadas para conocer la profundidad del enraizamiento fueron suspendidas al llegar a 2,50 m.

Todos los valores nocturnos de la capacidad de succión de los árboles "pequeños" son más bajos que los tomados al mediodía. Esto significa que estos árboles son capaces de abastecerse a pesar de condiciones

deficitarias con respecto a la saturación hídrica con agua procedente de la zona superior del suelo. Los árboles "altos" presentan valores nocturnos de la capacidad de succión muy parecidos a los valores de mediodía. Todos los árboles "altos" en el centro, con pocas excepciones, tienen acceso al agua del suelo, accesible a las plantas. Las ubicaciones marginales con los suelos arcillosos tipo "monte", indican un abastecimiento de agua dificultado por el sustrato edáfico, es decir, también los valores nocturnos de la capacidad de succión son relativamente altos y no existiría un acceso de las raíces al agua libremente accesible.

Presión osmótica potencial vegetal interna

A través de mediciones nocturnas y al mediodía de la presión osmótica potencial se llega a una conclusión con respecto a la calidad del agua aprovechada por la planta, de decir, se facilita una estimación del contenido salino de estas aguas.

Se realizaron investigaciones en dos árboles *Urundeuva* (N^o 62 y 67 del trayecto), con presiones osmóticas potenciales menores y mayores. La presión osmótica potencial (valor nocturno) resulta, en este caso, 4 bar y la presión osmótica potencial mayor, 17 bar. Sin embargo, se han realizado perforaciones en los alrededores directos de estos árboles, con una profundidad de 28 m. El material perforado se ha tomado en estratos a distancias de 75 cm y se determinó la humedad, el pH en suspensión y la conductividad eléctrica.

1. *Humedad*: la ubicación del árbol N^o 62, denominado "dulce", ha sido determinada como húmedo hasta 2, 25 m de profundidad, con valores de 10 %/peso.

La ubicación del árbol N^o 67, denominado "salino", también ha sido determinada como húmedo hasta 0,75 m, con valores de 10 %/peso. El material arenoso que siguió estaba seco hasta una profundidad de 21,75 m y luego ha sido encontrado mojado, con alrededor de 20 %/peso de agua con cambio de sustrato a limo arenoso-arcilloso. A partir de 22,50m cambió a material arenoso con una granulometría fina hasta mediana.

2. *Valores de pH*: en ambas perforaciones los valores de pH aumentaron de aproximadamente 7,5 en el suelo superior, a 9,0 a la profundidad del estrato de limo arenoso-arcilloso, para alcanzar en aproximadamente 28 m otra vez un pH de 8.

3. *Conductividad eléctrica*: hasta la profundidad de 21,75 m estaba libre de sales con valores de conductividad de 0,3 mS/cm 25 °C. No se han podido medir muestras de agua porque las paredes de la perforación se derrumbaban constantemente.

El árbol N° 67 (“ ”) no presentó sales hasta los 21, 75 m, presentando valores de conductividad desde 0,1 ms/cm 25 °C. También aquí no se podían tomar muestras de agua, por las mismas razones citadas en la descripción del árbol N° 62.

Las presiones osmóticas potenciales medidas para ambos árboles oscilan alrededor de 4 bar (valor nocturno), para el árbol N° 62 (“dulce”) y alrededor de 17 bar (valor nocturno) para el árbol N° 67 (“salino”). Los valores más altos para estos árboles, calculados a través de las mediciones de conductividad, se ubican alrededor de 2,3 y 4,3 bar, con esto por debajo de los valores de las mediciones realizadas con las hojas vegetales.

Si se estima que árboles “pequeños” no alcanzan el agua libremente accesible, pero los árboles “altos” sí, entonces el descenso de la presión osmótica potencial en dirección del centro de la cuenca indicado por los árboles “altos” es una conclusión lógica - no así la indicada por los árboles pequeños.

Las presiones osmóticas potenciales altas de los árboles “pequeños” se mantienen, tanto al mediodía como a la noche, en un nivel relativamente alto. En la parte más profunda del lugar habitado se quita agua de un pozo. Se estima que aquí se encuentra el punto más “dulce” del cuerpo arenoso.

5 RESUMEN

Determinaciones de la capacidad de succión y de la presión osmótica potencial de la vegetación están bien relacionados con los resultados de las investigaciones edafológicas con respecto a la humedad y del contenido salino. Por esto, pueden servir como buen complemento y apoyo para las investigaciones edafológicas. Tendrían que ser aplicadas y observadas en forma acompañante.

Investigaciones adicionales parecen aconsejables en el tema de las variaciones de la humedad, del estado salino y en consecuencia, los cambios que ocurren en las raíces en el medio “suelto”.

6 CONCLUSIONES

Sin tener en cuenta los daños de salinización ocasionados por desmonte, surgidos debido a la quema de la biomasa y/o debido a la destrucción de los hormigueros muy salinos, pueden surgir daños posteriores. Se pueden sacar las siguientes conclusiones en base a la evaluación de los parámetros edafológicos medidos en las localidades de investigación:

1. La transformación en el uso de la tierra del matorral xerófito para pasturas mediante el desmonte extensivo modifica las características de las locali-

dades. Esto causa que las precipitaciones caigan directamente, y sin impedimento, en la superficie. La evaporación en estas superficies abiertas es considerablemente mayor que bajo una cobertura de bosque y por ello es mayor el peligro de una salinización del suelo debido a que las sales suben a través del ascenso capilar.

2. Con las frecuentes lluvias ocurre un sellado en la superficie del suelo en áreas desmontadas, produciendo una disminución de las cavidades del suelo y por consiguiente, de la infiltración.
3. El pastoreo del ganado vacuno en suelos húmedos lleva a una compactación del horizonte superior por las pisadas y, con ello a una reducción de la infiltración cuando se cierran las grietas o rajaduras. Además aumenta considerablemente la resistencia de penetración para las raíces de las plantas.
4. Debido al rápido secado de la superficie de pastoreo, los horizontes superiores se quiebran en prismas grandes formando grietas y rajaduras que llegan hasta los horizontes inferiores húmedos (alrededor de 1,30 a 1,50 m). La penetración de precipitaciones lleva a un ascenso del nivel de las aguas subterráneas o del borde capilar hasta el área de enraizamiento o la superficie del suelo ocasionando un aumento de la concentración de sales. A consecuencia de ello surge un serio peligro para las plantas cultivadas.
5. La evaluación de los diversos parámetros medidos lleva a la conclusión que se puede justificar un cambio de la utilización de la tierra (desmonte para ampliar las superficies agrícolas) sólo en donde el nivel de las aguas subterráneas se encuentre a 2 m como mínimo.

La modificación de la utilización, desmonte de toda la vegetación del matorral xerófito e implantación de pasturas, lleva a un empeoramiento drástico de la situación de las actividades agropecuarias, especialmente de la ganadería. Sólo es cuestión de tiempo cuándo, debido a influencias climáticas, surgen daños por o hasta pérdidas salinización.

7 FUTURAS NECESIDADES DE INVESTIGACION

Ensayos con franjas de árboles y/o islas, como los que se vienen realizando en la Estación Experimental Chaco Central (EECC) en el Cruce de los Pioneros en un proyecto financiado por la GTZ, podrían mantener cierto equilibrio (natural), a pesar de que según trabajos australianos y propios es dudoso que hasta grandes superficies de bosques naturales estarían en

condiciones de regular el flujo de aguas subterráneas de pasturas vecinas. Debe excluirse una irrigación en esta región, dado que por la falta de drenabilidad se aceleraría el proceso de salinización mediante un rápido ascenso del nivel freático. La introducción de especies de pasto tolerantes a la sal podría significar un mejoramiento a largo plazo en las zonas ya dañadas, en las cuales la distancia «crítica» del nivel del agua subterránea a la superficie se ubica justo en el área límite.

Para la futura planificación y desde el punto de vista edafológico, son importantes los siguientes aspectos:

1. Aporte edafológico para la determinación del intervalo de la isolínea del agua subterránea a 2 m de profundidad, en el límite occidental de la franja salinizada (junto con Agua para el Chaco y EECC), para una determinación de superficies potencialmente en peligro y no apeligradas. Asesora-
2. Asesoramiento a los técnicos paraguayos en la evaluación de las unidades de suelo en peligro de salinización y apoyo para la determinación del límite oriental de la franja salinizada en el Bajo Chaco. Investigación de los mecanismos de salinización; la determinación del límite es útil para la identificación de áreas con peligro de salinización y áreas que no serían afectadas. Para una futura planificación se precisa la representación de los resultados en un mapa de planificación y uso de la tierra.
3. Introducción y capacitación de técnicos paraguayos en la recolección y evaluación de parámetros de vegetación y su relación con valores de suelos y aguas subterráneas.

Hannover, Diciembre de 1995

M. Nitsch

1.2

Valores de análisis de suelo

Unidad de investigaciónEstancia **Iparoma, Campo (IpaCa)****Fecha de muestreo**

12.05.1994

Conductividad eléctrica de una muestra de saturación y pH en una suspensión de 1 : 2,5

| Profundidad (cm) | EC (MS/cm a la 25°C) | pH de H ₂ O |
|------------------|----------------------|------------------------|
| 0 - 50 | 4,851 | 7,41 |
| 50 - 100 | 11,880 | 7,78 |
| 100 - 150 | 12,342 | 7,78 |
| 150 - 200 | 10,362 | 7,68 |
| 200 - 300 | 10,593 | 7,82 |
| 300 - 400 | 7,359 | 7,64 |
| 400 - 500 | 8,349 | 7,67 |
| 500 - 600 | 5,478 | 7,83 |
| 600 - 700 | 2,178 | 8,52 |
| 700 - 800 | 1,056 | 8,91 |
| 800 - 900 | 1,056 | 8,69 |
| 900 - 1000 | 0,495 | 8,72 |
| 1000 - 1100 | 0,957 | 8,60 |
| 1100 - 1200 | 0,759 | 8,68 |
| 1200 - 1300 | 3,201 | 8,25 |
| 1300 - 1400 | 2,937 | 8,19 |
| 1400 - 1500 | 3,993 | 8,12 |
| 1500 - 1600 | 4,917 | 8,19 |
| 1600 - 1700 | 6,765 | 8,32 |
| 1700 - 1800 | 6,402 | 8,24 |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fecha Hora | 16.11.94 10.48 | 03.12.94 16.05 | 14.12.94 10.31 | 06.01.95 16.00 | 08.01.95 | 12.01.95 | 16.01.95 | 17.01.95 | 21.01.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | 3,26 | 3,24 | 3,27 | 3,37 | | | | | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | 70.100 | 69.900 | 69.800 | 69.400 | | | | | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | | | | |
| Precipitación [mm] | | | | | 10 | 7 | 11 | 5 | 6 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|----------|
| Fecha Hora | 25.01.95 | 28.01.95 | 17.02.95 8.00 | 22.02.95 | 23.02.95 | 24.02.95 | 06.03.95 12.00 | 17.03.95 10.50 | 19.03.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | | 2,17 | | | | 3.08 | 3,15 | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | | | 64.200 | | | | 64.000 | 60.000 | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | | 7,2 | 7,1 | |
| Precipitación [mm] | 19 | 77 | 1.-20.02. ninguna medición | 5 | 2 | 26 | | | 4 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|
| Fecha Hora | 20.03.95 | 21.03.95 | 22.03.95 | 24.03.95 | 28.03.95 11.00 | 29.03.95 | 31.03.95 | 11.04.95 12.30 | 17.04.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | | | | 3,21 | | | 3,33 | |
| Conductividad eléctrica* [μS/cm a la 25°C] | | | | | 57.600 62.100 | | | 59.300 61.400 | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | 7,2 | | | 7,2 | |
| Precipitación [mm] | 35 | 4 | 5 | 1 | 34 | 9 | 2 | | 10 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| Fecha Hora | 18.04.95 | 19.04.95 | 20.04.95 12.55 | 06.05.95 8.10 | 10.05.95 11.00 | 18.05.95 13.35 | 22.05.95 11.50 | 24.05.95 13.50 | |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | | 3,33 | 3,17 | 3,12 | 3,00 | 2,93 | 2,92 | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | | | 58.800 61.100 | 35.600 59.400 | 57.400 57.400 | 57.700 59.600 | 57.200 59.100 | 41.600 59.600 | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | 7,2 | 6,4 | 7,2 | | | | |
| Precipitación [mm] | 43 | 4 | 1 | Lluvia; ninguna medición durante este tiempo | | | | | |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | Inunda- ción | | | | | |

* El valor superior corresponde a la superficie del agua subterránea y el inferior es a 50 cm por debajo de la misma

2.2

Descripción de perfiles de suelo de la unidad “pastura” (según “Bodenkundlicher Kartieranleitung“ - KA 3)

Responsable M.Nitsch
Fecha 22.07.1994
Coordenadas S 22°33'01” W 059°44'35”
Ubicación Lindendorf,, Wilhelm Krahn, Monte (**LiKraMo**)
Topografía plano
Posición de perfil de suelo plano
Uso de la tierra Monte
Erosión no
Profundidad de agua subterránea 2,76 m
Tipo de suelo según sistema FAO Solonetz gypico (SNy)

| Profundidad (cm) | Horizontes seg. FAO | Textura de mano | Color seg. MUNSELL (húmedo) | M.O. (%) | Informaciones suplementarias | | | Humedad | Consistencia | Raigambre | Mezclar, Cubierta | Estructura de Suelo | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------------|---------------|----------|---------|---------------|---------------------|-------------------|--|----------------------------------|
| | | | | | Hierro, Manganeso | Carbonato (%) | Yeso (%) | | | | | Formato, Manera de Posición, Consolidación | Tamaño, Huecos, Grado de Grietas |
| 00 - 17 | AE | Tu2 - (Tu3) | 7,5 YR 5/6 | 1 - 2 | | no | | sew | firme (duro) | fuerte - muy fuerte | | koh 4, La3, Vf 3 | Gri 3 |
| 17 - 33 | EBw | Tu2 - Tu3 | 5 YR 3/4 | | | no | | humedo | medio | medio | | koh 3, La3, Vf 3 | Gri 3 |
| 33 - 63 | Bnw | Tu4 | 5 YR 4/4 | | | 7 - 10 | | sew | firme (duro) | fuerte | | pri 3 - pol 2, La 2 - 3, Vf4 - 5 | Gri 2 |
| 63 - 90 | Bln1 | Tu2 | 5 YR 4/4 - 4/6 | | | 10 - 25 | 2 - 5 | sew | duro muy duro | | | pri 4 - pol 2, La 2 - 3, Vf 4 | Gri 2 |
| 90 - 160 | Bln2 | Tu2 - Tu3 | 5 YR 4/6 | | | 10 - 25 | | sew | firme (duro) | | | pri 3 - 4 - pol 3 La 2 - 3, Vf 3 | Gri 2 |
| 160 - 180 | Cn | Tu2 - Tu3 | 7,5 YR 5/4 4/4 | | | | 2 - 4 | | | | | | |
| 180 - 220 + | Cgny | Tu2 - Tu3 | 5 YR 5/4 - 4/4 | | en conrec. sueltas | <0,5 | 1 - 2 | | | | | | |

Descripción de perfiles de suelo de la unidad “monte” (según “Bodenkundlicher Kartieranleitung“ - KA 3)

| Profundidad (cm) | Horizontes seg. FAO | Textura de mano | Color seg. MUNSELL (húmedo) | M.O. (%) | Informaciones suplementarias | | | Humedad | Consistencia | Raigambre | Mezclar, Cubierta | Estructura de Suelo | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------------|---------------|----------|-------------|---------------|---------------------|-------------------|--|----------------------------------|
| | | | | | Hierro, Manganeso | Carbonato (%) | Yeso (%) | | | | | Formato, Manera de Posición, Consolidación | Tamaño, Huecos, Grado de Grietas |
| 00 - 17 | AE | Tu2 - (Tu3) | 7,5 YR 5/6 | 1 - 2 | | no | | sew | firme (duro) | fuerte - muy fuerte | | Vf 4 | Gri 3 |
| 17 - 33 | EBw | Tu2 - Tu3 | 5 YR 3/4 | | | no | | flaw humedo | medio | medio | | koh 3, La 3, Vf 3 | Gri 3 |
| 33 - 63 | Bnw | Tu4 | 5 YR 4/4 | | | 7 - 10 | | sew | firme (duro) | fuerte | | pri 3 - pol 2, La 2 - 3, Vf4 - 5 | Gri 2 |
| 63 - 90 | Bln1 | Tu2 | 5 YR 4/4 - 4/6 | | | 10 - 25 | 2 - 5 | sew | duro muy duro | flaw | | pri 4 - pol 2, La 2 - 3, Vf 4 | Gri 2 |
| 90 - 160 | Bln2 | Tu2 - Tu3 | 5 YR 4/6 | | | 10 - 25 | | sew | firme (duro) | flaw | | pri 3 - 4 - pol 3 La 2 - 3, Vf 3 | Gri 2 |
| 160 - 180 | Cn | Tu2 - Tu3 | 7,5 YR 5/4 4/4 | | | | 2 - 4 | | | flaw | | | |
| 180 - 220 + | Cgny | Tu2 - Tu3 | 5 YR 5/4 - 4/4 | | en conrec. sueltas | <0,5 | 1 - 2 | | | flaw | | | |

2.3

Valores de los análisis físicos del suelo

Ubicación

Lindendorf, Wilhelm Krahn

Unidad de investigación

Monte (LiKraMo)

Coordenadas

S 22° 33' 01'' W 059° 44' 36''

Responsable

M. Nitsch

Fecha de muestreo

10.05.1995

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | pF 1,8 = 60 cm ³ = 5,874 kPa | pF 2,0 = 100 cm ³ = 9,79 kPa | pF 2,3 = 200 cm ³ = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 15 000 cm ³ = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB: dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|------------------------|---|---|--|---|--|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| cm | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vd. % | |
| 5 - 10 | 19,61 | 32,48 | | | 28,07 | 16,73 | 1,35 | 49,22 | |
| 10 - 15 | 21,03 | 32,67 | | | 28,72 | 17,19 | 1,36 | 48,61 | |
| 15 - 20 | 28,46 | 36,01 | | | 33,28 | 21,47 | 1,45 | 45,15 | |
| 20 - 25 | 25,39 | 34,20 | | | 31,72 | 21,64 | 1,43 | 46,22 | |
| 35 - 40 | 38,87 | 41,53 | | | 38,74 | 25,61 | 1,42 | 46,46 | |
| 40 - 45 | 42,79 | 43,87 | | | 40,32 | 23,58 | 1,36 | 48,53 | |
| 55 - 60 | 34,70 | 38,61 | | | 36,03 | 23,74 | 1,49 | 43,79 | |
| 60 - 65 | 34,99 | 37,90 | | | 36,08 | 24,37 | 1,54 | 42,02 | |
| 75 - 80 | 32,64 | 37,03 | | | 33,62 | 19,89 | 1,57 | 40,88 | |
| 80 - 85 | 32,54 | 36,41 | | | 33,79 | 20,51 | 1,62 | 39,03 | |
| 95 - 100 | 36,22 | 39,22 | | | 37,01 | 23,80 | 1,55 | 41,78 | |
| 100 - 105 | 34,23 | 39,16 | | | 36,08 | 23,20 | 1,53 | 42,27 | |
| 115 - 120 | 35,58 | 40,45 | | | 36,74 | 22,90 | 1,56 | 41,15 | |
| 120 - 125 | 34,47 | 39,87 | | | 36,56 | 22,54 | 1,58 | 40,46 | |
| 135 - 140 | 34,83 | 8,29 | | | 35,16 | 24,73 | 1,60 | 39,57 | |
| 140 - 145 | 34,03 | 38,34 | | | 35,27 | 25,36 | 1,61 | 39,43 | |
| 155 - 160 | 34,32 | 38,75 | | | 35,76 | 30,66 | 1,58 | 40,41 | |
| 160 - 165 | 34,99 | 40,03 | | | 36,83 | 31,81 | 1,62 | 39,02 | |
| 175 - 180 | 34,28 | 38,77 | | | 35,82 | 28,65 | 1,61 | 39,25 | |
| 180 - 185 | 35,42 | 40,04 | | | 37,13 | 30,17 | 1,62 | 38,80 | |
| 195 - 200 | 35,92 | 40,84 | | | 38,43 | 28,43 | 1,65 | 37,78 | |
| 200 - 205 | 32,11 | 37,81 | | | 36,01 | 25,71 | 1,52 | 42,61 | |
| 215 - 220 | 34,58 | 40,13 | | | 38,03 | 30,86 | 1,72 | 34,94 | |
| 220 - 225 | 32,65 | 37,87 | | | 34,98 | 28,18 | 1,68 | 36,60 | |
| 235 - 240 | 30,72 | 35,33 | | | 32,78 | 26,79 | 1,72 | 34,96 | |
| 240 - 245 | 28,14 | 34,54 | | | 31,46 | 23,42 | 1,62 | 38,85 | |

2.4

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación**Lindendorf, Wilhelm Krahn****Unidad de investigación****Monte (LiKraMo)****Fecha de muestreo****29.06.1994**

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25° C) | pH en H ₂ O 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--|------|------|------|-------|
| | | | | | | | | mmol/z/100 g de suelo | | | | |
| 00 - 17 | 0,792 | 5,7 | 8,29 | 20,34 | 20,45 | 13,20 | 64,91 | 7,97 | 4,44 | 0,55 | 0,23 | 7,25 |
| 17 - 33 | 2,046 | 6,8 | 21,35 | 21,11 | 21,03 | 18,28 | 86,56 | 9,14 | 7,30 | 0,53 | 1,29 | 2,75 |
| 33 - 63 | 7,392 | 7,8 | 8,62 | 18,10 | 19,20 | 19,20 | 106,06 | 9,24 | 8,12 | 0,55 | 3,52 | -2,25 |
| 63 - 90 | 12,375 | 7,9 | 16,87 | 0,00 | 20,09 | 20,09 | | 10,59 | 7,22 | 0,46 | 4,56 | -2,75 |
| 90 - 60 | 10,923 | 8,0 | 17,51 | 15,87 | 20,04 | 20,04 | 126,22 | 10,69 | 6,06 | 0,36 | 5,16 | -2,25 |
| 160 - 180 | 12,672 | 7,9 | 17,82 | 16,80 | 18,74 | 18,74 | 111,56 | 6,89 | 6,39 | 0,38 | 6,06 | -1,00 |
| 180 - 220 + | 12,705 | 8,0 | 16,27 | 9,10 | 18,16 | 18,16 | 199,40 | 6,39 | 5,49 | 0,37 | 7,14 | -1,25 |

| | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fecha Hora | 03.12.94 16.00 | 14.12.94 10.20 | 06.01.95 16.05 | 08.01.95 | 12.01.95 | 16.01.95 | 17.01.95 | 21.01.95 | 25.01.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | 3,26 | 3,28 | 3,40 | | | | | | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | 30.500 | 30.800 | 31.300 | | | | | | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | 10 | 7 | 11 | 5 | 6 | 19 |
| Precipitación [mm] | | | | | | | | | |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|----------|----------------------------------|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|----------|----------|
| Fecha Hora | 28.01.95 | 17.02.95 8.10 | 22.02.95 | 23.02.95 | 24.02.95 | 06.03.95 12.10 | 17.03.95 10.45 | 19.03.95 | 20.03.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | 3,07 | | | | 2,97 | 3,08 | | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | | 6.200 12.200 | | | | 4.300 | 6.200 | | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | 7,2 | 7,2 | | |
| Precipitación [mm] | 77 | 1.-20.02. ninguna medición | 5 | 2 | 26 | | | 4 | 35 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | nuevo pozo | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| Fecha Hora | 21.03.95 | 22.03.95 | 24.03.95 | 28.03.95 11.05 | 29.03.95 | 31.03.95 | 11.04.95 12.40 | 17.04.95 | 18.04.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | | | 3,10 | | | 3,16 | | |
| Conductividad eléctrica* [μS/cm a la 25°C] | | | | 6.100 | | | 3.100 | | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | 7,1 | | | 7,3 | | |
| Precipitación [mm] | 4 | 5 | 1 | 34 | 9 | 2 | | 10 | 43 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|----------|-------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| Fecha Hora | 19.04.95 | 20.04.95 13.05 | 06.05.95 8.20 | 10.05.95 11.05 | 18.05.95 13.30 | 22.05.95 11.45 | 24.05.95 13.45 | | |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | 3,27 | 2,53 | 2,94 | 2,62 | 2,79 | 2,81 | | |
| Conductividad eléctrica* [μS/cm a la 25°C] | | 2.950 | 1.700 600 | 1.620 | 5.200 6.300 | 5.400 | 5.670 | | |
| Valor de pH del agua subterránea | | 7,3 | 7,6 | 7,9 | | | | | |
| Precipitación [mm] | 4 | 1 | Lluvia; ninguna medición durante este tiempo | | | | | | |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | Inunda- ción | | | | | | |

* El valor superior corresponde a la superficie del agua subterránea y el inferior es a 50 cm por debajo de la misma

3.3

Valores los análisis físicos del suelo

Ubicación**Lindendorf, Wilhelm Krahn****Unidad de investigación****Pastura (LiKraPa)****Coordenadas****S 22° 33' 01'' W 059° 44' 36''****Responsable****M. Nitsch****Fecha de muestreo****06.05.1995**

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | pF 1,8 = 60 cm ³ = 5,874 kPa | pF 2,0 = 100 cm ³ = 9,79 kPa | pF 2,3 = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB: dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|------------------------|---|---|------------------------|---|------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| cm | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vol. % | |
| 5 - 10 | 33,00 | 33,01 | | | 28,66 | 15,65 | 1,46 | 44,76 | |
| 10 - 15 | 31,94 | 32,59 | | | 30,77 | 15,66 | 1,45 | 45,34 | |
| 15 - 20 | 27,93 | 30,95 | | | 30,63 | 19,92 | 1,54 | 41,89 | |
| 20 - 25 | 23,04 | 32,35 | | | 31,40 | 20,74 | 1,65 | 37,57 | |
| 35 - 40 | 15,93 | 31,69 | | | 27,69 | 17,29 | 1,45 | 45,25 | |
| 40 - 45 | 17,99 | 33,70 | | | 30,10 | 18,05 | 1,62 | 39,05 | |
| 55 - 60 | 29,50 | 33,66 | | | 29,98 | 18,72 | 1,61 | 39,13 | |
| 60 - 65 | 28,11 | 33,39 | | | 28,67 | 17,96 | 1,55 | 41,41 | |
| 75 - 80 | 32,66 | 35,65 | | | 32,32 | 15,72 | 1,62 | 38,88 | |
| 80 - 85 | 32,31 | 35,19 | | | 31,69 | 15,45 | 1,64 | 38,12 | |
| 95 - 100 | 28,79 | 32,87 | | | 27,60 | 13,50 | 1,59 | 39,93 | |
| 100 - 105 | 28,62 | 32,22 | | | 27,20 | 13,00 | 1,60 | 39,52 | |
| 115 - 120 | 29,28 | 33,55 | | | 29,46 | 16,00 | 1,59 | 40,18 | |
| 120 - 125 | 31,66 | 35,58 | | | 31,69 | 16,34 | 1,60 | 39,49 | |
| 135 - 140 | 32,98 | 36,11 | | | 32,15 | 19,08 | 1,42 | 46,46 | |
| 140 - 145 | 34,86 | 39,24 | | | 36,56 | 17,85 | 1,55 | 41,61 | |
| 155 - 160 | 30,87 | 37,67 | | | 34,73 | 23,74 | 1,57 | 40,68 | |
| 160 - 165 | 30,21 | 39,63 | | | 36,56 | 21,74 | 1,50 | 43,36 | |
| 175 - 180 | 26,22 | 38,69 | | | 35,24 | 22,09 | 1,28 | 51,74 | |
| 180 - 185 | 30,30 | 39,11 | | | 36,60 | 28,37 | 1,51 | 43,02 | |
| 195 - 200 | 32,84 | 40,50 | | | 38,22 | 28,66 | 1,60 | 39,72 | |
| 200 - 205 | 32,52 | 40,89 | | | 38,56 | 27,75 | 1,55 | 41,47 | |
| 215 - 220 | 35,51 | 40,12 | | | 38,99 | 29,63 | 1,66 | 37,46 | |
| 220 - 225 | 30,44 | 38,76 | | | 38,88 | 27,63 | 1,46 | 44,80 | |
| 235 - 240 | 30,33 | 34,83 | | | 32,73 | 22,88 | 1,74 | 34,29 | |
| 240 - 245 | 27,20 | 32,98 | | | 30,68 | 22,30 | 1,65 | 37,72 | |

3.4

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación

Lindendorf, Wilhelm Krahn

Unidad de investigación

Pastura (LiKraPa)

Fecha de muestreo

12.07.1994

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25° C) | pH en 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|---|-----------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--|------|------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | mmol/z/100 g de suelo | | % | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| 00 - 11 | 0,561 | 6,2 | 13,31 | 15,91 | 15,93 | 10,18 | 64,91 | 6,26 | 3,16 | 0,72 | 0,03 | 5,75 |
| 11 - 33 | 0,429 | 5,8 | 13,64 | 15,31 | 15,17 | 9,67 | 63,15 | 5,30 | 3,88 | 0,37 | 0,11 | 5,50 |
| 33 - 60 | 0,627 | 6,7 | 16,00 | 16,80 | 15,79 | 13,79 | 82,11 | 7,47 | 5,57 | 0,55 | 0,19 | 2,00 |
| 60 - 73/90 | 0,792 | 7,6 | 17,06 | 16,80 | 16,39 | 15,39 | 91,65 | 9,33 | 5,24 | 0,62 | 0,20 | 1,00 |
| 73/90 - 145 | 5,214 | 7,7 | 14,82 | 0,00 | 18,51 | 18,51 | | 15,61 | 3,74 | 0,45 | 0,44 | -1,75 |
| 145 - 175 | 7,755 | 7,8 | 16,27 | 0,00 | 18,99 | 18,99 | | 10,96 | 6,06 | 0,39 | 2,56 | -1,00 |
| 175 - 220 + | 9,207 | 7,8 | 14,77 | 11,88 | 14,46 | 14,46 | 121,71 | 4,27 | 6,23 | 0,33 | 4,36 | -0,74 |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|------------------|
| Fecha Hora | 22.07.94 10.45 | 25.07.94 9.33 | 26.07.94 9.45 | 27.07.94 9.35 | 28.07.94 9.20 | 09.08.94 | 10.08.94 10.40 | 16.08.94 12.45 | 31.08.94 9.13 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | 2,28 | 2,28 | 2,29 | 2,30 | 2,30 | | 2,36 | 2,37 | 2,42 |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | 62.600 | 55.200 | 54.000 | 53.800 | 54.000 | | 54.000 | 54.000 | 54.100 |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | | | | |
| Precipitación [mm] | 1,5 | | | | | 8,9 | | | |
| Evaporación [mm/d] | 5 | 5 | 1 | 4 | 5 | | 25 | 15 | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|----------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------|
| Fecha Hora | 14.09.94 9.55 | 28.09.94 9.15 | 12.10.94 9.16 | 30.10.94 | 16.11.94 9.20 | 03.12.94 10.55 | 14.12.94 9.10 | 06.01.95 14.47 | 12.01.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | 2,46 | 2,47 | 2,36 | 2,22 | 2,21 | 2,37 | 2,39 | 2,54 | |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | 54.000 | 54.100 | 59.000 | 59.200 | 59.000 | 59.000 | 59.200 | 59.400 | |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | | | | |
| Precipitación [mm] | | | | | | | | | 35 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|------------------|
| Fecha Hora | 22.01.95 | 24.01.95 | 27.01.95 | 28.01.95 14.00 | 29.01.95 | 31.01.95 | 06.02.95 14.05 | 08.02.95 | 09.02.95 9.00 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | | | 2,58 | | | 2,55 | | 2,61 |
| Conductividad eléctrica[μS/cm a la 25°C] | | | | 56.500 | | | 54.900 58.100 | | 56.000 57.600 |
| Valor de pH del agua subterránea | | | | | | | | | 7,5 |
| Precipitación [mm] | 34 | 22 | 22 | | 9 | 9 | | 55 | |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|----------|
| Fecha Hora | 14.02.95 15.10 | 16.02.95 16.00 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 13.20 | 06.03.95 9.10 | 08.03.95 | 15.03.95 11.00 | 20.03.95 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | 2,62 | 2,62 | | | 2,18 | 2,11 | | 2,10 | |
| Conductividad eléctrica * [μS/cm a la 25°C] | 56.400 57.200 | 55.800 56.900 | | | 50.300 54.700 | 52.500 55.000 | | 28.100 53.300 | |
| Valor de pH del agua subterránea | 7,1 | | | | | 7,6 | | 7,7 | |
| Precipitación [mm] | | | 33 | 33 | | | 6 | | 20 |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------|----------|----------|------------------|
| Fecha Hora | 21.03.95 | 23.03.95 9.45 | 28.03.95 13.55 | 07.04.95 8.30 | 10.04.95 8.50 | 17.04.95 | 18.04.95 | 19.04.95 | 20.04.95 9.00 |
| Profundidad del nivel de agua subterránea m] | | 2,04 | 2,12 | 2,26 | 2,29 | | | | 2,16 |
| Conductividad eléctrica [μS/cm a la 25°C] | | 50.400 54.500 | 52.700 | 51.000 53.000 | 50.500 53.300 | | | | 50.000 51.900 |
| Valor de pH del agua subterránea | | 7,7 | 7,7 | 7,6 | 7,7 | | | | 7,7 |
| Precipitación [mm] | 20 | | | | | 80 | 10 | 70 | |
| Evaporación [mm/d] | | | | | | | | | |
| Suplementario | | | | | | | | | |

* El valor superior corresponde a la superficie del agua subterránea y el inferior es a 50 cm por debajo de la misma

4.2

Conductividad del suelo (mediciones con sensor)

Ubicación

Estancia Santa Sofia, Monte

Responsable

M. Nitsch

Coordenadas

S 22° 45' 58'' W 059° 25' 58''

| Fecha Hora | 08.02.95 11.00 | 10.02.95 14.45 | 14.02.95 13.40 | 16.02.95 13.40 | 19.02.95 | 22.02.95 | 27.02.95 14.30 | 01.03.95 9.00 | 02.03.95 9.30 | 06.03.95 8.30 | 10.03.95 | 15.03.95 10.45 | 16.03.95 10.00 | 20.03.95 | 23.03.95 9.15 | 28.03.95 13.40 |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|----------|------------------|-------------------|
| Profundid. [cm] | Conductividad en MS/cm a 25°C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | 2,2 | 1,5 | 1,2 | | | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | | 1,2 | 1,2 | | 1,0 | 1,2 |
| 20 | | 2,1 | 1,5 | 1,5 | | | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | | 1,5 | 1,2 | | 1,0 | 1,2 |
| 40 | | 4,0 | 7,6 | 7,8 | | | 11,5 | 13,0 | 14,3 | 16,0 | | 15,8 | 15,7 | | 15,3 | 15,0 |
| 60 | | 6,3 | 22,0 | 20,5 | | | 24,5 | 26,0 | 26,0 | 27,0 | | 30,0 | 30,0 | | 30,0 | 30,5 |
| 80 | | 9,0 | 24,0 | 24,0 | | | 40,0 | 44,0 | 45,0 | 43,0 | | 42,0 | 45,0 | | 42,0 | 4,0 |
| 100 | | 12,7 | 34,0 | 35,0 | | | 38,5 | 41,7 | 50,0 | 50,0 | | 50,0 | 50,0 | | 50,0 | 50,0 |
| 120 | | 21,0 | 45,5 | 45,5 | | | 28,0 | 23,5 | 22,5 | 20,0 | | 18,9 | 18,8 | | 19,5 | 22,0 |
| 140 | | 10,5 | 32,0 | 40,0 | | | 38,0 | 30,0 | 28,0 | 27,0 | | 30,0 | 29,0 | | 32,0 | 33,0 |
| 160 | | 13,5 | 38,0 | 40,0 | | | 45,5 | 45,0 | 50,0 | 47,0 | | 45,0 | 45,0 | | 45,0 | 43,0 |
| 180 | | 18,0 | 40,0 | 48,0 | | | 45,5 | 45,0 | 50,0 | 49,0 | | 50,0 | 50,0 | | 50,0 | 50,0 |
| 200 | | 28,0 | 45,5 | 50,0 | | | 40,0 | 45,0 | 50,0 | 50,0 | | 52,0 | 51,0 | | 50,0 | 51,0 |
| 220 | | 29,0 | 28,0 | 28,0 | | | 34,0 | 40,0 | 38,0 | 40,0 | | 42,0 | 43,0 | | 45,0 | 50,0 |

| Fecha Hora | 07.04.95 8.10 | 10.04.95 8.35 | 17.04.95 | 18.04.95 | 19.04.95 | 20.04.95 9.50 | 27.04.95 | 02.05.95 | 05.05.95 15.30 | 09.05.95 10.20 | 15.05.95 | 16.05.95 | 17.05.95 | 18.05.95 9.35 | 22.05.95 9.25 | 25.05.95 11.35 |
|--------------------|-------------------------------|------------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|------------------|------------------|-------------------|
| Profundid. [cm] | Conductividad en MS/cm a 25°C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1,2 | 1,2 | | | | 1,0 | | | | 1,2 | | | | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 20 | 1,2 | 1,2 | | | | 1,0 | | | | 1,2 | | | | 1,7 | 1,5 | 1,4 |
| 40 | 12,9 | 12,2 | | | | 12,5 | | | | 16,7 | | | | 17,3 | 18,0 | 18,5 |
| 60 | 28,0 | 27,0 | | | | 27,0 | | | | 42,0 | | | | 45,0 | 46,0 | 46,0 |
| 80 | 28,0 | 27,0 | | | | 30,0 | | | | 45,0 | | | | 42,0 | 41,0 | 40,0 |
| 100 | 50,0 | 45,0 | | | | 41,0 | | | | 50,0 | | | | 50,0 | 48,0 | 50,0 |
| 120 | 9,2 | 8,6 | | | | 23,0 | | | | 27,0 | | | | 19,4 | 17,6 | 18,2 |
| 140 | 36,0 | 36,0 | | | | 34,0 | | | | 29,0 | | | | 22,5 | 18,0 | 17,2 |
| 160 | 43,0 | 42,0 | | | | 42,0 | | | | 41,0 | | | | 36,0 | 33,0 | 31,0 |
| 180 | 50,0 | 50,0 | | | | 50,0 | | | | 47,0 | | | | 45,0 | 46,0 | 45,0 |
| 200 | 52,0 | 50,0 | | | | 50,0 | | | | 50,0 | | | | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| 220 | 46,0 | | 48,0 | | | | | | | 50,0 | | | | 50,0 | 50,0 | 50,0 |

4.3

Descripción de perfiles de suelo de la unidad “monte” (según “Bodenkundlicher Kartieranleitung” - KA 3)

Responsable M.Nitsch
Fecha 14.06.1994
Coordenadas S 22° 45' 42'' W 059° 25' 58''
Ubicación Estancia **Santa Sofia, Monte (SaSoMo)**
Topografía plano
Posición de perfil de suelo plano
Uso de la tierra Monte
Erosión no
Profundidad de agua subteranea 2,28 m
Tipo de suelo segun sistema FAO Solonetz gypico (SNy)

| Profundidad (cm) | Horizontes seg. FAO | Textura de mano | Color seg. MUNSELL (húmedo) | M.O. (%) | Informaciones suplementarias | | | Humedad | Consistencia | Raigambre | Mezclar, Cubierta | Estructura de Suelo | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|------------|------------------------------|---------------|----------|-------------|--------------|---------------------|-------------------|--|---------------------------------|
| | | | | | Hierro, Manganeso | Carbonato (%) | Yeso (%) | | | | | Formato, Tamaño, Manera de Posición, Consolidación | Vetas, Huecos, Grado de Grietas |
| 00 - 19 | AE | Tu4 - Tu3 | 10 YR 3/3 | 2 - 4 | | no | | flao húmedo | medio firme | fuerte - muy fuerte | | pol 5 - 20, La 3, Vf 4 | Gri 2 |
| 19 - 38 | EBnw | Tu3 | 5 YR 3/4 | <1 | | no | | húmedo | tieso | fuerte | | pol 5 - 20, La 3, Vf 3 | Gri 1 |
| 38 - 69 | Btry1 | Tu2 | 5 YR 3/4 | | | 4 - 7 | 1 - 2 | húmedo | tieso | medio | | pol 5 - 20, La 2, Vf 3 | Gri 1 |
| 69 - 102 | Btn | Tu2 | 5 YR 4/4 | | | 4 - 7 | | flao húmedo | medio firme | medio | | pol 2 - 20, La 2, Vf 3 - 2 | Gri 1 |
| 102 - 120 | Btry2 | Tu 2 - 3 | 5 YR 4/3 | | | 0,5 - 2 | 2 - 5 | húmedo | tieso | flao | | pol 2 - 20, La 2, Vf 3 - 2 | Gri 1 |
| 120 - 185 | Crg1 | Tu 2 - 3 | 5 YR 4/6 | | Fe en áreas | no | | | | | | | |
| 185 - 210 + | Crg2 | Tu 2 - 3 | 5 YR 4/4 | en grietas | Fe en áreas | 4 - 7 | | | | | | | |

4.4

Valores de los análisis físicos del suelo

Ubicación

Estancia Santa Sofia

Unidad de investigación

Monte (SaSoMo)

Coordenadas

S 22° 45' 42'' W 059° 25' 58''

Responsable

M. Nitsch

Fecha de muestreo

16.03.1995

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | pF 1,8 = 60 cm ³ = 5,874 kPa | pF 2,0 = 100 cm ³ = 9,79 kPa | pF 2,3 = 200 cm ³ = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB: dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|------------------------|---|---|--|---|------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| cm | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vol. % | |
| 10 | 9,90 | 28,61 | | | 21,95 | 11,86 | 1,26 | 52,35 | |
| 10 | 11,90 | 30,41 | | | 22,61 | 11,32 | 1,24 | 53,36 | |
| 20 | 11,54 | 27,93 | | | 22,05 | 12,24 | 1,30 | 50,81 | |
| 20 | 10,49 | 30,86 | | | 24,27 | 11,76 | 1,26 | 52,35 | |
| 40 | 20,30 | 33,64 | | | 28,43 | 19,91 | 1,40 | 47,19 | |
| 40 | 21,18 | 35,02 | | | 30,50 | 20,32 | 1,45 | 45,21 | |
| 60 | 22,54 | 34,28 | | | 29,53 | 17,90 | 1,49 | 43,86 | |
| 60 | 21,94 | 32,81 | | | 27,74 | 17,75 | 1,38 | 48,02 | |
| 80 | 25,23 | 31,99 | | | 28,25 | 19,56 | 1,55 | 41,37 | |
| 80 | 23,05 | 30,07 | | | 29,05 | 19,69 | 1,56 | 41,00 | |
| 100 | 31,14 | 33,96 | | | 31,23 | 21,52 | 1,62 | 39,03 | |
| 100 | 29,62 | 32,84 | | | 29,96 | 22,15 | 1,59 | 39,95 | |
| 120 | 34,65 | 36,44 | | | 34,10 | 20,30 | 1,64 | 38,10 | |
| 120 | 30,24 | 32,51 | | | 29,84 | 20,54 | 1,68 | 36,51 | |
| 140 | 31,97 | 34,87 | | | 32,94 | 24,21 | 1,66 | 37,18 | |
| 140 | 32,57 | 32,97 | | | 31,63 | 22,89 | 1,70 | 36,01 | |
| 160 | 31,54 | 35,23 | | | 34,51 | 22,32 | 1,74 | 34,35 | |
| 160 | 31,09 | 33,12 | | | 31,12 | 24,23 | 1,74 | 34,37 | |
| 180 | 29,57 | 31,05 | | | 29,16 | 23,83 | 1,67 | 36,85 | |
| 180 | 34,24 | 33,84 | | | 30,20 | 24,33 | 1,62 | 38,96 | |
| 200 | 30,52 | 31,46 | | | 28,94 | 23,11 | 1,78 | 32,82 | |
| 200 | 31,65 | 32,72 | | | 31,09 | 18,38 | 1,76 | 33,72 | |
| 220 | 32,51 | 34,08 | | | 32,95 | 24,06 | 1,69 | 36,06 | |
| 220 | 32,65 | 34,13 | | | 33,48 | 25,17 | 1,75 | 33,87 | |

4.5

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación

Estancia Santa Sofía

Unidad de investigación

Monte (SaSoMo)

Fecha de muestreo

14.06.1994

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25 °C) | pH en 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|---|-----------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--|------|------|------|------------------|
| | | | | | | | | mmol/z/100 g de suelo | | | % | Ca ²⁺ |
| 00 - 19 | 0,759 | 6,4 | 14,63 | 17,81 | 17,55 | 13,30 | 74,69 | 9,30 | 3,04 | 0,79 | 0,16 | 4,25 |
| 19 - 38 | 6,699 | 7,6 | 17,08 | 18,04 | 18,44 | 18,19 | 100,80 | 7,24 | 6,31 | 0,73 | 3,89 | 0,25 |
| 38 - 69 | 15,642 | 7,9 | 15,44 | 0,00 | 13,28 | 13,28 | | 10,35 | 4,71 | 0,41 | 0,05 | -2,25 |
| 69 - 102 | 12,969 | 8,3 | 14,14 | 14,91 | 17,03 | 17,03 | 114,19 | 8,20 | 3,39 | 0,40 | 7,77 | -2,75 |
| 102 - 120 | 16,896 | 8,1 | 11,66 | 7,10 | 13,28 | 13,28 | 186,98 | 3,75 | 3,16 | 0,38 | 5,97 | 0,00 |
| 120 - 185 | 15,576 | 7,9 | 13,73 | 10,72 | 15,91 | 15,91 | 148,41 | 2,58 | 4,09 | 0,49 | 8,99 | -0,25 |
| 185 - 210 + | 16,533 | 8,2 | 13,45 | 16,59 | 20,35 | 20,35 | 122,63 | 8,38 | 4,19 | 0,32 | 9,44 | -2,00 |

5.4

Valores de los análisis físicos del suelo

Ubicación

Estancia **Santa Sofia**

Unidad de investigación

Pastura (SaSoPa)

Coordenadas

S 22° 45' 43'' W 059° 25' 55''

Responsable

M. Nitsch

Fecha de muestreo

15.03.1995

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | pF 1,8 = 5,874 kPa | = 9,79 kPa | = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB:dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| cm | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vol. % | |
| 10 | 12,15 | 27,74 | | | 21,26 | 8,83 | 1,51 | 42,93 | |
| 10 | 8,45 | 26,16 | | | 20,08 | 8,14 | 1,44 | 45,76 | |
| 20 | 12,93 | 25,42 | | | 20,76 | 11,42 | 1,50 | 43,29 | |
| 20 | 11,93 | 25,72 | | | 21,56 | 11,46 | 1,47 | 44,57 | |
| 40 | 15,54 | 30,32 | | | 25,22 | 15,32 | 1,59 | 39,82 | |
| 40 | 21,64 | 30,21 | | | 26,50 | 15,49 | 1,67 | 36,92 | |
| 60 | 24,58 | 31,38 | | | 26,53 | 16,13 | 1,60 | 39,51 | |
| 60 | 24,55 | 31,42 | | | 27,85 | 16,27 | 1,62 | 39,05 | |
| 80 | 25,85 | 31,19 | | | 28,04 | 17,22 | 1,70 | 35,69 | |
| 80 | 25,18 | 31,35 | | | 26,65 | 17,48 | 1,65 | 37,80 | |
| 100 | 25,75 | 28,76 | | | 26,50 | 14,48 | 1,73 | 34,64 | |
| 100 | 25,34 | 28,93 | | | 25,52 | 15,27 | 1,73 | 34,78 | |
| 120 | 26,98 | 28,85 | | | 25,65 | 14,42 | 1,72 | 35,22 | |
| 120 | 28,69 | 30,24 | | | 26,51 | 15,89 | 1,74 | 34,36 | |
| 140 | 29,05 | 30,02 | | | 27,31 | 13,71 | 1,76 | 33,73 | |
| 140 | 28,88 | 30,17 | | | 27,46 | 13,98 | 1,76 | 33,44 | |
| 160 | 28,17 | 29,03 | | | 26,26 | 15,99 | 1,77 | 33,35 | |
| 160 | 27,79 | 29,12 | | | 26,62 | 14,60 | 1,81 | 31,57 | |
| 180 | 31,12 | 33,35 | | | 32,10 | 14,81 | 1,76 | 33,61 | |
| 180 | 32,31 | 34,84 | | | 33,36 | 15,44 | 1,67 | 36,86 | |
| 200 | 38,09 | 41,21 | | | 39,33 | 25,67 | 1,63 | 38,62 | |
| 200 | 32,64 | 33,24 | | | 29,94 | 26,68 | 1,73 | 34,90 | |
| 220 | 31,80 | 32,70 | | | 32,98 | 14,47 | 1,73 | 34,55 | |
| 220 | 32,26 | 33,06 | | | 32,28 | 15,21 | 1,73 | 34,91 | |

5.5

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación**Estancia Santa Sofi****Unidad de investigación****Pastura (LiKraPa)****Fecha de muestreo****22.07.1994**

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25°C) | pH en H ₂ O 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--|------|------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | mmol/z/100 g de suelo | | % | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| 00 - 13 | 0,660 | 5,4 | 10,05 | 11,51 | 12,65 | 6,40 | 55,65 | 4,31 | 1,60 | 0,42 | 0,06 | 6,25 |
| 13 - 25 | 0,528 | 5,6 | 9,05 | 10,66 | 11,32 | 6,07 | 56,95 | 3,87 | 1,74 | 0,25 | 0,19 | 5,25 |
| 25 - 52 | 3,102 | 6,9 | 13,17 | 14,35 | 14,60 | 11,85 | 82,58 | 5,85 | 3,76 | 0,13 | 2,10 | 2,75 |
| 52 - 104 | 7,359 | 7,7 | 11,31 | 12,86 | 12,43 | 11,93 | 92,74 | 3,69 | 3,33 | 0,14 | 4,76 | 0,50 |
| 104 - 155 | 8,118 | 8,6 | 8,77 | 11,61 | 12,64 | 12,64 | 108,86 | 7,78 | 1,74 | 0,10 | 5,25 | -2,25 |
| 155 - 185 | 7,590 | 8,6 | 7,53 | 9,73 | 9,88 | 9,88 | 101,52 | 3,39 | 1,68 | 0,08 | 5,46 | -0,74 |
| 185 - 225 + | 6,270 | 8,2 | 8,03 | 9,72 | 8,59 | 8,34 | 85,79 | 1,01 | 1,78 | 0,09 | 5,44 | 0,25 |

6.3

Descripción de perfiles de suelo de la unidad "monte" (según "Bodenkundlicher Kartieranleitung" - KA 3)

| | |
|--|------------------------------------|
| Responsable | M.Nitsch |
| Fecha | 02.07.1994 |
| Coordenadas | S 22° 28' 45,3'' W 059° 28' 18,7'' |
| Ubicación | Estancia Laguna Porá, Monte (LPMo) |
| Topografía | plano |
| Posición de perfil de suelo | plano |
| Uso de la tierra | Monte |
| Erosión | no |
| Profundidad de agua subterránea | 1,13 m |
| Tipo de suelo segun sistema FAO | Solonetz gléico (SNg) |

| Profundidad (cm) | Horizontes seg. FAO | Textura de mano | Color seg. MUNSELL (húmedo) | M.O. (%) | Informaciones suplementarias | | | Humedad | Consistencia | Raigambre | Mezclar, Cubierta | Estructura de Suelo | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------------|-----------|---------------------------|--|---------------------------------|
| | | | | | Hierro, Manganeso | Carbonato (%) | Yeso (%) | | | | | Formato, Tamaño, Manera de Posición, Consolidación | Vetas, Huecos, Grado de Grietas |
| 00 - 17 | An | Tu3 | 10 YR 3/4 | 1 - 2 | | no | | seco | firme (duro) | fuerte | gris cubiertas | pol 5, La 2, Vf 5 | Gri 3 |
| 17 - 36 | Bnw1 | Tu3 | 7.5 YR 4/4 | | | no | | húmedo | tieso (plast.) | medio | gris cubiertas | pol 4 - 3, La 3, Vf 3 | Gri 3 |
| 36 - 56 | Bnw2 | Tu3 | 7.5 YR 4/4 | | | no | | muy húmedo | blando (plast.) | flaø | gris cubiertas | Pol 3 - 2, La 2, Vf 2 | Gri 2 |
| 56 - 78 | Bnw3 | Tu4 - Tu3 | 7.5 YR 5/4 5 YR 5/6 | | | no | | muy húmedo | blando (plast.) | flaø | fragmentos, vieja estruc. | pol 4 - 3, La 2, Vf 4-5 | Gri 2 |
| 78 - 83 | 2A'bn | Lt2 | 10 YR 3/1 | 1 - 5 | | no | | mojado | pastoso (plast.) | flaø | | koh, La 2, Vf 1 | |
| 83 - 103 | 2Bbgm1 | Lt2 - Lt3 | 5 Y 5/1 (7.5 YR 5/4) | | | no | | húmedo | tieso (plast.) | flaø | | pol 4 - 3, La 2, Vf 3 | |
| 103 - 125 | 2Bbgm2 | Lt2 - Lt3 | 5 Y 5/1 (7.5 YR 5/4) | | | no | | muy húmedo | blando (plast.) | muy flaø | | pol 4, La 2, Vf 3 - 2 | |
| 125 - 150 | 3Cbgm1 | Tu2 - Tu3 | 5 Y 5/3 7.5 YR 5/4 | | 2 - 5% Mn pequ., duras concreciones | 2 - 4 | | mojado | pastoso (plast.) | muy flaø | | | |
| 150 - 200 | 3Cbgm2 | Tu3 | 7.5 YR 5/4 5 YR 5/6 | | 2 - 5% Mn pequ., blandas concreciones | no | | mojado | pastoso (plast.) | | | | |
| 200 - 250 + | 3Cbgm3 | Tu3 | 7.5 YR 5/4 | | 1 - 2% Mn en areas | 2 - 4 | | mojado | pastoso (plast.) | | | | |

6.4

Valores de los análisis físicos del suelo

Ubicación Estancia Laguna Porá
Unidad de investigación Monte (LPMo)
Coordenadas S 22° 28' 45,3'' W 059° 28' 18,7''
Responsable M. Nitsch
Fecha de muestreo 09.03.1995

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | pF 1,8 = 60 cm ³ = 5,874 kPa | pF 2,0 = 100 cm ³ = 9,79 kPa | pF 2,3 = 200 cm ³ = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 15 000 cm ³ = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB: dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|-------------------------|---|---|--|---|--|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| cm | Vol. % H ₂ O | Vol. % H ₂ O | Vol. % H ₂ O | Vol. % H ₂ O | Vol. % H ₂ O | Vol. % H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vol. % | |
| 10 | 31,95 | 39,37 | 39,32 | 37,50 | 36,83 | 27,65 | 1,43 | 45,93 | |
| 10 | 32,42 | 40,12 | 40,23 | 38,24 | 37,96 | 28,59 | 1,47 | 44,46 | |
| 20 | 34,26 | 40,31 | 40,70 | 38,66 | 37,85 | 25,69 | 1,42 | 46,32 | |
| 20 | 35,57 | 40,47 | 40,65 | 38,93 | 38,25 | (19,17) | 1,45 | 45,12 | |
| 40 | 39,59 | 43,12 | 42,91 | 41,39 | 40,63 | 27,38 | 1,48 | 44,14 | |
| 40 | 38,73 | 41,38 | 41,33 | 39,89 | 39,22 | 27,21 | 1,53 | 42,12 | |
| 60 | 39,84 | 43,82 | 42,71 | 40,36 | 39,62 | 27,56 | 1,41 | 46,78 | |
| 60 | 40,30 | 42,46 | 42,10 | 41,00 | 40,46 | 28,81 | 1,51 | 43,00 | |
| 80 | 36,49 | 34,71 | 34,40 | 30,06 | 28,99 | 16,35 | 1,51 | 43,00 | |
| 80 | 36,52 | 35,72 | 35,30 | 31,76 | 30,67 | 17,45 | 1,52 | 42,78 | |
| 100 | 35,95 | 36,75 | 35,69 | 30,75 | 29,06 | 14,50 | 1,61 | 39,23 | |
| 100 | 34,14 | 33,94 | 33,98 | 30,14 | 28,70 | 14,48 | 1,61 | 39,31 | |
| 120 | 34,41 | 36,10 | 35,03 | 30,65 | 29,07 | 18,37 | 1,64 | 38,18 | |
| 120 | 34,39 | 34,50 | 34,35 | 31,79 | 30,43 | 19,04 | 1,67 | 37,03 | |

6.5

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación Estancia Laguna Porá
Unidad de investigación Monte (LPMo)
Fecha de muestreo 02.07.1994

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25° C) | pH en 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|---------------------|--|----------------|-----------------|----------------|-------|
| | | | mmol/z/100 g de suelo | | | % | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | H ⁺ | |
| 00 - 17 | 17,985 | 6,9 | 26,87 | 26,82 | 37,25 | 34,00 | 126,79 | 6,41 | 12,13 | 0,44 | 15,00 | 3,25 |
| 17 - 36 | 20,361 | 7,1 | 21,85 | 16,75 | 30,30 | 29,80 | 177,86 | 4,59 | 8,43 | 0,28 | 16,49 | 0,50 |
| 36 - 56 | 23,298 | 7,1 | 19,75 | 17,59 | 28,96 | 28,46 | 161,78 | 3,56 | 7,22 | 0,25 | 17,42 | 0,50 |
| 56 - 78 | 20,922 | 7,4 | 20,83 | 20,08 | 31,24 | 30,49 | 151,80 | 3,56 | 7,13 | 0,24 | 19,53 | 0,75 |
| 78 - 83 | 21,813 | 7,4 | 15,55 | 15,19 | 20,69 | 19,94 | 131,24 | 4,47 | 5,69 | 0,17 | 9,59 | 0,75 |
| 83 - 103 | 21,978 | 7,8 | 14,01 | 12,76 | 15,24 | 14,99 | 117,53 | 2,22 | 3,84 | 0,11 | 8,81 | 0,25 |
| 103 - 125 | 16,764 | 8,0 | 12,49 | 10,65 | 13,05 | 13,05 | 122,54 | 1,92 | 3,29 | 0,11 | 8,46 | -0,75 |
| 125 - 150 | 16,236 | 8,2 | 12,96 | 6,81 | 17,31 | 17,31 | 254,08 | 5,36 | 3,94 | 0,15 | 9,08 | -1,25 |
| 150 - 200 | 15,114 | 7,9 | 13,02 | 13,07 | 16,08 | 16,08 | 123,05 | 1,87 | 3,78 | 0,14 | 10,53 | -0,25 |
| 200 - 250 + | 19,569 | 8,6 | 11,79 | 12,73 | 19,99 | 19,99 | 157,03 | 8,79 | 3,45 | 0,16 | 10,32 | -2,75 |

7.3

Descripción de perfiles de suelo de la unidad "pastura" (según "Bodenkundlicher Kartieranleitung" - KA 3)

Responsable M.Nitsch
Fecha 11.07.1994
Coordenadas S 22° 28' 44,1'' W 059° 28' 85,8''
Ubicación Estancia Laguna Porá, Pastura 1 (LPPa 1)
Topografía plano
Posición de perfil de suelo plano
Uso de la tierra: Pastura (Estrella)
Erosión no
Profundidad de agua subterránea 1,15 m
Tipo de suelo según sistema FAO Cambisol gléico (CMg)

| Profundidad (cm) | Horizontes seg. FAO | Textura de mano | Color seg. MUNSELL (húmedo) | M.O. (%) | Informaciones suplementarias | | | Humedad | Consistencia | Raigambre | Mezclar, Cubierta | Estructura de Suelo | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------------|------------------|---------------|-------------------|--|---------------------------------|
| | | | | | Hierro, Manganeso | Carbonato (%) | Yeso (%) | | | | | Formato, Tamaño, Manera de Posición, Consolidación | Vetas, Huecos, Grado de Grietas |
| 00 - 18 | An | Tu2 | 5 YR 4/2 - 3/2 | 1 - 2 | | no | | seo | firme (duro) | flaco - medio | | ris 4, La 2, Vf 5 | Gri 4 |
| 18 - 33 | Bnw1 | Tu2 | 5 YR 3/3 | | | 2 - 4 | | seo | firme (duro) | muy flaco | | ris 4, La 2, Vf 4 | Gri 3 |
| 33 - 52 | Bnwy | Tu2 | 5 YR 3/4 | | | 0,5 - 2 | ubiertas en grietas | flaco húmedo | medio firme | flaco | | pol 4, La 3 - 2, Vf 3 | Gri 1 - 2 |
| 52 - 75 | Bnw2 | Tu3 - Tu4 | 7.5 YR 4/4 | | | no | | húmedo | tieso (plast.) | flaco | | pol 3 - 4, La 3, Vf 2 | |
| 75 - 80 | 2A'bn | Ltu | 5 YR 2.5/1 | 1 - 2 | | no | | mojado | pastoso (plast.) | flaco | | koh, La 2, Vf 2 | |
| 80 - 150 | 2Bbgmy | Lt2 | 5 YR 4/6 | | 5 - 10% Mn muy pequ. concreciones | 4 - 7 | crystal en grietas | muy húmedo | tieso (plast.) | flaco | | pol 2 - 4, La 2, Vf 2 | |
| 150 - 210 | 2Bbgm | Ltu | 5 YR 4/4 | | 1 - 2% Mn muy pequeñas concreciones | 4 - 7 | | muy húmedo | tieso (plast.) | | | | |
| 210 - 250 + | 2Cgny | Ltu | 5 YR 4/4 - 4/6 | | | 2 - 4 | fragmentos | muy húmedo | tieso (plast.) | | | | |

7.4

Valores de los análisis físicos del suelo

Ubicación

Estancia Laguna Porá

Unidad de investigación

Pastura 1 (LPPA 1)

Coordenadas

S 22° 28' 44,1'' W 059° 28' 85,8''

Responsable

M. Nitsch

Fecha de muestreo

14.03.1995

| Profundidad de muestreo | Humedad de campo | = 60 cm ³ = 5,874 kPa | = 100 cm ³ = 9,79 kPa | pF 2,3 = 19,58 kPa | pF 2,48 = 300 cm ³ = 29,37 kPa | pF 4,2 = 146,85 kPa | Densidad aparente | Porosidad (PV)= 1-(dB: dF) x 100 | Suplementario |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| cm | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | Vol.% H ₂ O | dB in g/cm ³ | Vol. % | |
| 10 | 17,63 | 33,50 | 33,52 | 31,32 | 30,80 | 24,56 | 1,56 | 41,13 | |
| 10 | 18,31 | 32,54 | 32,46 | 30,68 | 30,42 | 23,27 | 1,58 | 40,38 | |
| 20 | 21,52 | 35,14 | 35,20 | 33,29 | 32,66 | 23,14 | 1,63 | 38,49 | |
| 20 | 20,08 | 33,55 | 33,43 | 32,17 | 31,34 | 24,36 | 1,64 | 38,11 | |
| 40 | 20,74 | 36,56 | 36,27 | 32,90 | 32,58 | 22,50 | 1,52 | 42,64 | |
| 40 | 18,82 | 34,95 | 34,96 | 31,65 | 30,83 | 21,35 | 1,58 | 40,38 | |
| 60 | 31,60 | 42,75 | 42,90 | 41,18 | 40,39 | 28,35 | 1,51 | 43,02 | |
| 60 | 24,09 | 35,66 | 35,86 | 32,59 | 31,82 | 25,48 | 1,50 | 43,40 | |
| 80 | 33,77 | 42,82 | 42,68 | 40,65 | 39,93 | 30,60 | 1,45 | 44,28 | |
| 80 | 34,56 | 46,79 | 46,13 | 43,06 | 42,19 | 29,18 | 1,40 | 47,17 | |
| 100 | 39,66 | 44,02 | 43,85 | 41,91 | 40,95 | 30,12 | 1,40 | 47,17 | |
| 100 | 41,20 | 45,25 | 44,98 | 43,14 | 42,40 | 32,74 | 1,43 | 46,04 | |
| 120 | 33,96 | 34,91 | 34,29 | 31,58 | 30,39 | 20,95 | 1,61 | 39,38 | |
| 120 | 34,17 | 34,30 | 34,22 | 30,96 | 29,59 | 21,70 | 1,61 | 39,38 | |

7.5

Valores de los análisis químicos del suelo

Ubicación

Estancia Laguna Porá

Unidad de investigación

Pastura 1 (LPPa1)

Fecha de muestreo

11.07.1994

| Profundidad [cm] de a | Conductividad (mS/cm a 25° C) | pH en 1 : 2,5 | CIC pot. Acetato de NH ₄ | CIC pot. seg. MEHLICH | Soma de Cationes | Soma de Bases | Saturación de Bases | Cationes Intercambiables mmol/z/100 g de Suelo | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|---------------------|--|------|------------------|------------------|----------------|
| | | | | | | | | mmol/z/100 g de suelo | % | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ |
| 00 - 18 | 2,475 | 7,6 | 19,02 | 20,63 | 20,96 | 18,71 | 90,69 | 9,46 | 7,22 | 0,52 | 1,50 | 2,25 |
| 18 - 33 | 8,283 | 8,2 | 17,50 | 19,34 | 18,37 | 18,37 | 94,97 | 10,19 | 6,25 | 0,59 | 4,07 | -2,75 |
| 33 - 52 | 15,675 | 8,1 | 20,05 | 3,13 | 23,94 | 23,94 | 764,76 | 10,26 | 6,76 | 0,62 | 7,52 | -1,25 |
| 52 - 75 | 13,596 | 7,9 | 20,49 | 22,63 | 21,78 | 21,78 | 96,25 | 7,74 | 6,25 | 0,62 | 8,41 | -1,25 |
| 75 - 80 | 11,682 | 8,1 | 15,33 | 17,08 | 16,24 | 16,24 | 95,04 | 4,91 | 4,52 | 0,50 | 6,29 | 0,00 |
| 80 - 150 | 10,461 | 8,5 | 13,89 | 0,00 | 17,67 | 17,67 | | 6,33 | 3,78 | 0,40 | 8,39 | -1,25 |
| 150 - 210 | 12,507 | 8,5 | 12,07 | 3,13 | 17,39 | 17,39 | 555,52 | 7,69 | 3,22 | 0,38 | 7,57 | -1,50 |
| 210 - 250 + | 13,794 | 5,9 | 12,77 | 8,48 | 16,10 | 16,10 | 189,73 | 5,81 | 3,00 | 0,33 | 8,44 | -1,50 |

9.1

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C) de una muestra saturada de suelo, ph y humedad del suelo

Responsable

M. Nitsch

Fecha

20.03.1995

Coordenadas

S $22^\circ 26' 54,0''$ W $060^\circ 37' 15,7''$

Unidad de investigación

Campo Loa Norte, "dulce"

| Profundidad (m) | Textura (de mano y humedad) | Conductividad de campo [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] 1:2 | Conductividad de laboratorio [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] 1:2, 10 min | Conductividad de laboratorio [$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C] 1:2, 1 día | Laboratorio 1 + Laboratorio 2. 2:2 x Fact. arenoso 6,7 arcilloso 3,3 | pH de una Suspensión Campo/ Laboratorio | Humedad (% H_2O de peso de suelo) |
|-----------------|-----------------------------|---|---|--|--|---|---|
| 0 - 0,75 | sl, f | 50,1 | 70,2 | 143,9 | 353,3 | 7,93/7,52 | 11,26 |
| - 1,50 | 1S, f | 34,2 | 50,3 | 94,4 | 712,2 | 7,91/7,79 | 10,95 |
| - 2,25 | 1S, F' | 53,0 | 78,3 | 134,3 | 377,2 | | 9,10 |
| - 3,00 | 1, f' | 83,1 | 60,4 | 108,4 | 565,5 | 8,32/8,72 | 3,02 |
| - 3,75 | 1S, tr | 111,0 | 80,1 | 127,8 | 696,5 | | 2,79 |
| - 4,50 | 1fS, tr | 129,6 | 83,8 | 128,7 | 710,2 | 8,62/8,96 | 2,77 |
| - 5,25 | 1fS, tr | 117,2 | 77,2 | 118,7 | 626,3 | | 1,91 |
| - 6,00 | 1fS, tr | 82,9 | 62,3 | 109,0 | 573,9 | 8,78/9,08 | 1,22 |
| - 6,75 | 1'm(f)S, tr | 73,0 | 53,6 | 100,3 | 515,6 | | 1,05 |
| - 7,50 | m(f)S, tr | 65,0 | 53,0 | 100,5 | 514,2 | | 0,72 |
| - 8,25 | m(f)S, tr | 68,6 | 48,1 | 99,0 | 492,8 | | 0,85 |
| - 9,00 | m(f)S, tr | 69,7 | 47,9 | 94,2 | 476,0 | | 0,74 |
| - 9,75 | m(f)S, tr | 74,1 | 44,8 | 96,8 | 474,4 | 8,72/9,25 | 0,64 |
| - 10,50 | m(f)S, tr | 71,9 | 50,4 | 98,7 | 499,5 | | 0,52 |
| - 11,25 | m(f)S, tr | 69,0 | 46,5 | 98,6 | 486,1 | | 0,75 |
| - 12,00 | m(f)S, tr | 73,3 | 48,7 | 97,7 | 490,4 | | 0,75 |
| - 12,75 | m(f)S, tr | 71,8 | 46,4 | 95,4 | 475,0 | 9,17 | 1,50 |
| - 13,50 | fS, tr | 81,4 | 47,9 | 103,5 | 507,2 | | 0,63 |
| - 14,25 | fS, tr | 76,7 | 49,7 | 97,5 | 493,1 | | 0,73 |
| - 15,00 | fS, tr | 70,0 | 48,0 | 97,2 | 486,4 | | 0,83 |
| - 15,75 | fS, tr | 73,8 | 46,6 | 97,4 | 482,4 | 9,02/9,31 | 0,81 |
| - 16,50 | fS, tr | 76,1 | 48,5 | 107,1 | 521,3 | | 0,82 |
| - 17,25 | fS, tr | 78,4 | 56,4 | 103,3 | 535,0 | | 0,80 |
| - 18,00 | fS, tr | 84,1 | 55,7 | 103,9 | 534,7 | 9,15 | 1,03 |
| - 18,75 | fS, tr | 99,1 | 67,1 | 113,7 | 605,7 | 9,10/9,21 | 0,86 |
| - 19,50 | fS, tr - f' | 140,4 | 82,6 | 156,4 | 800,7 | 9,22/9,42 | 0,99 |
| - 20,25 | fS, tr - f' | 167,5 | 161,5 | 235 | 1 328,3 | | 2,04 |
| - 21,00 | fS, f | 276,0 | 352,0 | 493 | 2 831,8 | 9,12/9,03 | 1,85 |
| - 21,75 | fS, f | 402,0 | 361,0 | 555 | 3 068,6 | 9,06/8,82 | 2,34 |
| - 22,50 | stl, naß | 1 568,0 | 1 921,0 | | 6 339,3 | 8,28/8,18 | 20,41 |
| - 23,50 | t'S, f' | 1 548,0 | 676,0 | 1 195,0 | 6 267,9 | 8,18 | 12,95 |
| - 26,00 | t'sl, f | 1 140,0 | 782,0 | 1 124,0 | 3 114,9 | 8,45 | 16,47 |
| - 28,00 | m - fS, f | 1 247,0 | 485,0 | 881,0 | 4 576,1 | 8,27 | 9,98 |

Se encontró, en la sección, concreciones de carbonato de calcio de cerca de 5 mm de diámetro

Se observó, con el muestreo del día 20.05.1995, después de una época de fuertes precipitaciones, una zona húmeda hasta 1,80 (2,00 m)!

9.2

Conductividad (mS/cm a 25° C) de una muestra saturada de suelo, ph y humedad del suelo

Responsable

Nitsch

Fecha

20.03.1995

Coordenadas

S 22°26'54,0" W 060°37'15,7"

Unidad de investigación

Campo Loa Norte, "Salado"

| Profundidad (m) | Textura (de mano y humedad) | Conductividad de campo [μ S/cm a 25° C] 1:2 | Conductividad de laboratorio [μ S/cm a 25° C] 1:2, 10 min | Conductividad de laboratorio [μ S/cm a 25° C] 1:2, 1 día | Laboratorio 1 + Laboratorio 2. 2:2 x Fact arenoso 6,7 arcilloso 3,3 | pH de una Suspensión Campo/Laboratorio | Humedad (% H ₂ O de peso de suelo) |
|-----------------|-----------------------------|--|--|---|---|--|---|
| 0 - 0,75 | 1fS-mS, f' | 30,1 | 38,6 | 69,5 | 362,1 | ~ 7,4/ | 10,71 |
| - 1,50 | 1fS-mS, f' | 40,9 | 18,6 | 32,7 | 171,9 | /7,88 | 2,78 |
| - 2,25 | fS-mS, tr | 56,5 | 19,8 | 31,8 | 172,9 | | 2,95 |
| - 3,00 | fS, tr | 58,0 | 18,0 | 32,9 | 170,5 | | 2,20 |
| - 3,75 | fS, tr | 100,0 | 65,1 | 112,9 | 596,3 | | 2,24 |
| - 4,50 | fS, tr | 97,0 | 49,5 | 90,8 | 470,0 | | 0,98 |
| - 5,25 | fS, tr | 104,4 | 47,7 | 93,3 | 472,4 | /9,15 | 0,89 |
| - 6,00 | fS, tr | 86,5 | 44,5 | 92,6 | 459,3 | | 0,88 |
| - 6,75 | mS, tr | 74,0 | 41,4 | 88,5 | 435,2 | | 0,93 |
| - 7,50 | mS, tr | 66,7 | 40,1 | 82,8 | 411,7 | | 0,92 |
| - 8,25 | m(f)S, f' | 65,9 | 39,4 | 83,5 | 411,7 | | 0,96 |
| - 9,00 | f(m)S, f' | 76,1 | 42,7 | 86,3 | 432,2 | 8,56/9,14 | 1,00 |
| - 9,75 | fS, f' | 70,8 | 39,1 | 85,5 | 417,4 | 8,71/9,08 | 0,83 |
| - 10,50 | mS, f' | 74,0 | 40,9 | 85,9 | 424,8 | | 0,81 |
| - 11,25 | fS, f' | 70,3 | 37,3 | 85,0 | 409,7 | | 0,80 |
| - 12,00 | fS, f' | 71,4 | 31,4 | 84,3 | 387,6 | /9,12 | 0,89 |
| - 12,75 | f(m)S, f' | 71,1 | 38,8 | 83,7 | 410,4 | | 0,91 |
| - 13,50 | fS, f' | 69,2 | 39,1 | 88,4 | 427,1 | | 0,73 |
| - 14,25 | fS, f' | 71,5 | 42,2 | 97,7 | 468,7 | | 0,82 |
| - 15,00 | fS, f' | 83,4 | 43,9 | 97,2 | 472,7 | 9,20/9,34 | 0,79 |
| - 15,75 | f(m)S, f' | 101,7 | 55,1 | 101,4 | 524,3 | 9,22/9,25 | 0,78 |
| - 16,50 | mS, f' | 100,3 | 51,9 | 100,7 | 511,2 | | 0,83 |
| - 17,25 | m(f)S, f' | 103,0 | 49,1 | 104,5 | 514,6 | | 0,84 |
| - 18,00 | fS, f' | 101,8 | 51,0 | 100,7 | 508,2 | /940 | 0,89 |
| - 18,75 | fS, f' | 112,8 | 58,0 | 105,9 | 549,1 | | 0,91 |
| - 19,50 | fS, f' | 133,2 | 71,7 | 124,0 | 655,6 | | 0,89 |
| - 20,25 | fS, f' | 255,0 | 171,8 | 348,0 | 1 741,3 | | 1,65 |
| - 21,00 | fS, f' | 233,0 | 189,9 | 349,0 | 1 805,3 | 9,05/ | 1,46 |
| - 21,75 | sL, f | 281,0 | 278,0 | 532,0 | 1336,5 | /9,06 | 20,78 |
| - 22,50 | 1S-sL, f | 3 620,0 | | | ~ 11 946 | | 19,85 |
| - 26,50 | 1S-sL, naß | 2 240,0 | 1 210,0 | 1 963,0 | 5 235,5 | /8,20 | 22,15 |
| - 27,00 | 1S-sL, naß | 1 790,0 | 1 462,0 | 2 030,0 | 5 761,8 | /8,19 | 20,12 |
| - 28,00 | 1S-sL, naß | 1 630,0 | 2 670,0 | 3 560,0 | 10 279,5 | /7,84 | 23,37 |

Se encontró, en la sección, concreciones de carbonato de calcio de cerca de 5 mm de diámetro

Se observó, con el muestreo del día 20.05.1995, después de una época de fuertes precipitaciones, una zona húmeda hasta 1,80 (2,00 m)!

Caracterización de Sitios en el Chaco Central Paraguayo a través de la Capacidad de Succión Vegetal y la Presión Osmótica Potencial

por
R. Mitlöhner

INDICE

| | | |
|--------------|---|------------|
| 1 | Resumen | 73 |
| 2 | Introducción, objetivos y agradecimiento | 73 |
| 3 | Material y métodos | 74 |
| 3.1 | Zona de investigación y localidades de ensayo | 74 |
| 3.2 | Estudio de la situación del agua y de la sal en el interior de las plantas | 75 |
| 3.2.1 | Enfoque ecofisiológico | 75 |
| 3.2.2 | Medición de la capacidad de succión de las plantas | 77 |
| 3.2.3 | Determinación de la presión osmótica potencial de la planta | 77 |
| 4 | Resultados | 78 |
| 4.1 | Relación entre la estructura del monte y precipitaciones en el Chaco Central Paraguayo | 78 |
| 4.2 | Condición del estado osmótico vegetal | 79 |
| 4.2.1 | Conexión de las aguas subterráneas en la localidad de Campo Loa | 79 |
| 4.2.2 | Diferentes formas de uso de la tierra y profundidad del agua subterránea | 84 |
| 4.2.2.1 | Localidad de Lindendorf (profundidad del agua subterránea = 3m) | 84 |
| 4.2.2.2 | Localidad Santa Sofia (profundidad del agua subterránea = 2m) | 85 |
| 4.2.2.3 | Localidad Laguna Porá (profundidad del agua subterránea = 1m) | 86 |
| 4.2.2.4 | Observación comparativa de las localidades de Lindendorf, Santa Sofia y Laguna Porá | 88 |
| 4.3 | Tipos de montes azonales | 89 |
| 4.3.1 | Tipos de montes y de vegetación del Chaco Central | 89 |
| 4.3.2 | Agua subterránea suplementaria como condición local para "algarrobales" | 90 |
| 4.3.3 | Condiciones locales de "monte alto" | 91 |
| 4.3.4 | Sitios preferidos por la Schinopsis quebracho-colorado y Cercidium praecox | 91 |
| 4.3.5 | Características de las oscilaciones de vegetación y tipo de sitios a través de parámetros osmóticos vegetales | 93 |
| 4.4 | Estado osmótico de cultivos agroforestales | 93 |
| 4.4.1 | Algodón y sorgo en suelos salinos | 93 |
| 4.4.2 | Aptitud del cultivo de pastos y leguminosas forrajeras seleccionados | 95 |
| 4.4.3 | Dimensiones actuales del estado osmótico de especies de eucalipto seleccionadas | 96 |
| 5 | Perspectiva | 97 |
| 6 | Bibliografía | 99 |
| ANEXO | | 100 |
| | El desarrollo del viaje | 100 |

Comitente Ministerio Federal de
Cooperación Económica (BMZ)

Autor del Informe Dr. Ralph Mitlöhner

Número del Proyecto 86.2565-9-01.100

1 RESUMEN

Respecto a la planta, como objetivo de investigación se pueden medir: a) el actual balance hídrico y el balance de sal del suelo enraizado y b) el actual balance hídrico y el balance de la sal del organismo vegetal. Como bioindicadores las plantas "integran" sus condiciones exteriores y posibilitan a través de la medición de su capacidad de succión y de su presión osmótica potencial al mediodía y en la noche, una cuantificación actual de las condiciones ambientales del sitio y de las diferencias entre las especies. Indistintamente de su constitución, los árboles y los pastos indican lo mismo bajo las mismas condiciones ambientales. Una exacta localización de la profundidad de los factores correspondientes depende sin embargo, en caso de la profundidad y dimensión del enraizamiento desconocida, de ensayos edafológicos y de la hidrología del suelo.

Con dichos ensayos se obtienen los siguientes resultados:

- a) Se cuantifican las dependencias del número de especies, área basal de vegetación boscosa (dominancia), el número de individuos (abundancia) como también la biomasa originaria de las precipitaciones promedias anuales.
- b) En la localidad de Campo Loa el agua subterránea evidentemente puede ser descripta en su extensión horizontal (no en la extensión vertical) y estratificada según las diferencias en las concentraciones de la sal;
- c) Diferentes distancias actuales de los niveles superiores de las aguas subterráneas hacia la superficie (conocidas a través de estudios edafológicos-hidrológicos realizados por la BGR) y los efectos actuales de las concentraciones de sal de las localidades de Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá que se reflejan en la vegetación (vegetación boscosa);
- d) Se comprueba en forma terminante - probablemente por primera vez - la formación y la posibilidad de una delimitación propia de asociaciones de vegetación zonales y azonales en función directa de la capacidad de succión vegetal y de la presión osmótica potencial de las plantas;
- e) Se cuantifica el efecto actual de los métodos de desmonte (especificada por la BGR en forma más detallada) sobre las medidas del estado osmótico de cultivos seleccionados de algodón y de sorgo;
- f) Se establece un orden de sucesión de la actual capacidad de succión vegetal y de la presión osmótica potencial para 12 pastos (para pastura) exóticos, 2 leguminosas forrajeras y 11 especies de Eucalipto, que permite una apreciación de su posible aptitud de cultivo en una localidad específica.

2 INTRODUCCION, OBJETIVOS Y AGRADECIMIENTO

La misión del experto (Dr. Ralph Mitlöhner) en el Chaco Central del Paraguay desde el 01.12.1994 hasta el 30.01.1995 se realizó por invitación y para el apoyo de los proyectos de CT.

- "Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección del Potencial Natural de la Región Occidental" de la Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR en Hannover) (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales) con la Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA en Asunción), Proyecto No. 90.2056.1.
- "Estación Experimental Chaco Central" de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ en Eschborn) (Sociedad Alemana para Cooperación Técnica) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG en Asunción/PY), Proyecto No. 86.2565-9-01.100.

A través de las investigaciones ecofisiológicas, en especial con enfoque a la planta, se espera obtener informaciones sobre a) el balance hídrico y el balance de la sal de la zona del suelo enraizada y b) el balance hídrico y el balance de sales en el interior de las plantas. De este modo se podrá evaluar tanto la localidad como la vegetación. Las plantas, como bioindicadores, posibilitan una clasificación preliminar de los tipos de suelo, p.ej. para la planificación del uso de la tierra. A través de series de mediciones realizadas repetidamente en las mismas plantas individuales, se puede llegar a conclusiones con respecto a las condiciones medioambientales reinantes y los efectos a la planta ("monitoring"). Abordando las dimensiones del balance hídrico y del balance de las sales en el interior de las plantas se puede determinar además la conveniencia del cultivo de p.ej. especies de plantas agrícolas o agroforestales para las localidades investigadas.

Dicha caracterización de la planta y de la zona de enraizamiento del suelo con respecto a los factores agua y sal que limitan la vegetación en las zonas áridas/semiáridas, complementa las amplias investigaciones edafológicas, edafológicos-hidrológicos y agrícolas de los proyectos arriba mencionados en el Chaco Central. A base de las mismas se explica también la invitación común del autor como también la formulación común de los objetivos ("**Términos de referencia**"):

Objetivo general:

Determinación de indicadores simples (p.ej. biomasa, crecimiento) para la evaluación de las condiciones del suelo, para optimizar la selección del sitio para las investigaciones edafológicas y para poder realizar de esta manera una clasificación preliminar del suelo.

Objetivo específico:

- Determinación de los bioindicadores para balances de sal y lentes de agua dulce,
- Comprobación de la correlación entre parámetros de vegetación (crecimiento), composición botánica, especies dominantes, crecimiento de la biomasa, presión osmótica de las plantas) y diversos parámetros del suelo y del agua subterránea (tipo del suelo, estructura, nivel del agua subterránea, contenido de sal en el suelo y del agua subterránea),
- Presentación de sitios especiales, que difieren de la vegetación zonal por sus condiciones de suelo.
- Investigaciones con respecto a correlaciones entre la fisiología de las plantas y el contenido de sal en el agua subterránea a base de ejemplos seleccionados.

A los colaboradores en los proyectos arriba mencionados, los señores Ing. Agr. G. Raidán, Dr. W. Kruck, Dr. R. Hoffmann, al señor Dipl. Ing. Nitsch (DOA/BGR) como también al Sr. Ing. Agr. E. Ramirez, Dr. H. Winkler y al Dr. A. Glatzle (MAG/GTZ) agradezco la buena organización de la estadia en el Paraguay, la puesta a disposición de la infraestructura necesaria y su hospitalidad.

Para la realización de los trabajos de campo y de laboratorio yo dependía del apoyo técnico. La Sra. S. Wiebe-Harder, el Sr. González y el Sr. H. E. Rempel cooperaron con gran perseverancia y eficacia, lo que agradezco mucho.

3 MATERIAL Y METODOS

3.1 Zona de investigación y localidades de ensayo

La Fig1 representa una vista general de las localidades de ensayo dentro de la zona de investigación del Chaco Central del Paraguay. El objetivo (ver abajo) fue centralizar el trabajo, preferentemente a lugares bien investigados localmente, para analizar posibles correlaciones entre las investigaciones anteriores y el enfoque ecofisiológico realizado en el presente proyecto.

Las localidades **Lindendorf** ($22^{\circ}33'01''$ S - $59^{\circ}44'35''$ W), **Santa Sofia** ($22^{\circ}45'43''$ S - $59^{\circ}25'56''$ W) y **Laguna Porá** ($22^{\circ}28'41''$ S - $59^{\circ}28'05''$ W) fueron investigadas minuciosamente con respecto a la salinidad y humedad en el suelo (véase informe NITSCH 1994:

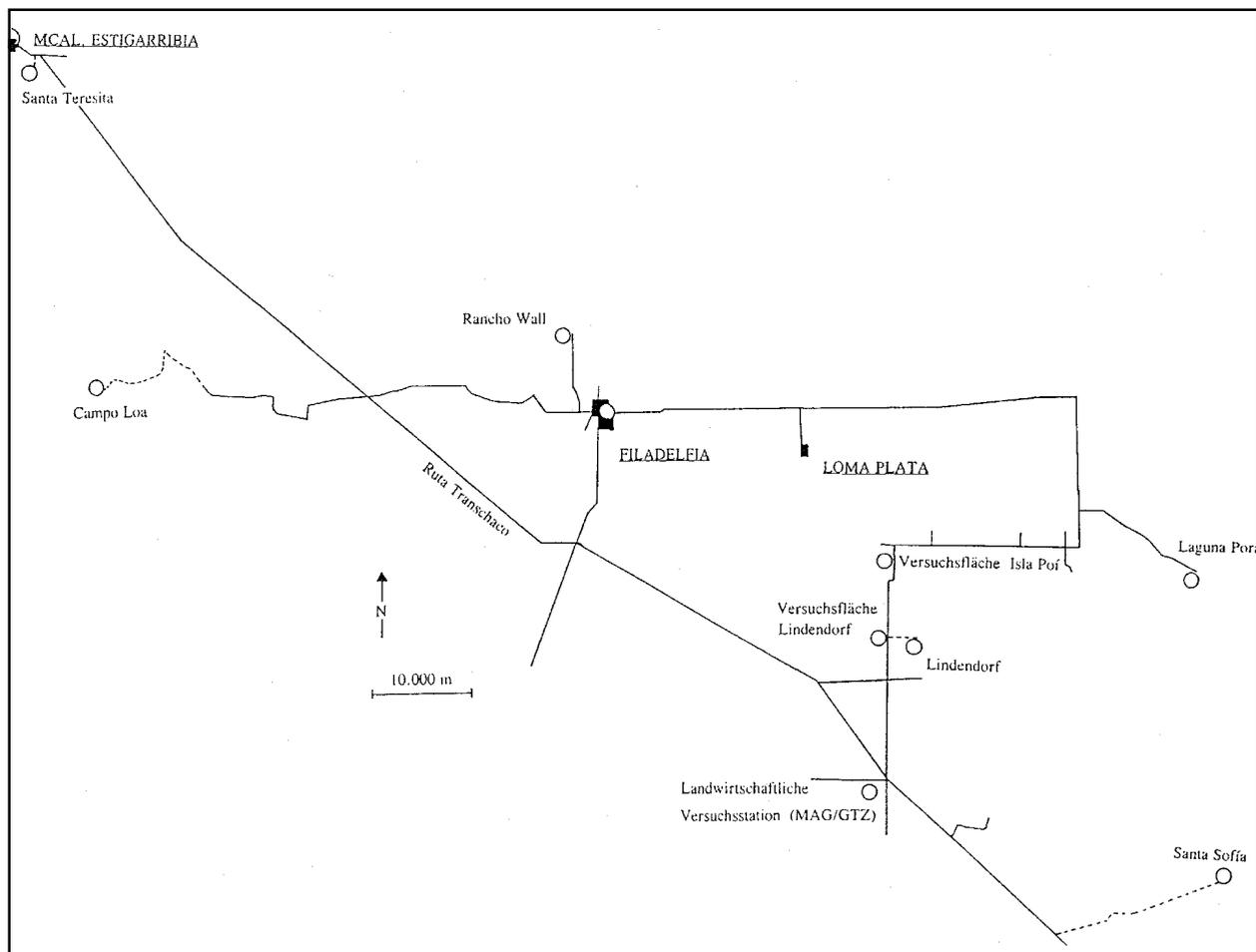


Fig. 1: Plan de ubicación de los sitios de medición en el Chaco, Paraguay

“Suelos Amenazados en el Chaco Central Oriental como Consecuencia de Medidas de Desmonte Inadecuadas”). En el presente proyecto, el diseño del ensayo de los encargados del Proyecto arriba mencionados prevé una comparación entre monte virgen y superficies desmontadas adyacentes, que se usan para cultivo de pastos. De modo que dentro de la localidad varía la forma del uso de la tierra, motivo por el cual se espera resultados sobre efectos que tienen los diversos usos de la tierra con respecto al suelo y a la humedad en el suelo, especialmente enfocando a la dinámica de la salinidad del suelo.

Este estudio de las consecuencias del uso de la tierra se realiza en las tres localidades arriba mencionadas, que por su parte muestran profundidades de agua subterránea diferentes: Lindendorf = 3 m, Santa Sofía = 2 m y Laguna Porá = 1 m (aquí se indican solamente las dimensiones) en vigencia son los resultados de medición de NITSCH 1994, loc.cit.). Como complemento de las investigaciones edafológicas y edafológicas-hidrológicas del suelo, el autor midió directamente, con respecto al cultivo, con métodos ecofisiológicos la situación interna del agua y de la salinidad en las especies de plantas ecológicamente dominantes (árboles, arbustos, pastos).

Las localidades **Friedhofstraße/Filadelfia** (22°20'45" S - 60°01'45" W), **Santa Teresita** (22°02'38" S - 60°35'05" W) y **Campo Loa** (22°27'05" S - 60°37'18" W) fueron investigadas detenidamente por el Proyecto CT “Agua para el Chaco” (BGR/Ministerio de Defensa) y también hidrológicamente. El autor fue invitado para realizar, en forma complementaria, mediciones en la correspondiente vegetación de dichas localidades, para seleccionar y usar ciertas especies de plantas como posibles bioindicadores para investigaciones hidrológicas adicionales.

Las localidades **Estación Experimental Chaco Central** (22°40'37" S - 59°46'12" W), **parcela de ensayo agrícola** cerca de **Lindendorf** (22°32'20" S - 59°45'27" W) y la **terreno experimental** cerca de **Isla Poí** (22°29'29" S - 59°44'06" W) son terrenos bajo el régimen de ensayos y atención de la Estación Experimental Chaco Central (MAG/GTZ). Las mediciones del autor de la vegetación tienen el objetivo de complementar los amplios trabajos en el sentido de que a través del enfoque ecofisiológico se esperan revelaciones sobre la aptitud de pastos exóticos seleccionados, de importantes especies cultivadas, así como también de especies de eucalipto para su plantación en una determinada localidad.

Finalmente las mediciones en algunas especies de árboles nativos en la **periferia de la Estación Experimental** (22°40'37" S - 59°46'17" W) como también en la localidad **Rancho Wall** (22°16'02" S - 60°01'45"

W) sirvieron para registrar especies de árboles importantes para la selección de sitios especiales.

3.2 *Estudio de la situación de agua y de la sal en el interior de las plantas*

3.2.1 *Enfoque ecofisiológico*

El agrónomo y ecólogo Heinrich WALTER comentó, que muchas investigaciones sobre las condiciones de agua de la localidad se refieren a cambios de la humedad del aire y del suelo; pero en la mayoría de los casos no se estudian, “en qué medida dichos factores externos influyen a la planta misma. Para la reacción de la planta las condiciones externas no son tan determinantes, sino los cambios, que a través de estas condiciones ocurren en la planta misma; es decir, el cambio de hidratación del plasma, que se indica a través de un cambio del valor osmótico (= la presión osmótica potencial; R.M.). Por lo tanto se espera que la misma (la presión osmótica potencial; R.M.) indicará también, en caso de una simultánea toma de muestras de diferentes localidades, la diferencia de las condiciones de agua, y que cada disminución del abastecimiento de agua se expresará en un aumento del valor osmótico.” (cita según WALTER 1962).

Según WALTER y KREEB (1970) las fluctuaciones anuales normales de la presión osmótica potencial se observan en forma óptima en zonas “donde surgen fuertes cambios climáticos, que ejercen una influencia sobre el balance hídrico de las plantas, es decir donde existen periodos de lluvia y de sequía. En los trópicos, siempre húmedos, este no es el caso. En las zonas áridas el p^* (p^* = la presión osmótica potencial; R.M.) sube constantemente durante el periodo de sequía para caer luego bruscamente durante el breve periodo de lluvia.” El hecho de que p^* indica las fluctuaciones diarias y anuales en la misma planta, muestra según WALTER y KREEB (1970), que tampoco las plantas homoihídricas (con humedad propia) no pueden mantener en forma constante la hidratación en las células bajo condiciones exteriores alternantes. De modo que las condiciones exteriores ejercen un efecto sobre el plasma. Mediante un estudio del p^* se puede reconocer la fuerza del impacto sobre la planta. “Constatando que las mismas especies muestran valores p^* más altos en una localidad que en la otra, podemos concluir de ello, que la primera ofrece a las plantas condiciones menos favorables.” Este punto de vista de la perspectiva fisiológica vegetal es el resultado de estudios, cuyo comienzo data de casi 100 años atrás, y que fueron desarrollados especialmente por WALTER y sus alumnos.

Una alta concentración de sal (relación: volumen de sal/volumen de agua) en el suelo tendría un efecto fisiológico, ya que la misma produce una presión osmótica potencial p^* mayor que las soluciones edáficas (una alta presión osmótica potencial p^* es equivalente a un bajo potencial osmótico $-p$). Según ZIEGLER (1978) p^* es la concentración c dependiente de la temperatura de sales, azúcar, ácidos orgánicos y otras sustancias similares disueltas en una solución. Para materias no disociadas por lo tanto vale:

$$p^* = c \cdot R \cdot T$$

siendo p^* en bar, c concentración en mol/litro, T la temperatura absoluta en Kelvin (K) y R la constante de gas $8,3143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

En las sustancias disociadas la presión osmótica potencial está aumentada por la concentración relativamente incrementada de dichas partículas disueltas, de modo que se debe tener en cuenta también el coeficiente isosmótico. Esta circunstancia tiene implicaciones sobre la comparabilidad directa de los resultados de medición, que se obtienen a través de las mediciones de conductividad o el descenso del punto de congelación (crioscopia). La conductividad considera solamente las sustancias en disociación (que predominan, por mucho, en los suelos salinos), mientras la crioscopia abarca la suma de las sustancias osmóticamente efectivas, es decir también las no disociadas. Para las mediciones de comparación planta-suelo-agua del suelo sería importante un método de medición uniforme. El autor realizó mediciones crioscópicas de la presión osmótica potencial interna en muchas especies de plantas.

Desde el punto de vista fisiológico de las plantas (véase KREEB 1974) para un estudio de las condiciones salinas en el suelo no es decisivo el contenido de sal (peso seco) por unidad, sino la presión osmótica potencial de la solución edáfica como elemento parcial del potencial total de la humedad edáfica, que varía según los iones disueltos y el contenido húmedo:

$$\psi_w = t + \pi^* \quad (\text{Nota: Teoría de presión})$$

Potencial total de agua = Presión matriz + Presión osmótica Potencial

$$\psi_w = \psi_m + \psi_\pi \quad (\text{Nota: Teoría del potencial})$$

Potencial total del agua = Potencial matriz + Potencial osmótico

La planta debe compensar la presión osmótica potencial de la solución en el suelo, es decir ella debe mantener la concentración de las sustancias osmóticas disueltas en su organismo siempre un poco mayor.

Ella reacciona a un aumento de la concentración de la solución edáfica (más sal y/o menos agua) con un incremento de su presión osmótica potencial. Para hacerlo ella puede reaccionar flexiblemente mediante la evacuación de agua ("regulación osmótica pasiva") y también puede reaccionar en forma activa a través de la succión de sal adicional desde la zona de enraizamiento, la sintetización o la desintegración de azúcares, ácidos orgánicos y otros medios osmóticos ("regulación osmótica activa"). WALTER y KREEB (1970) señalan que con la concentración salina en el suelo, la planta absorbe solamente la cantidad de sales necesaria "para compensar el efecto osmótico de la solución edáfica. Pero no se sabe en qué forma se realiza dicha regulación". (cita WALTER Y KREEB 1970). Mientras el agua ingresa y egresa flexiblemente en las células vegetales, las sustancias osmóticas (p.ej. las sales) una vez "depositadas", son permanentes, debido a la semipermeabilidad de la membrana intracelular (plasmalemma, tonoplast). Esto significa para la práctica, que con la creciente disponibilidad de sal (por ejemplo por la creciente desecación del suelo) se aumenta el volumen de sal en la planta, el cual se conserva también en los subsiguientes periodos húmedos. De modo que se mide la situación histórica pésima próxima de la correspondiente parte vegetal, la cual puede variar, sin embargo, en forma muy evidente en el curso del día según la actual cantidad de agua en la planta (cuestión de concentración).

Aparte de la adaptación osmótica de la planta a la actual concentración del suelo ("para que el agua pueda correr hacia arriba") la planta debe coordinar también su total potencial de agua con el nivel actual del potencial total del agua edáfica. Esto significa que la capacidad de succión (capacidad de succión) de la planta debe ser más alta que la suma de aquellas fuerzas en el suelo, que retienen el agua en el mismo. Solamente así el agua puede ser extraída del medio suelo. Prevalece la opinión científica de que (véase e.o. SCHÄFFER y SCHACHTSCHABEL (1984)) dichas fuerzas "condicionadas por la matriz" y las osmóticas se suman. (Nota: la capacidad de succión S de la planta se determina por la presión osmótica potencial intracelular p^* y la presión turgor P , de lo que resulta $S = p^* - P$).

Dicha capacidad de succión actual de la planta se puede medir con los cilindros de presión según SCHOLANDER ("bomba SCHOLANDER") con una alta densidad de datos de medición y con una notable exactitud. El autor midió tanto dicha capacidad de succión como también la presión osmótica potencial de las partes vegetales adyacentes de las plantas individuales.

3.2.2 *Medición de la capacidad de succión de las plantas*

Desde que se dispone del método del cilindro de presión según SCHOLANDER et al. (1965) las mediciones de la capacidad de succión en las plantas son realizables en forma relativamente fácil. DUHME (1974) explica el procedimiento de la siguiente manera: Cuando se corta una hoja o una rama, el vaso conductor de agua, bajo tensión, se lanza en la parte cortada de la planta. Si se aplica presión sobre las partes transpirantes, el agua aparece nuevamente en el punto de corte cuando llega a cierta presión. Este valor de presión corresponde a la tensión de succión en este punto específico, la cual en tiempos más recientes se llama también "potencial de agua". Según JANETSCHEK (1982) una hoja o la punta de un brote se introducen en la forma más rápida posible en un cilindro de presión (preferentemente de acero V2a) con el punto de corte hacia afuera. Como consecuencia al aumento lento en el interior de la cámara sale una gota de agua en el punto de corte, tan pronto la presión de la cámara corresponde a la capacidad de succión media de las células de la hoja. Esta presión del cilindro es legible a través de un manómetro (aquí una escala de manómetro 1-100 bar, con una exactitud de ½ bar). Para la generación de presión se utiliza aire de presión en cilindros móviles [aquí se utiliza oxígeno O₂, ya que este gas es fácil de conseguir]. Un equipo SCHOLANDER se consigue a través de negocios especializados y cuesta aproximadamente DM 12.000,- (1994).

Según DUHME y RICHTER (1977) la capacidad de succión vegetal es un resultado complejo de:

- a) Tensión atmosférica (es decir el déficit de saturación de la humedad atmosférica),
- b) Procesos regulativos en la hoja, p.ej. comportamiento de apertura de estomas,
- c) Resistencias de flujo en el sistema entero y
- d) Drenajes previos en la zona de enraizamiento

En la toma de muestra se trata de mantener constantes la resistencia del flujo interno, sacando las muestras siempre a una altura de inserción similar. El gradiente hidrostático es de aproximadamente 1 bar cada 10 m de altura de la planta, y con esto se encuentra dentro del rango de la exactitud aparativa de 0,1 bar por metro (WARING 1970). La **medición de la capacidad de succión al mediodía** demuestra el déficit de saturación de la humedad atmosférica y los drenajes previos en la zona de enraizamiento conducen a valores altos hasta con un facultativo cierre temporal de los estomas al mediodía. **La medición nocturna de la capacidad de succión** demuestra el déficit de saturación de la atmósfera, generalmente más

bajo y va con el cierre de estomas nocturno, lo que produce valores bastante más bajos. En la noche se mantiene casi exclusivamente el drenaje previo en la zona de enraizamiento (Punto d, véase más arriba).

La medición al mediodía proporciona alguna información sobre la capacidad de succión característica de una planta. SLAVIKOVA (1965) clasifica la capacidad de succión máxima de la planta como la característica típica de la especie. La medición nocturna ("pre-dawn") proporciona una impresión sobre el estado actual "más equilibrado" de la planta; a criterio de muchos autores (p.ej. RITCHIE y HINCKLEY 1975) en este momento de medición se produce un equilibrio planta-suelo, la planta puede servir entonces de un tensiómetro biológico.

Ya que una zona de enraizamiento de mayor extensión incluye a una variedad de situaciones edáficas a pequeña escala, obviamente integradas por el valor vegetal, resulta difícil una comparación de los valores de las plantas con los valores del suelo medidos con otros métodos. Con frecuencia falta una idea exacta con respecto a la profundidad y la dimensión de la zona de enraizamiento, que no se identifican a través de la determinación de la capacidad de succión de la planta. Con un abastecimiento de agua más favorable la capacidad de succión teórica es de 0 bar, en la práctica de aprox. 1 bar. Según el tipo de suelo la capacidad de succión vegetal aumenta constantemente desde arena y limo para alcanzar finalmente los valores medibles más altos en los suelos arcillosos secos compactados (pre-dawn aprox. 65-75). Se presume que el punto de marchitamiento convencional (pF 4,2 = 15 bar) se aplica como parámetro para la clasificación de suelos; pero desde el punto de vista ecofisiológico no tiene relevancia.

3.2.3 *Determinación de la presión osmótica potencial de la planta*

La medición de la capacidad de succión se realiza en forma relativamente simple también bajo condiciones de campo desfavorables, pero la determinación de la presión osmótica potencial (según KREEB 1990) requiere tres pasos de procedimiento:

- a) Toma de muestra
- b) Extracción de la savia
- c) Determinación del punto de congelación y cálculos

Se buscan las hojas de las partes de ramas cercanas, en las cuales se realizaron mediciones de la capacidad de succión, embalándolas en bolsitas de plástico impermeables al aire y rotuladas en forma correspondiente. En el laboratorio se determina luego su

peso fresco y a continuación las mismas se matan durante por lo menos 4 horas en el armario desecador a una temperatura de 95°C (para eliminar la semipermeabilidad interna de las células) y luego se secan. Paso seguido las muestras deshidratadas se pesan de nuevo. De la diferencia entre el peso fresco - peso seco se puede determinar el actual contenido de agua de las muestras vegetales. El material de las hojas deshidratadas se pulveriza en el homogenizador grueso (aquí se usan molinillos de café eléctricos) y se pesa una cantidad parcial de aprox. 1 g. La cantidad de agua determinada a través del pesado - o una cantidad exacta múltiple de la misma - se agrega en forma de agua destilada a la muestra correspondiente y el tubo de ensayo se coloca por aprox. 12 horas en un baño de María con una temperatura de 55°C, para disolver todas las sustancias solubles. A continuación de la suspensión se tiene que centrifugar durante 20 minutos con aprox. 3000 r/min y 4°C, para separar las partes sólidas de las líquidas. Con el resto de la solución apipetada, se realiza luego la crioscopia con un osmómetro comercial, es decir se mide el punto de congelación de la correspondiente solución. Entre la depresión del punto de congelación D_i [°C] y la presión osmótica potencial p^* [atm] existe la relación física: $p^* = 0,021 (D_i)^2 - 12,06 D_i$ (KREEB 1977).

En forma análoga con las variaciones diarias y estacionales de la capacidad de succión vegetal varía también la presión osmótica potencial con la alimentación o pérdida de agua en el interior de las células. Todos los factores que conducen a una pérdida de agua en las plantas, favorecen con esto a la concentración de las sustancias osmóticas disueltas y por lo tanto también la presión osmótica potencial de las correspondientes células y tejidos. Aquí, la presión del mediodía también es relativamente alta en comparación con las presiones relativamente bajas de las muestras nocturnas. Bajo la hipótesis de que el actual régimen hidráulico de la planta y del suelo está equilibrado durante la noche ("pre-dawn"), de modo que la planta se encuentra en su fase diurna "más relajada" (v.a.), se podrá interpretar **el valor nocturno** como valor específico del sitio y aplicar el mismo para la caracterización de la zona correspondiente. Especialmente el **valor máximo del mediodía** caracteriza la correspondiente especie de planta. KREEB (1974) señala que la succión de sal no puede ser incrementada en forma arbitraria, sino depende según las especies específicas de la diferente resistencia de las sales del protoplasma. Se debe tener en cuenta que el volumen de sal en el órgano vegetal no disminuye bajo condiciones de humedad más favorables en el medio ambiente de la planta (v.a.), de modo, que el actual volumen de sal se conserva y refleja la históricamente peor situación del suelo.

El autor examinó en el Chaco Central 387 individuos de plantas en 11 localidades en forma sistemática y ecofisiológica, midiendo en cada caso su actual capacidad de succión y la presión osmótica potencial al mediodía y de noche (es decir capacidad de succión: 774 mediciones individuales, y presión osmótica potencial: 774 mediciones individuales).

4 RESULTADOS

4.1 *Relación entre la estructura del monte y las precipitaciones en el Chaco Central Paraguay*

Las relaciones entre la estructura del monte y el sitio elegido fueron investigadas por MITLÖHNER (1990) a lo largo de un gradiente de precipitación pluvial atravesando la parte media del Chaco Central Paraguayo. Esta investigación incluyó las localidades Morosoli cerca del Río Pilcomayo, la localidad Mbuturetá a una distancia de aprox. 80 km, la localidad Pötl a una distancia de aprox. 100 km de la misma, hasta cerca del área de inundación del Río Paraguay detrás de la Estancia Laguna Porá. Este trayecto tiene un largo de 291 km por línea aérea y abarca toda la escala de **sitios zonales** en el Chaco Central. Con respecto a todo el Chaco Paraguayo dichas investigaciones de la vegetación zonal reflejan casi el 63% del total de la superficie de monte (interpretación del mapa de vegetación del Paraguay (ESSER 1982)).

Las superficies para la toma de muestras vegetales abarcaron en cada caso 0,4 hectáreas, el error de la toma de muestras vegetales (aquí error estándar $S_x\%$ del valor promedio del área basal; "área basal" significa: la suma de las superficies básicas a 1,3 m de altura de árbol por hectárea) se encontraba según la localidad entre el 5,1 y 13,4%. El tipo de bosque en estos suelos de monte zonales limosos tipo loess se clasifica como matorral zonal en el extremo occidental, que se transforma luego a bosque seco zonal.

Entre las precipitaciones anuales promedias (N_j) - que se calcularon a base de la interpolación de los valores climáticos de cinco estaciones meteorológicas del Ministerio de Defensa paraguayo - y los más importantes parámetros de la estructura de monte como número de especies, abundancia (número de árboles / ha), área basal (dominancia) y la biomasa nativa existen estrechas correlaciones (véase Fig. 2 a-d).

La cantidad de las precipitaciones anuales en mm corresponde al número anual de litros por m^2 (p.ej. $N_j = 500$ mm corresponde a 500 litros/ m^2/a). Por consiguiente la vegetación reacciona directamente a la disponibilidad de precipitaciones, es decir la cantidad de

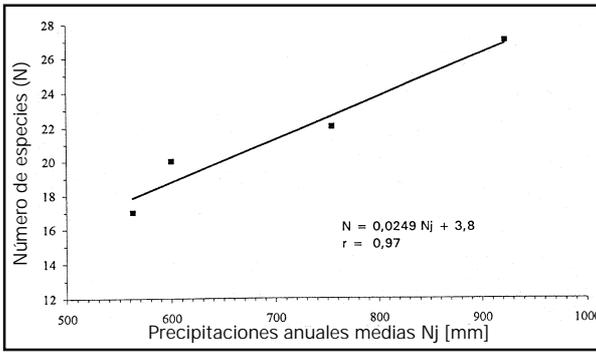


Fig. 2a: Número de especies y precipitaciones anuales medias N_j en mm para las localidades Morosoli (563 mm), Mbuturetá (600mm), Pötl (755 mm) y Laguna Porá (923 mm) en el Chaco Central (MITLÖHNER 1990)

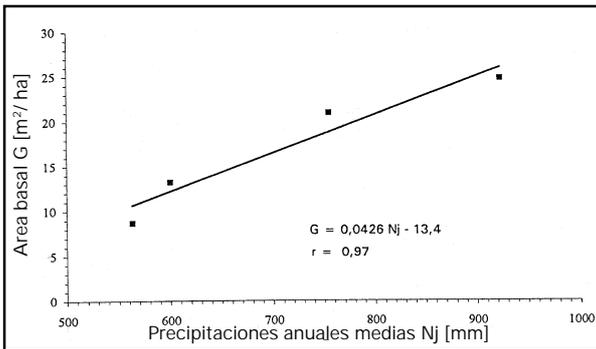


Fig. 2b: Área basal ($G =$ dominancia) en m^2/ha y precipitaciones anuales medias N_j en mm para las localidades Morosoli, Mbuturetá, Pötl y Laguna Porá en el Chaco Central (MITLÖHNER 1990)

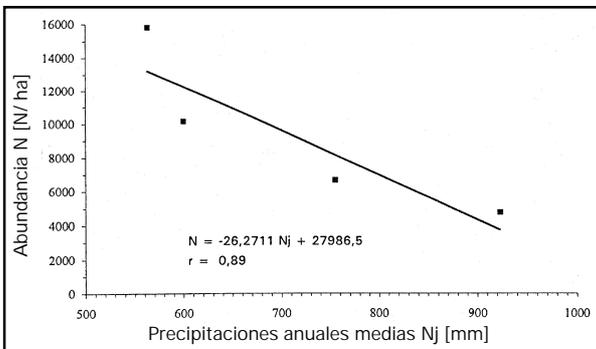


Fig. 2c: Abundancia (número de individuos) en N/ha y precipitaciones anuales medias N_j en mm para las localidades Morosoli, Mbuturetá, Pötl y Laguna Porá en el Chaco Central (MITLÖHNER 1990)

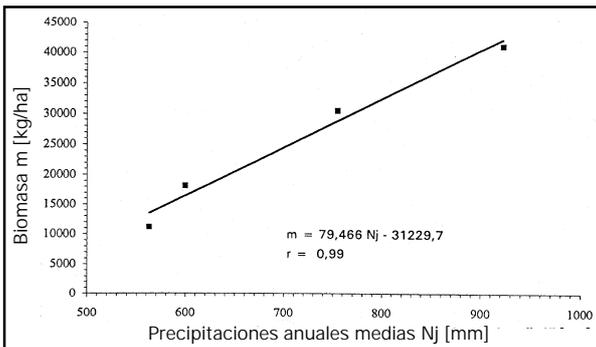


Fig. 2d: Biomasa en kg/ha y precipitaciones anuales medias N_j en mm para las localidades Morosoli, Mbuturetá, Pötl y Laguna Porá en el Chaco Central (MITLÖHNER, 1990)

agua, lo que corresponde a las expectativas, ya que el agua es el factor mínimo también en esta zona seca. **Sitios azonales** y una vegetación correspondiente favorecidas por el agua subterránea o el suplemento de agua superficial (p.ej. en las depresiones, por escurrimiento del agua) son difíciles de estudiar a través de la relación cantidad de agua/estructura de monte, ya que a) la cantidad total de agua (precipitación + agua suplementaria) queda desconocida y b) porque el reconocimiento de los efectos de la inundación (agua estancada) sobre la vegetación requiere otros estudios muy amplios. El “Palmar”, “Viñal”, “Algarrobal”, “Monte alto” y el “Matorral” azonal pertenecen a estos tipos de vegetación favorecidos por agua suplementaria, para los cuales no se puede deducir aquí ninguna relación estructural con las dimensiones del régimen hidráulico. De modo que los datos de la estructura del monte en el Chaco permiten solamente informaciones con respecto a la situación del agua de las sitios zonales.

La alternante dominancia de algunas especies de árboles en localidades que presentan diferentes condiciones salinas y/o tipos de suelo se debe a la amplitud de ligamento de las especies a la localidad. Por esta razón la combinación de las especies es muy variada, a pesar de que p.ej. la biomasa nativa crece casi en forma lineal con el incremento de las precipitaciones anuales medias. Esta independencia de la vegetación total de las variaciones con respecto a las condiciones de sal y/o tipos de suelo en las localidades zonales (dentro de amplios rangos) muestra claramente la necesidad de estudiar justamente los parámetros internos de las plantas, a las cuales se debe obviamente este ancho de ligamento de las especies en cierta localidad. Por esta razón se investiga aquí la presión osmótica potencial en el interior de estas plantas y la capacidad de succión. Este procedimiento posiblemente conducirá a la valoración de la vegetación y de las localidades en forma independiente de los parámetros de la textura del monte, la que por esta razón sería aplicable también a sitios azonales.

4.2 Condición del estado osmótico vegetal

4.2.1 Conexión de las aguas subterráneas en la localidad de Campo Loa

El tipo de vegetación natural es un bosque semicaducifolio (monte seco abierto) (véase Fig. 4), compuesto por cuatro especies de árboles: Schinopsis balansae ENGL. (Anacardiaceae), Astronium urundeuva (ALLEMAO) ENGL. (Anacardiaceae) Tabebuia caraiba (MART.) BUREAU (Bignoniaceae) y Jacaranda mimosifolia D. DON (Bignoniaceae). El

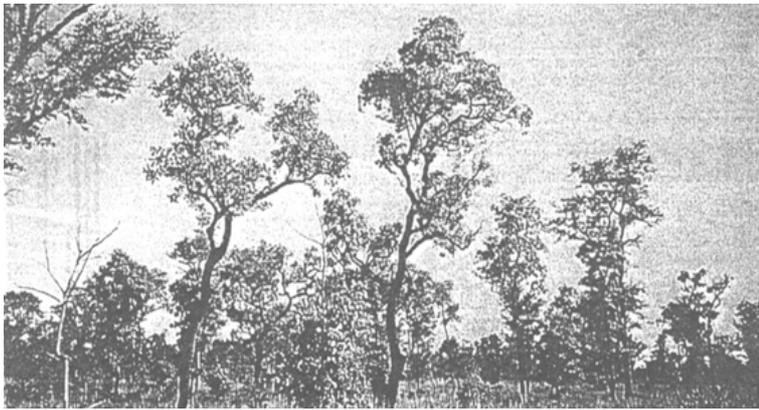


Fig. 4: Bosque semi caducifolio en la localidad de Campo Loa

suelo arenoso está cubierto con plantas hierbáceas y algunas gramíneas. Este monte obviamente conservó mucho de su estado natural, a pesar de que se reconocen los residuos de un incendio parcial. En los suelos tipo monte, salinos limosos-arcillosos, en la periferia del paleocauce, también crece un bosque semi caducifolio. Es un monte muy denso e intransitable, compuesto de aproximadamente 20 especies boscosas. Ninguna especie boscosa de un determinado tipo de sitio aparece en el otro tipo de sitio, a pesar de que los terrenos son adyacentes.

Con respecto a Campo Loa se plantea la siguiente cuestión:

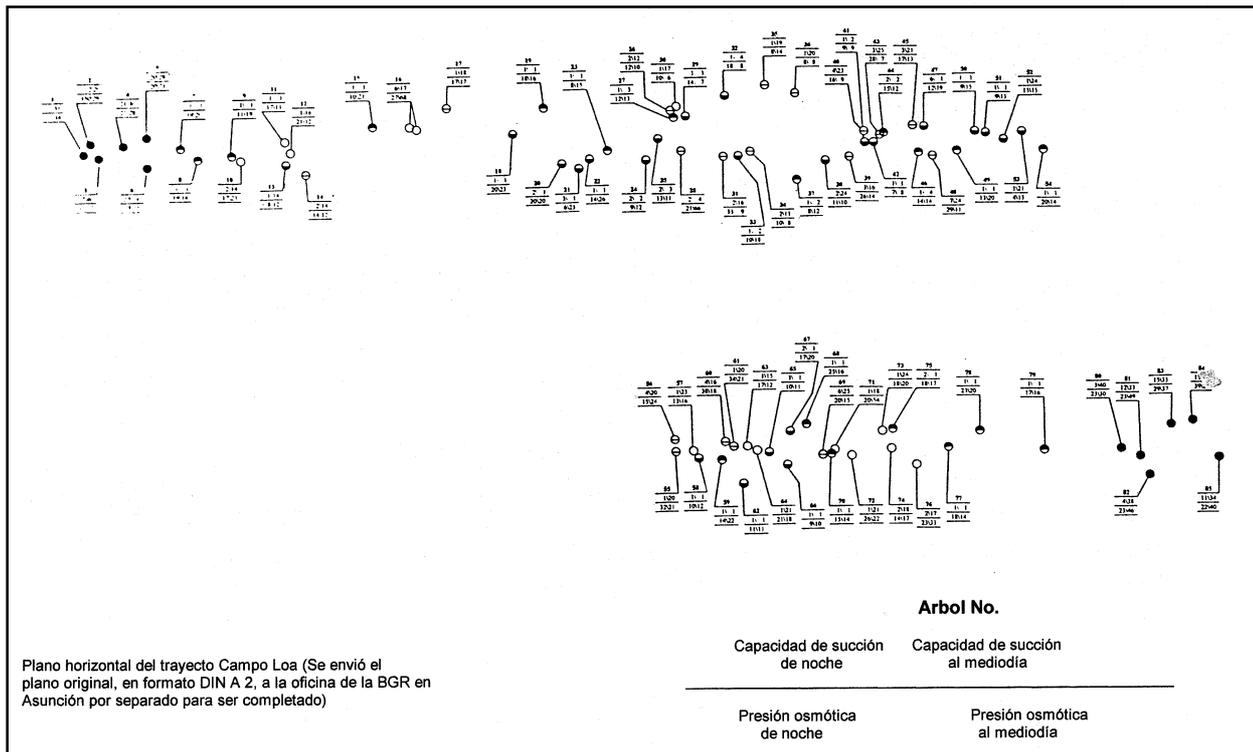
- a) Se puede reconocer agua subterránea en la zona de enraizamiento a través de mediciones ecofisiológicas de la vegetación?
- b) /en caso de una respuesta afirmativa de a) /se trataría de agua relativamente "dulce" o de agua salada?

El área de investigación de la localidad Campo Loa (22°27'S - 60°37'W) es un paleocauce de aprox. 1 km de ancho, apto para la plantación de cultivos agrícolas, que se explota por la población local para la agricultura. Estos terrenos están constituidos por los suelos de monte zonales, que son mucho menos aptos para la agricultura, por un alto contenido en sal completamente inapropiados para la agricultura. En esta localidad básica azonal favorable el proyecto arriba mencionado apoya la búsqueda de agua potable subterránea, realizando e.o. perforaciones

para su explotación como también estudios geoelectrónicos.

Desde el 07. - 13.12.1994 se realizaron mediciones en la vegetación. Para dicho propósito se seleccionó un trayecto, a lo largo de los precedentes ensayos de la BGR, es decir en dirección 30°N. Este trayecto de 600 m marcado con estaquillas a cada 100 metros se extendió en ambas direcciones por un total de 1000 m, para incluir en la serie de mediciones también la dominante especie de árboles *Aspidosperma quebracho-blanco* SCHLECHT (*Apocynaceae*) del tipo "bosque seco" sobre suelos de monte salinos limosos-arcillosos. Este trayecto de 1000 m de largo y 20 m de ancho incluye un total de 85 árboles. En cada uno de ellos se midió la capacidad de succión al mediodía y en la noche como también la presión osmótica potencial al mediodía y de noche.

La capacidad de succión al mediodía en principio es más alta que la nocturna, ya que mayor déficit de sa-



turación de agua diurna excede por mucho a la nocturna. La pérdida de agua produce en la planta una capacidad de succión más alta. En Campo Loa la ca-

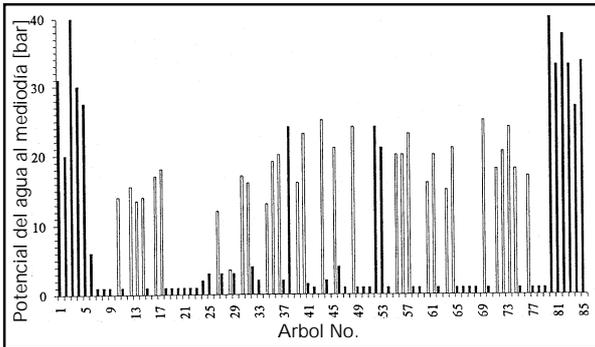


Fig.5a: Capacidad de succión en el interior de las plantas al **mediodía** (-Potencial de agua) en bar a lo largo de un trayecto de 1 km por paleocauce, localidad Campo Loa;

Las columnas oscuras son las especies de árboles *Aspidosperma quebracho-blanco* ("monte" en los márgenes), *Schinopsis balansae* y *Astronium urundeuva* ("árboles grandes"), las columnas claras son *Tabebuia aurea* y *Jacaranda mimosifolia* ("árboles pequeños"); Todos los individuos numerados en forma continua

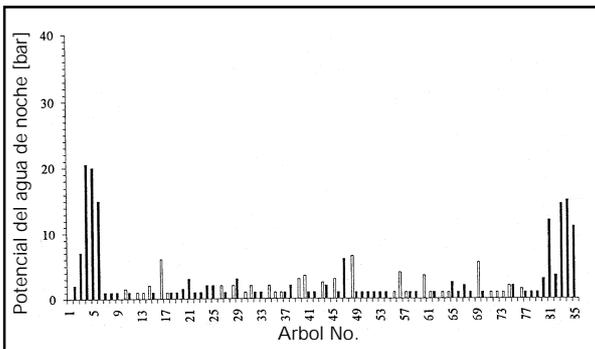


Fig. 5b: Capacidad de succión **nocturna** en las plantas (-Potencial de agua) en bar clasificada según "árboles grandes" y "árboles pequeños"; véase nota con respecto a la Fig.5a

pacidad de succión al mediodía de los "árboles grandes"- *Schinopsis balansae* y *Astronium urundeuva* - se encuentra - a pesar de temperaturas más altas durante el día (temperatura al mediodía 47°C en el sol, 42°C en la sombra; temperatura en la noche 24°C), a la misma altura como el valor nocturno, lo que indica la conexión con agua subterránea "libre". Salvo tres excepciones (árbol No. 38, 52, 53) todos los individuos de estas dos especies de árboles "árboles grandes" tienen un contacto directo con el agua. Las especies de árboles *Tabebuia aurea* y *Jacaranda mimosifolia* -"pequeños árboles"- con dimensiones de tronco llamativamente más angostos y pequeños al contrario tienen una mayor pérdida de agua al mediodía (indicada por la mayor capacidad de succión), pero durante la noche acceden con facilidad al agua disponible. En caso de una profundidad de enraizamiento desconocida, las diferentes especies de árboles pueden indicar un valor nocturno favorable (menor) a) a través de la apertura de los estomas nocturnos de las

hojas y/o b) a través de la ascensión capilar nocturna en la zona del enraizamiento. Las plantas generalmente no pueden cerrar sus estomas.

A base de la medición de la vegetación se puede concluir lo siguiente:

- las especies de árboles *Schinopsis balansae* y *Astronium urundeuva* tienen a diario un contacto de veinticuatro horas con el agua subterránea "libre",
- las especies de árboles *Tabebuia aurea* y *Jacaranda mimosifolia* de dimensiones más pequeñas en general tienen un acceso al agua muy fácil solamente durante la noche, al mediodía se notan claramente dificultades en la disponibilidad de agua (véase también capacidad de succión al mediodía y en la noche),
- la especie de árbol *Aspidosperma quebracho-blanco* sobre el suelo de monte salino mayormente no tiene ningún acceso al agua "libre" (excepciones son el No.2 y probablemente también el No. 80 y 82, que reflejan condiciones favorables en la noche).

De modo que mediante la medición comparativa de la capacidad de succión al mediodía y de noche se

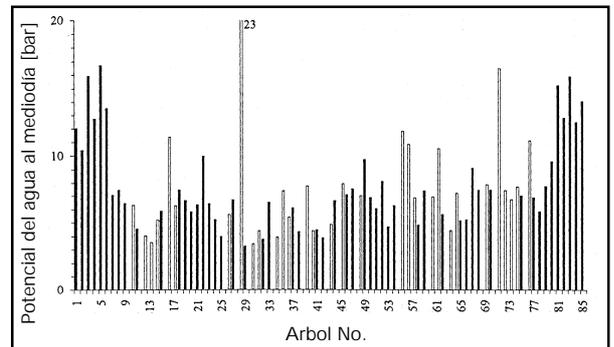


Fig. 6a: Presión osmótica potencial al **mediodía** en el interior de las plantas (Potencial osmótico) en bar para las especies de árboles *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis balansae*, *Astronium urundeuva* (= columnas negras) y *Tabebuia aurea* y *Jacaranda mimosifolia* (= columnas claras) en la localidad de Campo Loa; individuos numerados en forma continua

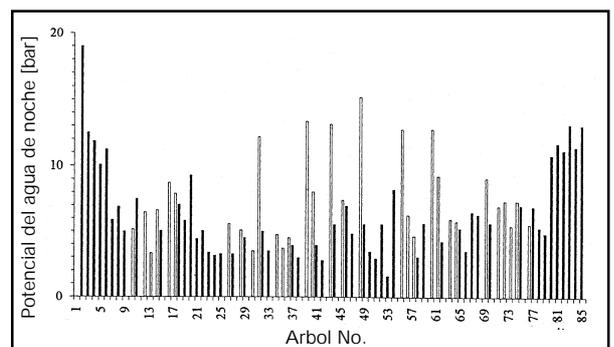


Fig. 6b: Presión osmótica potencial **nocturna** en el interior de las plantas (-potencial osmótico) en bar; véase nota con respecto a la Fig. 6a

podrá contestar aquí la pregunta, si la planta tiene o no actualmente un "contacto con el agua". Los valores obtenidos por la experiencia podrán dar entonces indicaciones, si esta agua está "libre", o ligada a limo o arcilla. Aquí se plantea la pregunta por la calidad del agua, es decir a través del porcentaje de sales disueltas. Aquí el autor trata de obtener conclusiones con respecto al agua de suelo disponible para la planta a través de mediciones al mediodía y nocturnas de las potenciales presiones osmóticas en el interior de las plantas mismas.

Estas mediciones de la presión osmótica potencial al mediodía y nocturnas son interesantes en muchos aspectos. Llama la atención la curva transversal en forma de bañera de los valores de medición en la presentación gráfica columnar, que muestra a grandes rasgos valores más altos al mediodía pero en gran parte también en la noche de la especie de árbol *Aspidosperma quebracho-blanco* en la periferia del suelo de monte. No obstante estos valores tampoco son iguales dentro de esta especie de árbol, sino disminuyen en forma (casi) continua hacia el centro de la "bañera". Esta disminución continua en las especies de árboles *Schinopsis balansae* y *Astronium urundeuva*, para indicar luego en el árbol No. 21 hasta el árbol No. 66 el valor más bajo. Entre estos "árboles externos" - No. 21 y No. 66 -, que obviamente señalan agua con una concentración salina más baja, no existen ningunas variaciones de pequeños espacios, cuyo curso continuo se verifica muy bien por los árboles individuales de diferentes especies. De modo que para la exploración de la misma situación del sue-

lo la especie de la planta es de poca importancia, la planta funciona en la noche mayormente como indicador biológico del suelo. La relativamente buena coincidencia de los valores del mediodía y de los valores nocturnos se debe al hecho de que los individuos, que también al mediodía ya tienen raras veces contacto directo con el agua "libre", muestran también a esta hora del día su "estado más relajado", mientras otros individuos, especialmente los de localidades menos favorables, alcanzan este "estado de relajamiento" recién en la noche antes de la salida del sol. Tab. 1 muestra una comparación de los valores absolutos.

Mediante las mediciones de la vegetación se puede identificar claramente áreas con contenidos salinos más altos y más bajos en el agua subterránea "libre". Esta indicación es independiente de la especie de la planta; la única condición para la misma indicación es la exploración de una zona de enraizamiento idéntica.

La existencia de un bosque seco que reverdece con la lluvia - es decir de un bosque, que pierde su follaje durante los periodos de sequía - bajo condiciones tan favorables parece sorprendente. Pero la población local afirma en forma unánime que todos los árboles pierden sus hojas durante los meses de sequía (junio, julio, agosto) y que en esta época siempre existe todavía agua en el pozo - atravesado por este trayecto.

Realizando la comparación de los datos característicos de la vegetación con los valores de las mediciones edafológicas e hidrológicas de la BGR, se llegó a la conclusión de que se tiene que superar obstáculos metodológicos. Parámetros de vegetación son - en este caso - las especies dominantes de árboles, la altura máxima de crecimiento, cantidad de especies, presión osmótica potencial y capacidad de succión máxima de las especies de árboles igual que el promedio de la desviación estándar de las presiones osmóticas potenciales nocturnas (interior de las plantas) y la capacidad de succión de las plantas (nocturnas). Los parámetros del suelo de la BGR relacionan tipos de suelos, textura, nivel del agua subterránea, además el contenido de sales en el agua subterránea así como también en el suelo superior e inferior. Los datos con respecto al suelo (NITSCH, 1995) han sido elaborados exclusivamente por la BGR y comunicados al autor.

El número de especies no puede ser utilizado como indicador para el clima y el suelo cuando ocurren impactos antrópicos en el bosque. Esto vale también para el parámetro "biomasa", difícilmente elaborado y fácilmente destruido por intrusiones aplicadas. En el mundo, existen cada vez menos "estados originales" en los cuales se encuentran biomasa típica y adecuada a la zona, tanto como número de especies. Sin embargo, se pueden utilizar a veces como indicadores, pero no siempre, la "especie característica" y la "máxima de crecimiento".

| | al mediodía | en la noche |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Capacidad de succión | | |
| <i>Tabebuia aurea</i> | 18,8 ± 3,9 (18) | 2,5 ± 1,6 (18) |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i> | 16,9 ± 5,2 (13) | 1,6 ± 1,4 (13) |
| <i>Astronium urundeuva</i> | 4,3 ± 7,5 (23) | 1,7 ± 1,2 (23) |
| <i>Schinopsis balansae</i> | 1,4 ± 0,8 (19) | 1,1 ± 0,3 (19) |
| <i>Aspidosperma quebr.-blanco</i> | 29,9 ± 9,4 (12) | 11,2 ± 6,6 (11) |
| Presión osmótica potencial | | |
| <i>Tabebuia aurea</i> | 6,7 ± 2,4 (18) | 8,7 ± 3,7 (18) |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i> | 8,9 ± 5,4 (13) | 6,0 ± 1,4 (13) |
| <i>Astronium urundeuva</i> | 5,8 ± 1,8 (23) | 4,5 ± 1,8 (23) |
| <i>Schinopsis balansae</i> | 7,0 ± 0,9 (19) | 5,6 ± 1,3 (19) |
| <i>Aspidosperma quebr.-blanco</i> | 13,4 ± 2,2 (12) | 12,4 ± 2,4 (10) |

*) sin árbol No.2

Tab. 1: Valor promedio y desviación estándar de la **capacidad de succión** vegetal medida al mediodía y a la noche (potencial de agua) y de la **presión osmótica potencial** (potencial osmótico) en bar el 7-13 de diciembre de 1994 en cuatro especies de árboles del paleoauce (bosque semi caducifolio azonal "Campo") y en la especie de árbol *Aspidosperma quebracho-blanco* (bosque zonal "bosque seco") al margen del paleoauce, localidad Campo Loa en el Chaco Central; número de observaciones entre paréntesis

Existen dificultades para una comparación directa de las mediciones de la conductividad eléctrica, medida por la BGR para un concentrado de saturación del suelo. Sin embargo, la planta se puede comparar con el suelo, probablemente sólo a través de datos de la conductividad eléctrica de la solución actual del suelo - es decir, sin efecto de disolución a través de la producción del concentrado de saturación.

Los valores de conductividad del agua subterránea medidos directamente, y de las muestras saturadas de suelo (p.e. en las cercanías de aguas subterráneas) están de acuerdo con las presiones osmóticas potenciales nocturnas de algunas especies de plantas importantes (ver Fig. 7). BRESLER et al. (1982) explican que "In the absence of specific ion effects, crop growth reduction due to salinity is generally related to the osmotic potential of the root-zone soil solution (MAAS and HOFFMANN 1977; BERNSTEIN 1975). With reasonable limits, osmotic potenciales can be related to the electrical conductivity of extracts from saturated soils by the formula.

Y_0 (bar) = -0,36 Ece (mmh₀/cm). Decreasasing osmotic potential has the net effect of reducing the availability of water to plants (despite the ability of the plant to adjust its internal osmotic potential in response to osmotic stress). Therefore, plants growing on saline soils often appear to be suffering from drought".

La presión osmótica potencial en bar se puede deducir de manera casi exacta, de los valores de las conductividades en mS multiplicando con la constante 0,36. En substratos de suelo muy salinos la sal es el medio osmótico más común; el azúcar, ácidos orgánicos etc. no son tan frecuentes.

La curva de los datos fisiológicos de todos los árboles a lo largo del trayecto tiene una forma parecida a una bañera y posibilita una localización de presiones osmóticas potenciales internas mayores y menores.

Al lado de un árbol con menor presión osmótica se realizó una perforación de 26 m de profundidad, denominado "dulce" (NITSCH 1995). Directamente al lado de un árbol con un valor alto se ha realizado otra perforación, con la característica "salada" (NITSCH loc. cit.)

Los datos calculados de las conductividades (NITSCH 1995) comprueban concentraciones salinas dentro de la misma zona de agua subterránea a una profundidad de 22 m: la primera perforación "dulce" produjo para la muestra saturada una presión osmótica potencial (de la solución del suelo) de 2,3 bar; la segunda perforación "salada" produjo un potencial osmótico de suelo de 4,3 bar (perforaciones y mediciones de conductividad realizados por la BGR, NITSCH 1995).

Entre estos valores de aguas subterráneas (Fig. 7) los valores de las plantas se parecen a "pulsos" en forma de una curva sinus; la mayoría de los valores de las plantas provenientes del paleocauce se encuentran enmarcados gráficamente por los valores equivalentes del agua subterránea. El valor más bajo medido con 1,6 bar (árbol N° 53) muestra probablemente el valor más bajo del nivel de agua subterránea actual. En general, existe la probabilidad de que partes de la vegetación están en contacto con el cuerpo de agua subterránea, aunque ésta se encuentra actualmente a 22 m de profundidad.

Sin embargo, una comparación de valores de capacidad de succión vegetal absolutos con tipo del suelo y

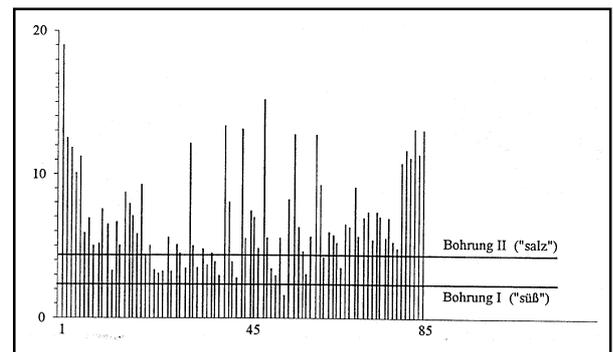


Fig. 7 Presión osmótica potencial a la noche en el interior de las plantas (- Potencial osmótico) en bar para las especies de árboles *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis balansae*, *Astronium urundeuva*, *Tabebuia aurea* y *Jacaranda mimosifolia* en comparación con los valores de la conductividad eléctrica del agua subterránea (datos de la BGR; calculados para presión osmótica potencial en bar); individuos numerados en forma continua

textura no resultaría, porque durante las mediciones respecto al suelo se han creados clasificaciones que no sirven para una cuantificación (p.e. determinación del tipo de suelo a través del ensayo manual "muestreo del dedo"). Además falta probablemente un número índice para integrar diferentes fracciones granulométricas.

Anotaciones complementarias: Mediciones individuales de plantas bajas, tipo hierba y gramíneas, (profundidad de raíces < 80 cm) en el paleocauce mostraron actuales capacidades de succión nocturnas en el interior de las plantas de 1 bar, lo que indica condiciones de agua nocturnas muy favorables. Los valores correspondientes de la única especie de gramíneas existente aquí sobre suelo de monte - *Digitaria insularis* - en contra eran de 46 y 69 bar. Esta especie de gramíneas mostraba los mismos valores nocturnos como la planta boscosa *Ruprechtia triflora* (Polygonaceae).

4.2.2 Diferentes formas de uso de la tierra y profundidades del agua subterránea

4.2.2.1 Localidad de Lindendorf (profundidad del agua subterránea = 3m)

La localidad de Lindendorf (22°33'01" S - 59°44'35" W) ya fue sometida a una minuciosa exploración edafológica y hidrológica por el Proyecto arriba mencionado. Según NITSCH (1994, loc. cit.) el agua subterrá-



Fig. 8: Localidad Lindendorf con una superficie de pastura invadida por arbustos y el bosque seco adyacente en el fondo

nea se encuentra a una profundidad de 3 m. El diseño del ensayo compara un bosque virgen (bosque seco) con un terreno adyacente explotada para la pasticultura, para descubrir las diferencias en el suelo o en la dinámica del agua subterránea como consecuencia de los cambios causados por el uso de la tierra.

El autor realizó sus ensayos en dicha localidad el 2 - 3.01.1995. A dichas fechas precedió un largo periodo de sequía, de modo que casi todos los pastos ya se habían secados. Las especies de árboles importantes de este tipo de bosque "bosque seco" (véase MITLÖHNER 1990) son *Bulnesia sarmientoi* LORENTZ ex GRISEB. (Zygophyllaceae), *Ruprechtia triflora* GRISEB. (Polygonaceae), *Tabebuia nodosa* (GRISEB.) (Bignoniaceae) y *Ziziphus mistol* GRISEB. (Rhamnaceae). La única gramínea que aparece aquí con frecuencia es la *Digitaria insularis*. En la superficie de la pastura se cultivaba *Cenchrus ciliaris* (pasto Búfalo) como planta exótica. Esta superficie de pastura esta expuesta a una fuerte invasión por arbustos de *Acacia aroma* GILL. ap. H. et A. (leguminosa) (Fig.7).

Con respecto a la capacidad de succión en el interior de las plantas *Ruprechtia triflora* supera con aprox.

20 bar (véase Tab.2) a las demás especies de árboles dominantes, que muestran valores relativamente equilibradas de aprox. 45 bar al mediodía y aprox. 35 bar en la noche. Aquí la **superficie del bosque** podrá ser clasificada en dos estratos: sustrato finamente granuloso (obviamente arcilloso) debajo de *Ruprechtia triflora* y otro un poco más grueso (obviamente limoso) debajo *Bulnesia sarmientoi*, *Tabebuia nodosa* y *Ziziphus mistol*. Llamen la atención las relativamente pequeñas desviaciones típicas de los valores medios, lo que indica que las fuerzas de retención de agua del suelo - dentro de las unidades estratificadas - en la superficie son muy similares. El pasto *Digitaria insularis*, que tiene sus raíces muy cerca de la superficie, muestra valores muy altos de aprox. 85 bar. Para esta especie resultó muy difícil determinar su capacidad de succión, ya que casi no había agua en las plantas después del largo periodo de sequía (véase método de medición de la capacidad de succión). Por esta razón se dispone solamente de un valor seguro del mediodía y de la noche para esta especie. Es de suponer, que esta especie de pasto indicará un sustrato finamente granuloso y denso de poca profundidad bajo el suelo.

En la **superficie de pasto** adyacente se cultivaba la especie de pasto *Cenchrus ciliaris* (pasto Búfalo), que también ya se había secado en su mayor parte por el largo periodo de sequía. Aquí, la capacidad de succión también era de aprox. 85 bar, de modo que no mostraba ninguna diferencia con respecto al "pasto del monte". Lo que llamó la atención fue el contraste de la *Acacia aroma* de un "verde saturado" sobre una pastura seca por la prolongada sequía. Esta especie, que en grandes áreas del Chaco Central causa una invasión por arbustos, reduciendo de esta manera el valor

| | al mediodía | en la noche |
|----------------------------|----------------|-----------------|
| Monte | | |
| <i>Ruprechtia triflora</i> | 72,7 ± 7,4 (6) | 65,3 ± 6,6 (6) |
| <i>Bulnesia sarmientoi</i> | 51,9 ± 3,3 (6) | 34,1 ± 4,5 (6) |
| <i>Tabebuia nodosa</i> | 46,8 ± 3,0 (6) | 37,3 ± 5,3 (6) |
| <i>Ziziphus mistol</i> | 43,7 ± 8,4 (6) | 31,8 ± 11,2 (6) |
| <i>Digitaria insularis</i> | 86,0 (1) | 83,0 (1) |
| Pastura | | |
| <i>Cenchrus ciliaris</i> | 83,0 (1) | 84,0 (1) |
| <i>Acacia aroma</i> | | 11,1 ± 3,8 (6) |

Tab. 2: Valores medios y desviaciones típicas de la **capacidad de succión vegetal** medida al mediodía y de noche (-potencial de agua) en bar el 2 - 3 de enero de 1995 para las especies dominantes en la superficie de bosque y en la pastura adyacente, localidad Lindendorf en el Chaco Central; especies de pastos en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis

de las superficies, se incluyó en el programa de medición. Aquí los valores nocturnos muestran valores muy bajos de alrededor de 11 bar, lo que indica con gran probabilidad, que esta especie por lo menos en la noche encuentra agua para la ascensión capilar. Si se trata de agua “libre” la capacidad de absorción nocturna sería - como en el caso de Campo Loa (véase arriba) de aprox. 1 bar.

Esta observación tiene implicaciones para la pasticultura. Si se logra reemplazar esta especie de Acacia aroma con sus raíces profundas por otras leguminosas, las así llamadas leguminosas forrajeras, se podría aumentar probablemente la productividad por superficie en el sentido de un aprovechamiento ganadero.

Después de la descripción de las fuerzas que deberán ser aplicadas para extraer agua del suelo, se podrá concluir a través de la presión osmótica potencial en el interior de las plantas la concentración de sal de dicha agua. Aquí los valores se dispersan enormemente, lo que indica que existen grandes diferencias en la concentración de las sales en el suelo a pequeña escala. Debajo de los árboles de la **superficie de monte** la *Tabebuia nodosa* (nombre local “Labón”) tiene las mayores presiones osmóticas potenciales. Los así llamados “Labonales” - identificados por algunos autores como un propio tipo de monte - en general cubren posiblemente localidades muy enriquecidas en sal sobre material de suelo más bien mullido, limoso. También las desviaciones típicas dentro de las especies comprueban esta gran heterogeneidad local con respecto al factor sal en el monte. En las 6 observaciones paralelas el pasto del monte *Digitaria insularis* no se distingue en el valor medio de la presión y la desviación típica de las plantas leñosas (véase valor nocturno de *Tabebuia nodosa*).

En la **superficie de pastura** adyacente el pasto *Cenchrus ciliata* muestra solamente 20-25 bar, lo que

| | al mediodía | en la noche |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Monte | | |
| <i>Ruprechtia triflora</i> | 17,6 ± 2,2 (6) | 15,0 ± 4,0 (6) |
| <i>Bulnesia sarmientoi</i> | 20,0 ± 10,0 (6) | 17,3 ± 2,8 (6) |
| <i>Tabebuia nodosa</i> | 38,0 ± 7,6 (6) | 21,5 ± 3,3 (6) |
| <i>Ziziphus mistol</i> | 18,3 ± 4,2 (6) | 23,1 ± 17,2 (6) |
| <i>Digitaria insularis</i> | 19,8 ± 7,1 (6) | 26,0 ± 10,1 (6) |
| Pastura | | |
| <i>Cenchrus ciliaris</i> | 10,3 ± 2,8 (6) | 9,8 ± 5,3 (6) |
| <i>Acacia aroma</i> | no se midió | 17,5 ± 2,0 (6) |

Tab. 3: Valor medio y desviación típica de la **presión osmótica potencial** en el interior de las plantas (potencial osmótico) en bar el 2 - 3 de enero de 1995 para las especies dominantes en la superficie de monte y la adyacente superficie de pastura, localidad Lindendorf en el Chaco Central; Especies de pastos en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis

indica que en la zona de enraizamiento el pasto tiene valores relativamente bajos en comparación con la superficie de monte. También la *Acacia aroma* medida en la noche se encuentra en el área inferior de los valores registrados en la superficie de monte.

4.2.2.2 Localidad Santa Sofía (profundidad del agua subterránea = 2m)

La localidad de medición en la Estancia Santa Sofía (22°45'43" S - 59°25'56" W) también fue sometido a una minuciosa exploración edafológica e hidrológica. NITSCH (1994, loc. cit.) midió aquí el nivel del agua subterránea en una profundidad de aprox. 2 m. El diseño del ensayo de un terreno de pastura adyacente a la superficie de monte corresponde a la localidad Lindendorf.

El tipo de monte es un “bosque seco” zonal con adyacentes poblaciones de *Prosopis ruscifolia* GRISEB. (Leguminosae). Las especies de árboles dominantes son también aquí *Ruprechtia triflora*, *Bulnesia sarmientoi* y *Ziziphus mistol*. *Tabebuia nodosa*, que es de gran importancia en Lindendorf, falta aquí. El pasto de monte *Setaria aff. globulifera* también crece en abundancia. En el terreno de pastura se cultivó el

| | al mediodía | en la noche |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| Monte | | |
| <i>Ruprechtia triflora</i> | 70,3 ± 7,0 (7) | 56,1 ± 3,7 (7) |
| <i>Bulnesia sarmientoi</i> | 50,3 ± 5,7 (6) | 48,1 ± 3,8 (6) |
| <i>Ziziphus mistol</i> | 48,3 ± 2,0 (6) | 30,0 ± 4,4 (6) |
| <i>Prosopis ruscifolia</i> | 47,3 ± 3,8 (6) | 31,7 ± 1,4 (6) |
| <i>Setaria aff. globulifera</i> | 64,7 ± 4,1 (6) | 61,6 ± 4,1 (6) |
| Pastura | | |
| <i>Cynodon plectostachys</i> | 22,8 ± 9,9 (6) | 1,1 ± 0,2 (6) |

Tab. 4: Valores medios y desviación estándar de la **capacidad de succión vegetal** medidas al mediodía y de noche (potencial de agua) en bar el 28 - 29 de diciembre de 1994 para las especies dominantes en la superficie de monte y el adyacente terreno de pastura, localidad Santa Sofía en el Chaco Central; Especies de pastos en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis

pasto *Cynodon plectostachys* (“Estrella”). No se produce una invasión por arbustos.

En la **superficie boscosa** la capacidad de succión al mediodía de los árboles *Bulnesia sarmientoi*, *Ziziphus mistol* y *Prosopis ruscifolia* varía alrededor de 50 bar. Las correspondientes desviaciones típicas son mínimas. *Ruprechtia triflora* muestra también en esta localidad valores mayores a aprox. 20 bar, lo que indica la capacidad de poblar sustratos de granulometría fina como nicho ecológico. El orden de precedencia de la capacidad de succión nocturna 1. *Ruprechtia*, 2. *Bulnesia* y 3. *Ziziphus* se repite según la localidad de Lindendorf. La especie de árbol *Prosopis ruscifolia* (Viñal), que forma poblaciones exclusivas puras en la

| | al mediodía | en la noche |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| Monte | | |
| Ruprechtia triflora | 14,7 ± 3,3 (7) | 13,2 ± 2,8 (7) |
| Bulnesia sarmientoi | 20,7 ± 9,0 (6) | 21,0 ± 3,9 (6) |
| Ziziphus mistol | 28,0 ± 9,9 (6) | 26,3 ± 7,7 (6) |
| Prosopis ruscifolia | 16,4 ± 2,9 (6) | 13,1 ± 1,3 (6) |
| <i>Setaria aff. globulifera</i> | 26,1 ± 8,5 (6) | 19,6 ± 4,6 (6) |
| Pastura | | |
| Cynodon plectostachys | 8,9 ± 0,9 (6) | 9,8 ± 3,2 (6) |

Tab.5: Valores promedios y la desviación estándar de la **presión osmótica potencial** en el interior de las plantas (- potencial osmótico) en bar el 28. - 29. de diciembre de 1994 para las especies dominantes en la superficie de monte y la adyacente superficie de pastura, localidad de Santa Sofía; especies de pastos en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis

periferia de esta localidad, demuestra sus valores de aprox. 47 o aprox. 30 bar y con éstos parece más o menos los valores de Ziziphus mistol. Con respecto a la distribución de la granulometría y la densidad del suelo, estas dos especies ocupan el mismo nicho. El pasto de monte *Setaria aff. globulifera* se encuentra con sus valores altos de aprox. 65 bar más o menos en el rango de *Ruprechtia triflora* (véase también localidad de Lindendorf), lo que comprueba que las gramíneas y las plantas leñosas con parámetros de suelo iguales indican lo mismo.

En la **superficie de pastura** adyacente el pasto *Cynodon plectostachys* ("Estrella") tiene un valor de mediodía, que con sus aprox. 23 bar alcanza más o menos la mitad del valor más bajo en la superficie de monte. El valor nocturno en general es de aprox. 1 bar, lo que subraya que este pasto se favorece mucho por el agua subterránea durante la noche.

De una comparación de la presión osmótica potencial en el interior de las plantas de "Estrella" en la **superficie de pastura** resulta que el valor de mediodía y el valor nocturno se igualan con aprox. 9 bar.



Fig.9 : Localidad Laguna Porá con superficie de pastura en primer plano y monte ("Bosque seco" con disperso "Viñal") en el fondo

Este valor equivaldría a los valores de la superficie de pastura de la localidad de Lindendorf.

En la **superficie de monte** la presión osmótica potencial de los árboles es muy heterogénea. Mientras los valores de *Bulnesia* y *Ziziphus* son relativamente altos, las mismas son notablemente menores para *Ruprechtia*. Las especie de árbol *Prosopis ruscifolia* en comparación, que predomina en el tipo de monte azonal "Viñal", presenta con su valor nocturno de aprox. 28 bar valores muy bajos, lo que indica que esta especie de árbol predomina en los "suelos livianos" (véase capacidad de succión nocturna) con una concentración de sal relativamente baja.

4.2.2.3 Localidad Laguna Porá (profundidad del agua subterránea »1m)

Según NITSCH (1994, Loc. cit.) el nivel del agua subterránea en la localidad de Laguna Porá (22°28'41" S - 59°28'05" W) se encuentra a una profundidad de suelo de 1 m. El autor mencionado realiza aquí amplias investigaciones edafológicas e hidrológicas del suelo. El diseño del ensayo, superficie de monte con superficie de pastura adyacente corresponde a las localidades de Lindendorf y Santa Sofía. Como en los casos precedentes el tipo de monte zonal "Bosque seco" se desarrolla aquí con las mismas especies de árboles dominantes *Ruprechtia triflora*, *Bulnesia sarmientoi*, *Ziziphus mostol* y - mayormente en forma apelonada - *Prosopis ruscifolia*. Solamente el pasto de monte *Sporobolus pyramidatus* y el pasto de la superficie de pastura *Panicum bergii* reemplaza los pastos más importantes de las otras localidades. Fig. 9 muestra la localidad.

Según declaraciones de agricultores locales los rendimientos en dicha superficie de pastura disminuyen. Hay grandes superficies, en las cuales los pastos sembrados no crecen satisfactoriamente, de modo que se busca otras opciones de explotación. En esta zona no existe una invasión de la pastura por arbustos.

En la **superficie de monte**, una ancha franja de vegetación natural, que se quedó para servir de rompevientos, la especie *Ruprechtia triflora* presenta el valor más bajo de todos los árboles (aprox. 23 o 11 bar respectivamente, véase Tab.6) al mediodía de la capacidad de succión en el interior de la planta y a la noche respectivamente. Las demás especies de árboles de esta localidad muestran valores nocturnos relativamente equilibrados entre 14 y 24 bar, lo que indica que actualmente no existe ninguna situación de escasez de

agua para este tipo de vegetación. Esto se nota también por la alta diferencia entre el correspondiente “valor de relajamiento” nocturno y “el valor de estrés” del mediodía. En los bosques secos que reverdecen con lluvia en general se observa que poco antes de la caída de las hojas debido a la sequía, se igualan los valores del mediodía y de la noche de la capacidad de succión. Esto significa que durante la “fase de relajación” nocturna la planta experimenta la misma “situación de estrés”, como al mediodía con sus altas pérdidas de transpiración, debido a la creciente escasez de agua. El pasto de monte *Sporobolus pyramidatus* muestra aproximadamente el mismo valor de mediodía como *Ruprechtia*, pero con un valor nocturno muy bajo de 1 bar (un individuo tiene 10 bar). Durante la noche este pasto logra, por lo tanto, una afluencia de agua. Considerando las tres localidades comparadas en forma general, existe esta especie exclusivamente bajo estas condiciones locales especiales (nivel del agua subterránea en una profundidad de 1 m), que indica un valor nocturno de 1 bar.

En el momento de las mediciones la **superficie de**

| | al mediodía | en la noche |
|-------------------------------|-----------------|----------------|
| Monte | | |
| <i>Ruprechtia triflora</i> | 22,6 ± 6,5 (6) | 10,6 ± 4,4 (6) |
| <i>Bulnesia sarmientoi</i> | 28,5 ± 8,2 (6) | 17,8 ± 6,4 (6) |
| <i>Ziziphus mistol</i> | 38,9 ± 7,8 (6) | 23,8 ± 2,3 (6) |
| <i>Prosopis ruscifolia</i> | 46,6 ± 9,8 (6) | 14,1 ± 9,4 (6) |
| <i>Sporobolus pyramidatus</i> | 20,0 ± 12,0 (6) | 2,7 ± 3,6 (6) |
| Pastura | | |
| <i>Panicum bergii</i> | 16,3 ± 7,6 (6) | 1,0 ± 0 (6) |

Tab. 6: Los valores medios y la desviación típica de la **capacidad de succión vegetal**, medida al mediodía y de noche (- potencial de agua) en bar el 6. - 7. de enero de 1995 para las plantas dominantes en las adyacentes superficies de monte y pastura, localidad Laguna Porá en el Chaco Central; especies de pastos en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis

pastura estaba cubierta por escasas gramíneas y algunas plantas cubridoras de suelo tipo herbáceos. Los seis individuos de la muestra del pasto *Panicum bergii* se encontraban en forma dispersa en la superficie. Según el pasto del monte el valor más alto del mediodía llega aprox. a 16 bar y, el valor nocturno a 1 bar. De modo que esta superficie no mostró ninguna situación de escasez de agua para la vegetación en el momento de las mediciones. La situación de agua (capacidad de succión) de la superficie de pastura corresponde a las condiciones de la pastura en la localidad de Santa Sofía.

Los valores nocturnos de la presión osmótica potencial en la **superficie de monte** son muy uniformes si no se consideran algunas pocas “fugas”. Una *Ruprechtia triflora* casi seca, pero obviamente viva todavía, tiene con 218,7 bar el valor más alto constatado por el autor. Llevando a escala la distribución de

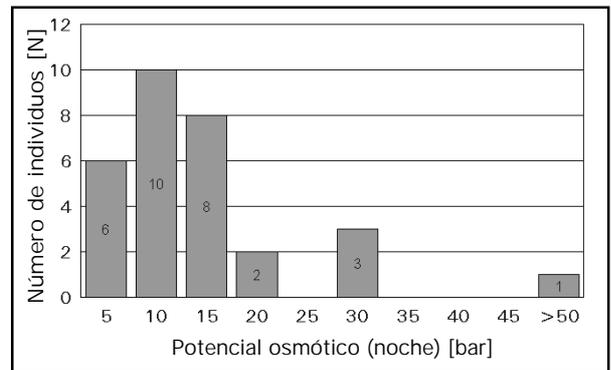


Fig. 10: Frecuencias de la **presión osmótica potencial** (potencial osmótico) en categorías de 5 bar para todas las especies dominantes de la superficie del monte, localidad de Laguna Porá en el Chaco Central.

frecuencias (la potencial presión osmótica medida en la noche de todas las especies registradas en el monte) en categorías de 5 bar se nota la predominancia de las categorías 10 bar. Estos valores deberían ser comparados con la calidad del agua subterránea.

En comparación con las otras localidades los valores del mediodía también son relativamente uniformes. Solamente *Ziziphus mistol* tiene aquí un valor relativamente alto de casi 35 bar.

El pasto *Panicum bergii* tiene la presión osmótica

| | al mediodía | en la noche |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Monte | | |
| <i>Ruprechtia triflora</i> | 10,3 ± 1,3 (6) | *9,4 ± 6,1 (6) |
| <i>Bulnesia sarmientoi</i> | 15,5 ± 2,9 (6) | 14,9 ± 2,4 (6) |
| <i>Ziziphus mistol</i> | 21,7 ± 10,3 (6) | 30,7 ± 16,6 (6) |
| <i>Prosopis ruscifolia</i> | 14,0 ± 1,9 (6) | 11,6 ± 1,0 (6) |
| <i>Sporobolus pyramidatus</i> | 9,3 ± 3,1 (6) | 8,2 ± 3,9 (6) |
| Pastura | | |
| <i>Panicum bergii</i> | 6,3 ± 2,9 (6) | 6,3 ± 2,4 (6) |

*) Sin valor extremo de 218,7 bar => 7,0 + 1,0 (5)

Tab. 7: Valores promedios y la desviación estándar de la **presión osmótica potencial** en el interior de las plantas (-potencial osmótico) en bar el 6 - 7 de enero de 1995 para las especies dominantes en las adyacentes superficies de monte y pastura, localidad de Laguna Porá en el Chaco Central; especies de pasto en letra cursiva, número de observaciones entre paréntesis.

potencial del mediodía más baja de todas las especies en la localidad de Laguna Porá. A pesar del muy buen abastecimiento de agua durante la noche (véase capacidad de succión de 1 bar) el “valor de relajamiento nocturno de casi 6,3 bar es casi tan alto como el “valor de stress” al mediodía. Esto indica que esta especie no puede desarrollar ninguna capacidad adicional para aumentar en forma activa la presión osmótica potencial - p.ej. por la acumulación adicional de sal. La capacidad de enriquecer el volumen de sal en el interior de las células depende de la clase específica de planta y está ligada a la resistencia a la sal del protoplasma.

4.2.2.4 Observación comparativa de las localidades de Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá

Estas localidades seleccionadas, según las profundidades del nivel del agua subterránea de 3m, 2m y 1m, representan unidades locales de grandes extensiones en el Chaco Central. Como se nota en la Fig. 11a la actual capacidad de succión, como reacción de la planta a los parámetros físicos del suelo (distribución granulométrica, textura, estructura, densidad, compactación y la actual cantidad de agua), es más favorable en condiciones de niveles del agua subterránea de menos profundidad. Generalmente Laguna Porá presenta los valores más bajos con respecto a la capacidad de succión.

Esta situación que corresponde a las expectativas se nota especialmente bien por los valores de la capacidad de succión de la noche. En la localidad de Laguna Porá la gran diferencia entre el valor del mediodía y el valor nocturno es igual para todas las especies registradas (plantas leñosas y pasto de la superficie de monte, pasto de la superficie de pastura), lo que en este caso indica, que

1. la localidad presenta un abastecimiento de agua favorable
2. ninguna de las especies registradas presenta dificultades con las fuerzas físicas, que retienen el agua del suelo: granulometría, textura, densidad, cantidad de agua, es decir que las plantas siempre tienen aún suficientes reservas de la capacidad de succión para superar las fuerzas de suelo arriba mencionadas.

Pero esta figura muestra también, que en la localidad de Lindendorf el pasto de monte *Digitaria insularis* (No.6), el pasto de pradera *Chenchrus ciliaris* (No.7) y en la localidad de Santa Sofía el pasto de monte *Setaria aff. globulifera* (No.8) y la especie de árbol *Bulnesia sarmientoi* (No.2) actualmente tienen problemas con su abastecimiento de agua. Si las precipitaciones no comienzan rápidamente, la vegetación reacciona con el secado de los órganos de las hojas o con la caída de las hojas debido a la sequía respectivamente.

Para la **pasticultura** es importante subrayar, que los más importantes pastos de pradera más importantes que se usan en zonas pantrópicas - subtrópicas *Cenchrus ciliaris* (pasto Búfalo; No.7) y *Cynodon plectostachys* (Estrella; No. 9) presentan diferentes aptitudes.

El pasto Búfalo desarrolla una capacidad de succión muy alta (aprox. 85 bar), pero una presión osmótica potencial relativamente baja de "solo" aproxima-

damente 10 bar. Estrella presenta con aprox. 35 bar fuerzas de succión bajas y también una presión osmótica potencial baja de aprox. 10 bar. De estos datos se puede deducir las preferencias de aptitud para estas especies de pastos en las localidades en el presente trabajo. El pasto Búfalo suele crecer en suelos relativamente secos con granulometría fina (limoso-arcilloso) y con alta densidad, pero con un contenido salino relativamente bajo. Estrella al contrario necesita suelos mullidos con tamaños de grano más altos y con menos densidad (limoso-arcilloso) y además - lo que es poco frecuente en el Chaco Central - ningunos o muy bajos contenidos en salinares.

La variación de las presiones osmóticas potenciales en comparación con las capacidades de succión es bastante más alta. La Fig. 11a, b compara dichas presiones en la misma escala.

[Número de la especie de árbol y pasto: 1-

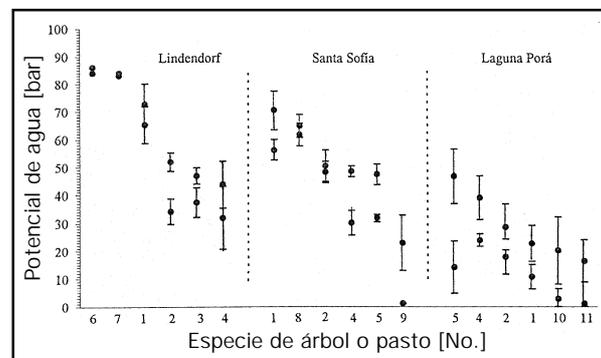


Fig.11a: Los valores medios y desviaciones típicas de la **capacidad de succión** en el interior de las plantas (-potencial de agua) en bar en una comparación de especies importantes de las localidades Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá; puntos oscuros = valores nocturnos.

Ruprechtia triflora, 2-Bulnesia sarmientoi, 3-Tabebuia nodosa, 4-Ziziphus mistol, 5-Prosopis ruscifolia, 6-Digitaria insularis (pasto), 7-Cenchrus ciliaris (pasto), 8-Setaria aff. globulifera (pasto), 9-Cynodon plectostachys (pasto), 10-Sporobolus pyramidatus (pasto), 11-Panicum bergii (pasto)]

Variaciones de pequeñas escala de la concentración

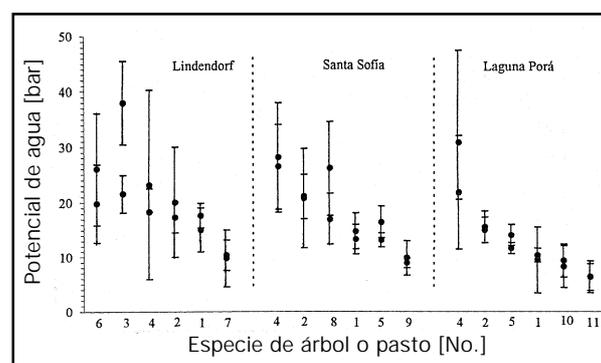


Fig.11b: Valores medios y desviaciones típicas de la **presión osmótica potencial vegetal** (-potencial osmótico) en bar; véase observaciones de la Fig.11a

salinar en el suelo influyen en la vegetación osmóticamente adaptada. En la localidad de Laguna Porá esta desviación estándar del valor promedio de la presión osmótica potencial es muy baja para la mayoría de las especies. En general parece que las desviaciones del valor medio aumentan con la creciente profundidad del nivel del agua subterránea, es decir las localidades se vuelven más y más heterogéneas con respecto al factor de la sal en el suelo cuanto más profundo sea el nivel del agua subterránea. En las tres localidades los valores más bajos son más o menos iguales, pero los más altos se distinguen claramente.

En general la localidad de Laguna Porá parece más bien favorable, aunque justamente los problemas de la explotación de la tierra son tan óbvios en esta zona. La capacidad de succión y la presión osmótica potencial se encuentran, en comparación con las otras localidades, en el área inferior y deberán ser evaluadas por lo tanto como relativamente positivas para la vegetación. La diferencia principal frente a las demás localidades es - con poca variación de los valores - **un ajuste o una coincidencia de los valores respectivamente** de la presión osmótica potencial del mediodía y de la noche, es decir del estado de estrés al actual "estado de relajamiento" de las especies. Aquí existen perspectivas ya tan sólo para *Ruprechtia triflora* (No.1) como también para *Bulnesia sarmientoi* (No.2).

La Fig. 11c comprueba la correlación de los valores de la presión osmótica potencial vegetal interna con los valores de la presión osmótica potencial del agua subterránea en relación con la aproximación a la superficie del nivel del agua subterránea (Lindendorf < Santa Sofia < Laguna Porá). Los valores de la presión osmótica potencial del agua subterránea son los promedios y desviaciones de valores estándar calculados (ver arriba) de todas las mediciones realizadas de las conductividades eléctricas de los terrenos de "monte" tomadas cerca de la superficie del agua sub-

terránea entre el 11.05.1994 y 24.05.1995 (resultados de las mediciones de la BGR; NITSCH 1995). En la localidad Lindendorf este valor promedio contiene 46 mediciones de conductividad, en Santa Sofia 65 y en Laguna Porá 47 mediciones. En general, se puede concluir, que la planta indica la presión osmótica de esta agua, si existe contacto directo entre la planta y el agua.

Número de especies de árboles y/o de pastos:

- 1- *Ruprechtia triflora*, plus mistos, 5- *Prosopis ruscifolia*, 6- *Digitaria insularis* (pasto), 7- *Cenchrus ciliaris* (pasto), 8- *Sectaria aff. globulifera* (pasto), 9- *Cynodon plectostachys* (pasto), 10- *Sporobolus pyramidatus* (pasto), 11- *Panicum bergii* (pasto)

4.3 Tipos de montes azonales

4.3.1 Tipos de montes y de vegetación del Chaco Central

Aproximadamente el 63% del Chaco Paraguayo se constituye del así llamado bosque seco zonal que reverdece con la lluvia, es decir de un tipo de vegetación que existe principalmente por las condiciones macroclimáticas. Las localidades Lindendorf, Santa Sofia, Laguna Porá como también el área exterior del paleocauce en la localidad Campo Loa y la periferia de la Estación Experimental Chaco Central arriba mencionada pertenecen a este tipo.

En una zona, donde el agua obviamente representa el factor mínimo, los cambios dentro del tipo de bosque seco se determinan por condiciones macroclimáticas. Las menores variaciones hídricas causan cambios en las asociaciones de plantas y tipos de vegetación. Desniveles insignificantes conducen a la formación de depresiones de inundación, lagunas y pantanos, cada uno de los cuales alberga luego otros elementos de la flora. Este efecto se intensifica por el contenido de sal en los suelos, que puede llegar a variaciones pronunciadas según el régimen hidráulico. La vegetación azonal se determina en primer lugar por la variación del factor suelo.

En este estudio el Viñal (área externo de las localidades de Santa Sofia y Laguna Porá), el Algarrobal (Friedhofstr. en Filadelfia, Santa Teresita), el Monte alto (Rancho Wall) y Campo (Campo Loa) se consideran en forma más detallada con respecto a posibles correlaciones entre las dimensiones del estado osmótico vegetal y las condiciones especiales de la localidad. Los palmares, por ejemplo, estaban inundados en el momento de las estadías en el campo, los Salitrales sin vegetación (es decir el objeto de medición, la planta, faltaba en gran parte) y los matorrales azonales no se encontraron en la región.

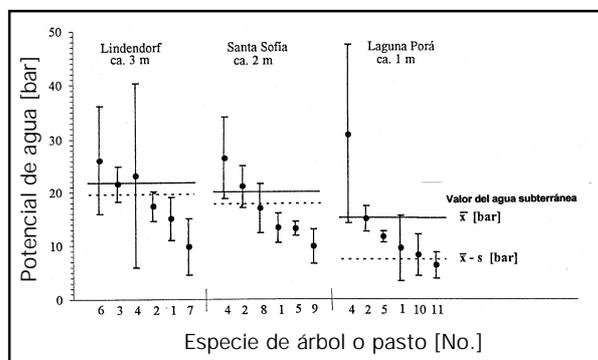


Fig. 11c: Conductividad eléctrica del agua subterránea en bar (\bar{x}) en relación al promedio con la desviación de estándar de la presión osmótica potencial vegetal interna (potencial osmótico) en bar para las localidades Lindendorf (profundidad del agua subterránea » 3m), Santa Sofia (» 2m) y Laguna Porá (» 1 m), ordenados según los valores correspondientes al mediodía de la presión osmótica potencial;

| Tipos y asociaciones de vegetación zonales | |
|---|---|
| Bosque seco | Aproximadamente el 63% de la superficie del Chaco Paraguayo |
| Matorral | Formación del bosque seco parecido a un zarzal en el Chaco Boreal con muy escasas precipitaciones |
| Tipos y asociaciones de vegetación azonales | |
| Palmar | Sabana de palmas y sabana húmeda en el 14% de la superficie, temporalmente bajo la influencia de inundaciones |
| Viñal | Bajas poblaciones puras de <i>Prosopis ruscifolia</i> |
| Algarrobal | Apariencia en grupos de <i>Prosopis alba</i> |
| Salitral | Mayormente depresiones salinas sin vegetación, parcialmente con halófitos |
| Monte alto | Apariencia en grupos de <i>Calycophyllum multiflorum</i> y <i>Phyllostylon rhamnoides</i> |
| Matorral | Vegetación parecida a un zarzal en las depresiones de inundación en el bosque seco zonal |
| Campo | Bosque seco que reverdece con la lluvia en los paleocauces + arenosos + libres de sal |

Tab.8: Los tipos y asociaciones de vegetación zonales y azonales en el Chaco Central, Paraguay (MITLÖHNER 1990)1

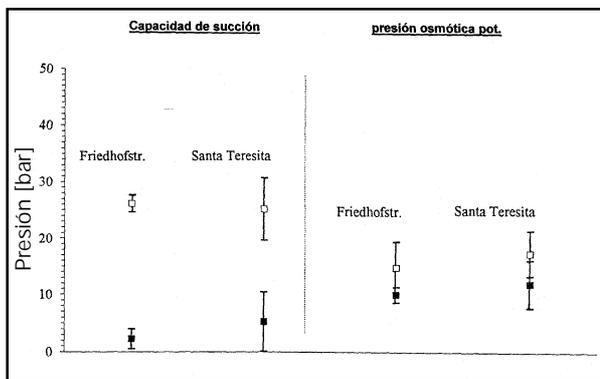


Fig.12: Capacidad de succión vegetal y presión osmótica potencial en bar para el árbol *Prosopis alba* el 19 - 22 de diciembre de 1994, localidades Friedhofstraße/Filadelfia y Santa Teresita en el Chaco Central; Valores nocturnos = puntos oscuros

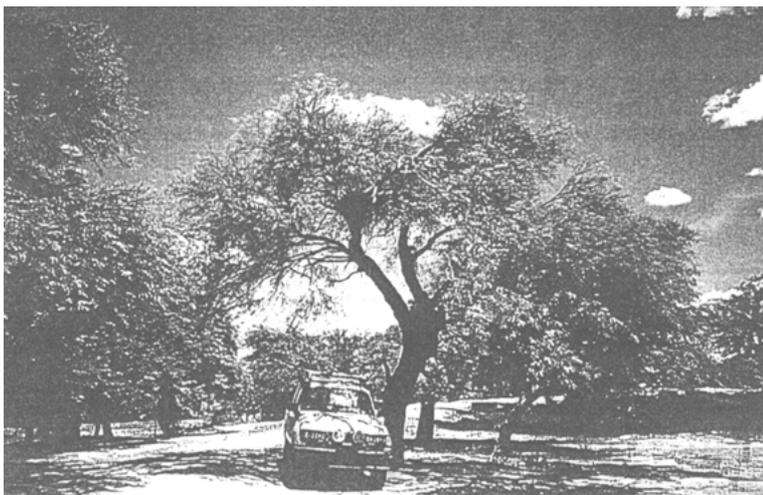


Fig. 13: *Prosopis alba* (Algarrobo) en Santa Teresita

4.3.2 Agua subterránea suplementaria como condición local para algarrobales

La apariencia de agrupaciones de *Prosopis alba* GRISEB. (leguminosae) y raras veces también

Prosopis nigra (GRISEB.) HIERON. (leguminosae) indica, según declaraciones de la población local, agua subterránea. Estas especies se usan por consiguiente como bioindicadores o indicadores de localidad. Según ESSER (1982) estas especies son siemprevivas, es decir que tienen follaje también en el periodo de sequía.

En las dos localidades Friedhofstraße en Filadelfia (22°20'45" S - 60°01'45" W) y en Santa Teresita a una distancia de aprox. 65 km (22°27'05" S - 60°35'05" W) Algarrobales rebordean las localidades de las perforaciones de agua ya realizadas con éxito (Proyecto CT "Agua para el Chaco" de la BGR/Ministerio de Defensa).

La medición de la capacidad de succión vegetal nocturna indica en la comparación de las dos localidades (Fig.12) el contacto nocturno con agua subterránea, ya que los valores están alrededor de 1 bar o un poco más altos.

El déficit de agua al mediodía se indica por el valor de la capacidad de succión de aprox. 25 bar. Un contacto continuo con el agua subterránea - véase Campo Loa - hace esperar una capacidad de succión con un valor de aprox. 1 bar también al mediodía.

Para llegar a informaciones con respecto a la calidad de agua, es decir, el grado de salinización, es recomendable obtener informaciones a través de la presión osmótica potencial vegetal. A diferencia de p.ej. la localidad de Campo Loa tanto los valores nocturnos como los valores del mediodía con sus aprox. 10 hasta 20 bar son mayores, de lo que se puede concluir a mayores concentraciones de sal en el agua accesible. Notables son los valores similares en la localidad

Friedhofstraße y Santa Teresita. La Fig. 13 muestra la *Prosopis alba* en la localidad Santa Teresita.

De modo que los Algarrobales, obviamente, pertenecen a la especie *Prosopis alba*, que hechan sus raíces cerca del agua subterránea, indicando de esta manera el agua subterránea; pero al mediodía llegarían a sufrir de los déficits de agua en el área de las raíces. Esta especie es por lo tanto una planta apropiada para indicar agua subterránea, a pesar de que el área de enraizamiento se encuentra encima "del nivel del agua subterránea". Al mismo tiempo, la amplitud de las presiones osmóticas potenciales medidas en la noche en las dos localidades es muy diferente. Los valores de Friedhofstraße oscilan alrededor de 10 bar. Dichos valores deberían ser comparados con los análisis de agua.

4.3.3 Condiciones locales de "Monte alto"

Las agrupaciones en pequeños espacios de *Calycophyllum multiflorum* GRISEB. (Rubiaceae) y el con frecuencia asociado *Phyllostylon rhamnoides* (POISSON) TAUBERT (Ulmaceae) sirven a los constructores de tajamares como indicadores de un terreno favorable para su propósito. Para este fin se realizan excavaciones en forma de bañera hasta una profundidad, donde termina el substrato arcilloso del suelo. La escasez general de agua de las empresas ganaderas conduce a una utilización correspondiente de estas localidades importantes y la consiguiente eliminación de una gran parte de la vegetación natural.

En la localidad Rancho Wall (22°16'02" S- 60°01'45" W) en la cercanía de Filadelfia crece, aparte de las especies principales arriba mencionadas, también *Ruprechtia triflora*.

| | al mediodía | en la noche |
|----------------------------------|----------------|----------------|
| Capacidad de succión | | |
| <i>Calycophyllum multiflorum</i> | 57,2 ± 6,9 (6) | 50,5 ± 5,7 (6) |
| <i>Phyllostylon rhamnoides</i> | 55,5 ± 5,4 (6) | 48,0 ± 5,5 (6) |
| Presión Osmótica Potencial | | |
| <i>Calycophyllum multiflorum</i> | 13,8 ± 3,2 (6) | 11,3 ± 1,7 (6) |
| <i>Phyllostylon rhamnoides</i> | 15,9 ± 7,7 (6) | 10,4 ± 2,6 (6) |

Tab.9: El valor promedio y la desviación estándar de la **capacidad de succión** medida al mediodía y de noche (-potencial de agua) y de la **presión osmótica potencial** (-potencial osmótico) en bar el 15 - 16 de diciembre de 1994, localidad Rancho Wall, Chaco Central; Número de las observaciones entre paréntesis

Los **valores de succión** del mediodía y de la noche son muy parecidos para ambas especies de árboles, lo que caracteriza muy bien las actuales condiciones de sequía. Con un posible ajuste del valor del mediodía y el valor de la noche, se alcanzaría el punto de marchitamiento permanente, lo que conduce a una caída de hojas causada por la sequía. Las capacidades de succión de las especies son muy nivelados y altas -lo que se puede comprobar muy bien, teniendo en cuenta la casi constante apariencia conjunta de *Calycophyllum multiflorum* y *Phyllostylon rhamnoides*- con frecuencia también *Ruprechtia triflora*.

También la **presión osmótica potencial** es relativamente parecida para ambas especies, pero en comparación con el bosque seco (Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá) los valores son mucho más bajo. Por consiguiente la concentración de sal en el suelo es menor de modo que las condiciones para la vegetación en general son más favorables.

Capacidades de succión relativamente altos y presiones osmóticas potenciales comparativamente más bajas confirman que este tipo de bosque (monte) cre-

ce en una depresión de inundación arcillosa de poca profundidad, en la cual se escurre temporalmente también en forma lateral el agua superficial dulce. Agua superficial salada resultaría en el curso de periodos prolongados en acumulación de sal es debido a esto, a presiones osmóticas potenciales bastante más altas. Las condiciones de agua más favorables, al menos temporalmente gracias al parcial suplemento de agua lateral, aparentemente favorecen al mayor crecimiento de las especies de árboles de este tipo, de modo que el nombre local "monte alto" es apropiado.

4.3.4 Sitios preferidas por la *Schinopsis quebracho-colorado* y el *Cercidium praecox*

A poca distancia de la Estación Experimental Chaco Central (22°40'37" S- 59°46'12" W) crecen los árboles *Schinopsis quebracho-colorado* (SCHLECHT.) BARKLEY et MEYER (Anacardiaceae) y *Cercidium praecox* (R. & P.) HARMS (leguminosae). Estas especies características que crecen en todas las partes del Bosque seco zonal y parcialmente en forma dominante muestran evidentes preferencias para ciertas localidades. Los habitantes locales dicen que *Cercidium* es también un indicador para la "existencia de agua aflorante".

| | al mediodía | en la noche |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| Capacidad de succión | | |
| <i>Schinopsis queb. - color</i> | 23,1 ± 3,9 (6) | 11,9 ± 1,2 (6) |
| <i>Cercidium praecox</i> | 35,9 ± 4,3 (6) | 14,9 ± 2,8 (6) |
| Presión Osmótica Potencial | | |
| <i>Schinopsis queb. - color</i> | 11,0 ± 5,2 (6) | 6,5 ± 0,5 (6) |
| <i>Cercidium praecox</i> | 17,7 ± 6,3 (6) | 17,4 ± 6,4 (6) |

Tab.10: Valor medio y desviación típica de la **capacidad de succión** medida al mediodía y de noche (-potencial de agua) y de la **presión osmótica potencial** (-potencial osmótico) en bar el 26 - 27 de diciembre de 1994, localidad Estación Experimental Chaco Central; Número de observaciones entre paréntesis

Los **valores de la capacidad de succión** nocturnos indican para ambas especies una zona de enraizamiento en suelos muy sueltos (granulometría gruesa, baja densidad de compactación), probablemente suelos arenosos. La alta disponibilidad de agua conduce a valores relativamente uniformes de aprox. 12 - 15 bar. Las dos especies de árboles no indican ninguna conexión actual con agua subterránea.

Variaciones pronunciadas de la **presión osmótica límite** señalan que las especies de árboles ocupan diferentes nichos ecológicos. A pesar de que ambas especies crecen en los mismos suelos sueltos, *Schinopsis* prefiere substratos muy (!) pobres en sal (aprox. 6,5 bar, véase también la insignificante desviación estándar), mientras *Cercidium* puede tolerar concentraciones de sal de 17 bar y más.

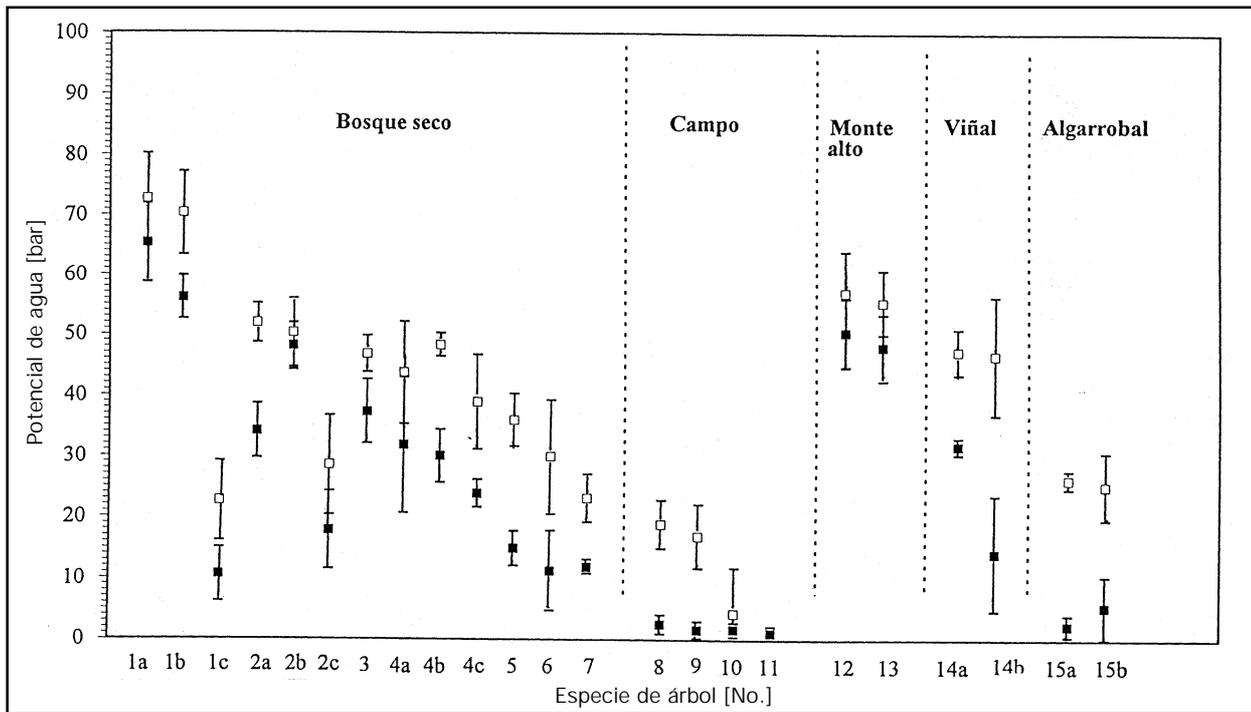


Fig. 14: Capacidad de succión en el interior de las plantas medida al mediodía y en la noche (-potencial de agua) en bar en Diciembre de 1994 y en enero de 1995 para las especies de árboles de los tipos de vegetación bosque seco (zonal), campo (azonal), Monte alto (azonal), Viñal (azonal) y Algarrobal (azonal) en el Chaco Central;

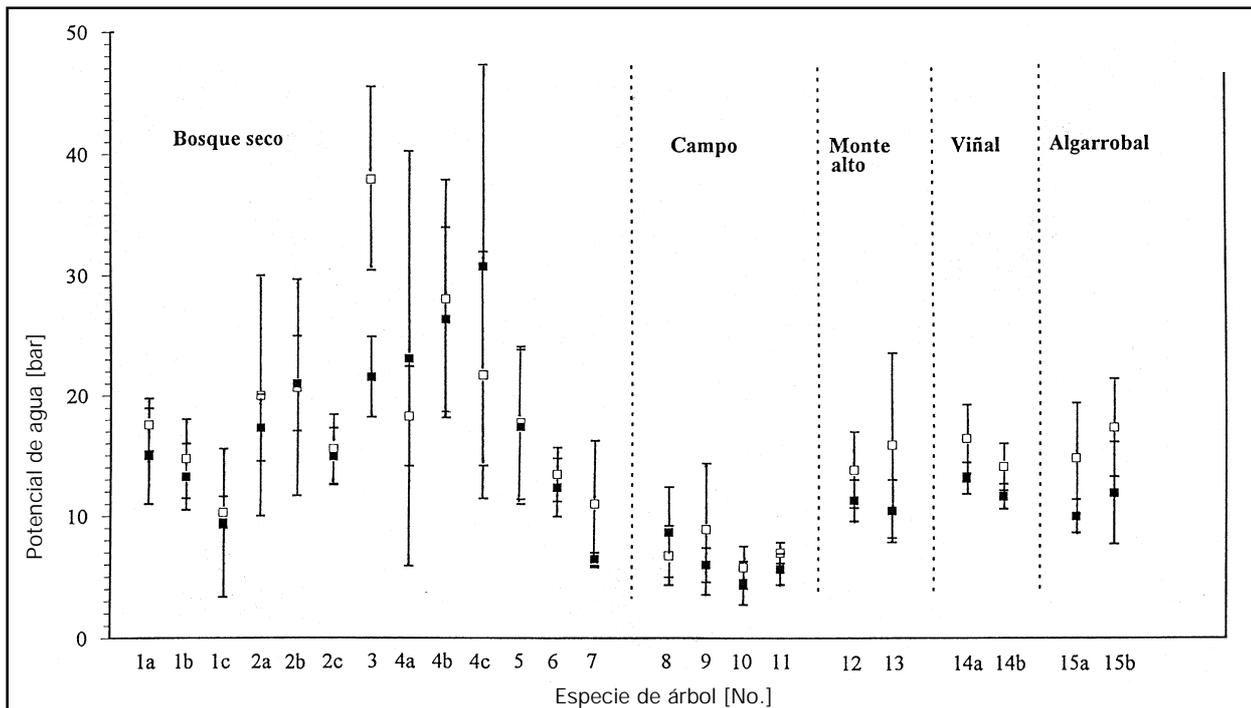


Fig. 15: Presión osmótica potencial en el interior de las plantas medida al mediodía y en la noche (-potencial osmótico) en bar en diciembre de 1994 y en enero de 1995 para las especies de árboles de los tipos de vegetación Bosque seco (zonal), Campo (azonal), Monte alto (azona), Viñal (azonal) y Algarrobal (azonal) en el Chaco Central;

Figs. 14/ 15: Especie de árbol/localidad: 1- Ruprechtia triflora (a- Lindendorf, b- Santa Sofia, c- Laguna Porá), 2- Bulnesia sarmientoi (a- Lindendorf, b- Santa Sofia, c- Laguna Porá), 3- Tabebuia nodosa (Lindendorf), 4- Ziziphus mistol (a- Lindendorf, b- Santa Sofia, c- Laguna Porá), 5- Cercidium praecox (Est. experim.), 6- Aspidosperma quebracho blanco (Campo Loa), 7- Schinopsis quebracho-colorado (Est. experim.), 8- tabebuia aurea (Campo Loa), 9- Jacaranda mimosifolia (Campo Loa), 10- Astronium urundeuva (Campo Loa), 11- Schinopsis balansaea (Campo Loa), 12- Calycophyllum multiflorum (Rancho Wall), 13- Phyllostylon rhamnoides (Rancho Wall), 14- Prosopis ruscifolia (a- Santa Sofia, b- Laguna Porá), 15- Prosopis alba (a- Friedhofstraße/Filadelfia, b- Santa Teresita);

4.3.5 Características de las oscilaciones de vegetación y tipo de localidades a través de parámetros osmóticos vegetales

Realizando una comparación de parámetros osmóticos (capacidad de succión, presión osmótica potencial) medidos al mediodía y de noche para los tipos de vegetación y/o de bosque, “Bosque seco” (zonal) “Campo” (azonal), “Monte alto” (azonal), “Viñal” (azonal) y “Algarrobal” (azonal) en Fig. 14 y Fig. 15 se puede reconocer claramente que los tipos azonales del bosque seco zonal varían conjuntamente con la presión osmótica potencial (viñal), de la capacidad de succión (algarrobal) o también de ambos parámetros (Campo, Monte alto). Estos valores se ubican o cerca o por encima del valor máximo o cerca del valor mínimo o por debajo del Bosque seco “zonal”. El tipo “Monte alto” azonal se caracteriza en un lado por la capacidad de succión de acuerdo al rango máximo correspondiente al “Bosque seco”, por el otro lado por la presión osmótica potencial a su límite inferior.

En consecuencia, a través de este enfoque ecofisiológico se puede realizar una correlación entre los tipos de vegetación y los parámetros de las localidades correspondientes. Además se puede demostrar claramente cuales de los parámetros de de las localidades (granulométris/compactación, concentración salina, volumen de agua) influyen a la formación de tipos de vegetación azonales y cuanta (°) diferencia existe entre éstos y los tipos zonales. Estos tipos se pueden cuantificar y definir exactamente a través de su amplitud fisiológica.

4.4 Dimensiones del estado osmótico de cultivos agroforestales

4.4.1 Algodón y sorgo en suelos salinos

La superficie experimental agrícola cerca de Lindendorf (22°32'20" S- 59°45'27" W) ha sido instalado y se ha mantenido por el Proyecto CT “Estación Experimental Chaco Central” del MAG/GTZ. Esta superficie típica de la región en el así llamado suelo de monte - es decir el muy frecuente suelo zonal limoso-arcilloso con un alto contenido en sal - muestra después del cultivo de algodón y sorgo “lu-



Fig. 16: Lugar sin vegetación en forma circular en un **algodónal** en suelo de monte (en primer plano) terreno experimental agrícola cerca de Lindendorf; observe la disminución de la altura de las plantas hacia el centro del círculo

gares sin vegetación” bastante grandes en forma circular u ovalada. Aquí los cultivos producen o rendimientos bajos o una merma total, lo que en caso de producción extensiva resulta en altas pérdidas (véase Fig. 16).

Las causas de dicho fenómeno muy frecuente en el Chaco se deben según NITSCH (1994) a la metodología del desmonte:

- La extensión del material salino por la aradura
- El arranque de las raíces de los árboles juntamente con el material salino del suelo inferior
- La raspadura del horizonte con menor porcentaje de sal en los troncos y ramas con orugas
- La quemazón de la biomasa
- La dispersión de los hormigueros, que contienen material del subsuelo enriquecido en sal” (cit. s. NITSCH 1994)

Según el estudio in situ de la superficie el autor tenía la impresión de que en los lugares más altos, las anteriores franjas de desmonte niveladas - es decir las franjas que resultan al juntar la biomasa obtenida través del desmonte, condujeron durante la subsiguiente época de plantación en lugares pelados, sin vegetación. Aquí el agua, obviamente, puede tener contacto con sales disueltas en forma vertical y lateral y acumular las sales después de un proceso de evaporación. El autor registró las dimensiones del estado osmótico de seis plantas de algodón y seis plantas de sorgo a lo largo de dos trayectos cruzando los lugares pelados, sin vegetación. Esto sería para verificar a) una concentración más alta de la sal en el suelo y b) la reacción de las plantas a posibles concentraciones mayores de la sal del suelo (Fig. 17).

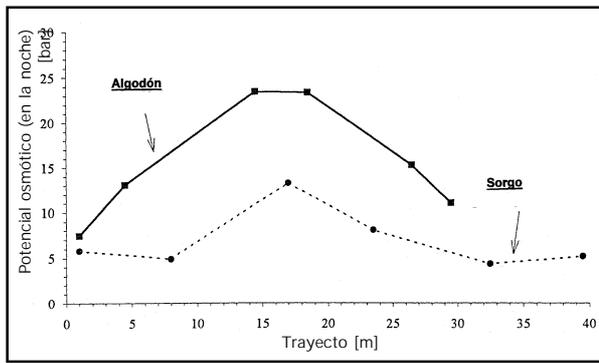


Fig. 17: La presión osmótica potencial medida en la noche (-potencial osmótico) en bar para algodón y sorgo en suelos de monte; superficie experimental agrícola cerca de Lindendorf, Chaco Central, el 9/10 de enero de 1995; trayectos a través de lugares circulares pelados, sin cultivos

Durante esta investigación se midieron plantas relativamente no afectadas, es decir, plantas individuales de altura y follaje “normal” ubicadas en los márgenes de los lugares sin vegetación, también plantas en el centro con evidencias de crecimiento reducido y poco antes de su punto de marchitamiento y, también plantas en un estado entre ambos extremos. Siguiendo el trayecto, se estudiaron por consiguiente de cada especie (algodón, sorgo) 2 plantas “normales” en ambos márgenes, 2 plantas afectadas “regularmente” de ambos lados hacia el centro y 2 plantas “fuertemente” afectadas en el centro. La Fig. 17 muestra la extensión

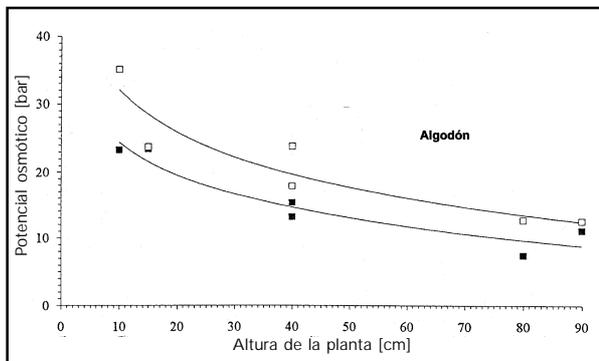


Fig. 18a: La presión osmótica potencial medida al mediodía y de noche (-Potencial osmótico) en bar y la altura de las plantas en cm para algodón; superficie experimental cerca de

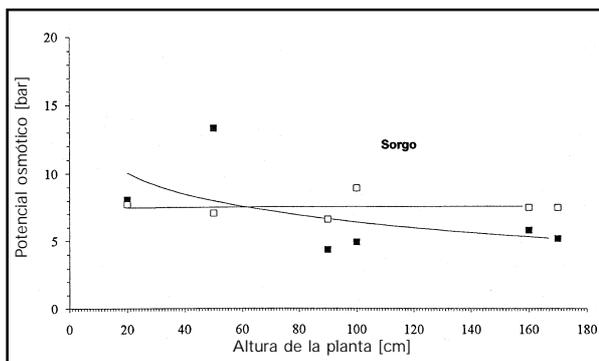


Fig. 18b: La presión osmótica potencial medida al mediodía y de noche (Potencial osmótico) en bar para sorgo; véase nota para la Fig.18a

de la “lente de sal”, que se obtiene a base de la distancia de las plantas y las correspondientes potenciales presiones osmóticas medidas en la noche.

Las crecientes concentraciones de sal hacia el centro se notan por la altura de las plantas, porque la misma disminuye con concentraciones aumentadas (Fig. 18a, b).

En el caso del algodón, es posible el cálculo, para individuos adultos, de la presión osmótica potencial en bar al mediodía y a la noche a través de la altura de las plantas en cm., probablemente según las especies y su clase. En el caso del Sorgo se presenta una tendencia parecida sólo en los valores nocturnos.

| | | |
|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| Algodón | | |
| $Y_{p \text{ noche}}$ | $= 40,789 - 7,106 \ln (h)$ | $[n=6; r=0,96]$ |
| $Y_{p \text{ mediodía}}$ | $= 52,744 - 8,98 \ln (h)$ | $[n=6; r=0,93]$ |
| Sorgo | | |
| $Y_{p \text{ noche}}$ | $= 16,906 - 2,285 \ln (h)$ | $[n=6; r=0,55]$ |
| $Y_{p \text{ mediodía}}$ | $= 7,452 + 0,00075 h$ | $[n=6; r=0,06]$ |

Y_p = Potencial osmótico (presión osmótica potencial) en bar

h = Altura de las plantas en cm

Los valores máximos medidos por el autor respecto al algodón y al sorgo divergan mucho. El algodón desarrolla capacidades de succión aproximadamente dos veces más altas y presiones osmóticas potenciales tres veces mayores en comparación al sorgo. El algodón es apropiado para el cultivo en concentraciones salinas del suelo tipo “monte” - pero se ubica, con sus máximos valores medidos de la capacidad de succión con sólo 38 bar, en el rango inferior de la vegetación original en suelos tipo “monte” (comparar con Lindendorf y Santa Sofía). El algodón necesita, en consecuencia, suelos más “suelos” pero tolera concentraciones salinas del suelo relativamente más altas.

Con respecto a su presión osmótica potencial, el sorgo se encuentra en el rango mediano de la vegetación natural sobre suelos de monte, pero en comparación con el algodón requiere suelos “más sueltos”.

| | Valor máx | al mediodía | en la noche |
|-----------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|
| Capacidad de absorción | | | |
| Algodón | 38,0 | $26,0 \pm 8,4 (6)$ | $10,4 \pm 6,1 (6)$ |
| Sorgo | 21,5 | $17,2 \pm 4,1 (6)$ | $9,3 \pm 2,9 (6)$ |
| Presión Osmótica Potencial | | | |
| Algodón | 31,1 | $20,9 \pm 8,6 (6)$ | $15,6 \pm 6,5 (6)$ |
| Sorgo | 13,3 | $7,5 \pm 0,8 (6)$ | $6,9 \pm 3,4 (6)$ |

Tab. 11: El valor promedio y la desviación estándar de la capacidad de succión medida al mediodía y a la noche (-potencial de agua) y de la presión osmótica potencial (-potencial osmótico) como también el correspondiente valor máximo en bar medido en las fechas 9. y 10. de enero medido en el algodón y el sorgo en la superficie experimental agrícola de Lindendorf, Chaco Central; número de observaciones entre paréntesis

4.4.2 *Aptitud de cultivo de pastos y leguminosas forrajeras seleccionados*

En la Estación Experimental Chaco Central (22°40'37" S - 59°46'12" W) se cultivan actualmente e.o. diversos tipos de pastos y leguminosas forrajeras exóticas para fines de ensayo y documentación. Distribuidos en forma cuadriculada sobre una superficie antigua de Bosque seco -con los suelos tipo monte zonales, salinos, limosos-arcillosos, se podrá esperar informaciones sobre la aptitud de dichos cultivos con respecto a una plantación extensiva. 12 tipos de pastos y 2 de leguminosas forrajeras se midieron de acuerdo a una lista de prioridades de la GTZ con respecto a sus condiciones del estado osmótico. La Fig. 19 muestra la superficie experimental.

En cada parcela rectangular (aprox. 6 x 4 m) con una especie de plantas se realizaron seis mediciones al mediodía y seis mediciones nocturnas de la capacidad de succión y de la presión osmótica potencial. En forma esquemática se seleccionaban muestras de las 4 esquinas del rectángulo y las dos muestras restantes del centro del rectángulo. La Tab.12 muestra estos valores de las especies, que aparecen en su mayor parte con el "nombre comercial", aplicada a nivel internacional y que fueron ordenadas según sus valores más altos medidos aquí.

Los valores máximos de la **capacidad de succión** (es decir los valores actuales más altos medidos en esta localidad) se encuentran entre 56 y 22 bar para los pastos y entre 35 y 16 bar para las leguminosas. En la misma localidad una especie con un máximo alto deberá estar en condiciones de mantener su follaje y los pastos deben mantenerse "verdes" respectivamente por un tiempo prolongado durante la sequía. Al mismo tiempo estas especies más adaptadas aquí están en condiciones de extraer agua también de suelos "más compactos". "Estrella blanca", "Tighton 85" (pasto Bermuda) y el "Pasto Búfalo" se encuentran en el rango de valores altos, mientras "Pangola" y "Bambatsi" indican aproximadamente hasta la mitad de los valores máximos de la capacidad de succión. Generalmente las capacidades de succión medidas en la noche son muy bajas, lo que indica el beneficio actual con respecto al agua subterránea suplementaria. La gran diferencia entre los valores del mediodía y de la noche permiten la conclusión de que actualmente existen condiciones de crecimiento muy favorables con respecto a la capacidad de succión.

Los valores de la presión osmótica potencial varían de igual manera que la capacidad de succión; obviamente la concentración salina en el suelo a pequeña escala es tan heterogénea como la distribución del tipo de suelo, limoso-arcilloso, dominante en esta lo-

calidad. Valores máximos altos actuales de la presión osmótica potencial presenta "Green Panic" "Tighton 85" (Pasto Bermuda) y "Urochloa mozambiquensis". Los valores más altos medidos en los pastos son aproximadamente el triple de los valores medidos en Digitaria milanjana, "Gatton Panic" y "Pangola". Los valores más altos, se midieron en la leguminosa Stylosanthes guianensis var. intermedia "Oxley" con 47 bar.

Al contrario de los valores de succión en dicha localidad existen especies, cuyas presiones osmóticas po-

| | Valor máx | al mediodía | en la noche |
|-----------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| Capacidad de absorción | | | |
| "Estrella Blanca" | 56 | 36 ± 12 | 3 ± 2 |
| "Tighton 85" | 53 | 37 ± 11 | 4 ± 3 |
| "Buffelgras" | 49 | 34 ± 7 | 1 ± 0 |
| "Green Panic" | 46 | 29 ± 14 | 4 ± 4 |
| "Callide" | 43 | 35 ± 6 | 6 ± 4 |
| Digitaria milanjana | 36 | 30 ± 7 | 5 ± 7 |
| Panicum maximum Tanzan. | 34 | 26 ± 4 | 4 ± 3 |
| Brachiana brizantha | 34 | 14 ± 12 | 4 ± 4 |
| Urochloa mozambiquensis | 31 | 24 ± 9 | 5 ± 3 |
| "Gatton Panic" | 27 | 18 ± 8 | 3 ± 2 |
| "Pangola" | 24 | 15 ± 6 | 1 ± 1 |
| "Bambatsi" | 22 | 14 ± 5 | 1 ± 1 |
| Desmanthus virgatus | | | |
| "Oxley" | 16 | 8 ± 5 | 3 ± 2 |
| Presión Osmótica Potencial | | | |
| "Green Panic" | 45 | 28 ± 14 | 7 ± 3 |
| "Tighton 85" | 31 | 19 ± 7 | 9 ± 4 |
| "Estrella blanca" | 26 | 16 ± 6 | 6 ± 2 |
| Brachiana brizantha | 21 | 15 ± 4 | 9 ± 4 |
| Panicum maximum Tanzan. | 19 | 14 ± 7 | 6 ± 2 |
| "Callide" | 17 | 11 ± 4 | 4 ± 1 |
| "Buffelgras" | 15 | 11 ± 3 | 10 ± 3 |
| "Bambatsi" | 14 | 10 ± 3 | 6 ± 2 |
| Digitaria milanjana | 13 | 12 ± 2 | 6 ± 4 |
| "Gatton Panic" | 10 | 4 ± 1 | 7 ± 2 |
| "Pangola" | 8 | 6 ± 1 | 5 ± 2 |
| "Oxley" | | | |
| Desmanthus virgatus | 47 | 27 ± 12 | 13 ± 4 |
| | 33 | 27 ± 4 | 14 ± 2 |

Tab.12: Valores medios, desviaciones típicas y los actuales valores máximos de la **Capacidad de succión vegetal** (- potencial de agua) y de la **potencial presión osmótica** (- potencial osmótico) en bar para **pastos** y **dos leguminosas forrajeras** en la Estación Experimental Chaco Central; 6 observaciones de cada una.

"Estrella blanca" (*Cynodon plectostachys*), "Tighton 85" (*Cynodon dactylon* "Tighton 85"), "Buffelgras" (*Chenchrus ciliaris*), "Green Panic" (*Panicum maximum* var. *trichoglume*), "Callide" (*Chloris gayana* "Callide"), "Gatton Panic" (*Panicum maximum* "Gatton"), "Pangola" (*Digitaria decumbens*), "Bambatsi" (*Panicum coloratum* var. *makarikariense*), "Oxley" (*Stylosanthes guianensis* var. *intermedia* "Oxley")



Fig. 19: Parcelas de ensayo para la verificación de las propiedades de diferentes variedades de pastos y leguminosas forrajeras de la Estación Experimental Chaco Central (MAG/GTZ)

tenciales nocturnas y del mediodía - es decir bajo condiciones de relajamiento y de estrés - casi llegaron a adaptarse: p. ej. "Pangola" y "Pasto Búfalo".

En el caso de comparación de los valores nocturnos mayores a los valores del mediodía de los mismos individuos, puede haber diferentes razones para tales diferencias:

- Debido al cálculo de los resultados individuales en valores promedios,
- Debido a las mediciones realizadas durante periodos de sequía avanzados el recurso de agua en el

| | Valor máx | al mediodía | en la noche |
|-----------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| Capacidad de succión | | | |
| "Pasto Búfalo" | | | |
| a) Lindendorf | 85 | 85 | 84 |
| b) Superficie experimental | 49 | 34 ± 7 | 1 ± 0 |
| "Estrella" | | | |
| a) Santa Sofia | 31 | 23 ± 10 | 1 ± 0 |
| b) Superficie experimental | 56 | 36 ± 12 | 3 ± 2 |
| Presión Osmótica Potencial | | | |
| "Pasto Búfalo" | | | |
| a) Lindendorf | 17 | 10 ± 3 | 10 ± 5 |
| b) Superficie experimental | 15 | 11 ± 3 | 19 ± 3 |
| "Estrella" | | | |
| a) Santa Sofia | 15 | 9 ± 1 | 10 ± 3 |
| b) Superficie experimental | 26 | 16 ± 6 | 6 ± 2 |

Tab.12: Valores promedios, desviaciones estándar y los actuales valores máximos de la **capacidad de succión** vegetal (-potencial de agua) y de la **presión osmótica potencial** (- potencial osmótico) en bar para **dos especies de pastos** en la superficie experimental de la Estación Experimental Chaco Central y en otras superficies cultivadas (Lindendorf, Santa Sofia) en comparación; 6 observaciones de cada uno (Excepción: Pasto de Búfalo Lindendorf 1 observación)

suelo ya no se rellena por la afluencia o un escurrimiento adicional nocturno ("flujo no saturado"). Pero como el valor del mediodía siempre se mide primero y el valor nocturno recién en la noche siguiente, el valor nocturno ya no refleja el "estado de relajamiento" vegetal, sino déficits de agua más altos que los precedentes resultados del mediodía.

c) Debido a las diferencias en el metabolismo C3/C4 de las especies. Especialmente bajo las especies de pastos tropicales es frecuente el tipo C3, es decir estas plantas transpiran durante la noche (con un déficit nocturno de agua mensurable) y se asimilan en el curso del día. Pero con unas pocas excepciones casi todas las plantas pertenecen al tipo C4 con transpiración

(es decir pérdida de agua) y asimilación simultánea. Generalmente durante la noche sus estomas están cerrados.

La Tab. 13 demuestra, que aunque la situación actual del agua y de la sal de las localidades comparadas es diferente, los valores nocturnos demuestran las mayores semejanzas. La excepción extrema - la capacidad de succión nocturna del "Pasto Búfalo" en la localidad de Lindendorf - se debe a la falta de agua suplementaria nocturna. La comparación muestra, que la reacción de las plantas a su ubicación o los factores locales respectivamente se manifiesta según las características de la localidad, ya que los valores de la capacidad de succión y de la presión osmótica potencial son resultados complejos del medio ambiente de la planta. De modo que la planta funciona como integrador de dichos efectos exteriores.

4.4.3 Dimensiones actuales del estado osmótico de especies de eucalipto seleccionadas

Una parte de la superficie experimental en la localidad Isla Poí (22°29'29"S- 59°45'27"W) sirve para una comparación del crecimiento de 11 especies de eucalipto. De cada especie 5 individuos están plantados en una hilera (véase Fig. 20).

Se miden periódicamente los parámetros de crecimiento (altura, DAP = diámetro a la altura del pecho) de los árboles plantados en diciembre de 1992 en suelo arenoso, algo limoso. Mediante dicho ensayo, que se realiza en cooperación entre el SAP (Servicio Agropecuario de los Mennonitas en Loma Plata), la Estación Experimental Chaco Central del MAG/GTZ y el Servicio Forestal Nacional, se espera obtener informaciones sobre la aptitud de cultivo prioritaria de varias especies de eucalipto, especialmente para superficies tipo campo abandonadas. El autor midió las

actuales dimensiones del estado osmótico de todos los individuos. Las investigaciones referentes al crecimiento también deberían basarse en los individuos, para poder verificar posibles relaciones después de una prolongada observación del crecimiento. En la Tab. 14 se comparan las dimensiones del estado osmótico, habiendo realizado 5 observaciones por especie.

Llama la atención la muy baja **capacidad de succión nocturna** en todas las especies, lo que indica la disponibilidad de agua subterránea suplementaria durante la noche. También los valores del mediodía y los valores máximos de la capacidad de succión son relativamente nivelados, de modo que aquí actualmente no son detectables algunas variaciones entre las especies, tampoco dentro de las especies con respecto al tipo de suelo (distribución granulométrica, densidad de compactación, contenido en agua).

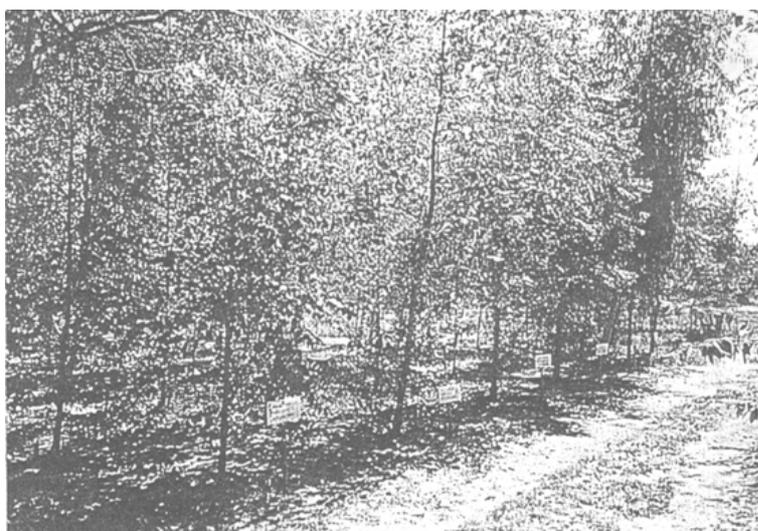


Fig. 20: Experimento de especies con 11 especies de eucalipto en Isla Poi (Servicio Agropecuario de los Mennonitas, Col. Menno)

| | Valor máx | al mediodía | en la noche |
|-----------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| Capacidad de succión | | | |
| E. dunnii | 38 | 26 ± 7 | 1 ± 0 |
| E. urophylla | 34 | 27 ± 5 | 2 ± 1 |
| E. maculata | 33 | 26 ± 6 | 2 ± 1 |
| E. pellita | 34 | 27 ± 8 | 3 ± 3 |
| E. camaldulensis | 33 | 30 ± 3 | 3 ± 3 |
| E. cloeziana | 32 | 28 ± 3 | 1 ± 0 |
| E. viminalis | 32 | 30 ± 3 | 1 ± 0 |
| E. citriodora | 29 | 28 ± 1 | 3 ± 3 |
| E. deani | 29 | 24 ± 5 | 5 ± 5 |
| E. robusta | 29 | 23 ± 4 | 3 ± 3 |
| E. saligna | 29 | 22 ± 4 | 1 ± 0 |
| Presión Osmótica Potencial | | | |
| E. deani | 37 | 18 ± 11 | 11 ± 3 |
| E. cloeziana | 24 | 15 ± 7 | 13 ± 7 |
| E. viminalis | 23 | 12 ± 7 | 17 ± 4 |
| E. dunnii | 22 | 14 ± 6 | 8 ± 1 |
| E. urophylla | 21 | 16 ± 4 | 13 ± 3 |
| E. camaldulensis | 19 | 12 ± 1 | 15 ± 3 |
| E. saligna | 18 | 11 ± 4 | 11 ± 5 |
| E. maculata | 15 | 13 ± 1 | 12 ± 3 |
| E. pellita | 15 | 10 ± 1 | 13 ± 2 |
| E. citriodora | 15 | 10 ± 1 | 11 ± 2 |
| E. robusta | 14 | 10 ± 2 | 9 ± 3 |

Tab.13: Valores promedios, desviaciones estándar y actuales valores máximos de la **capacidad de succión vegetal** (- potencial de agua) y de la **presión osmótica potencial** (- potencial osmótico) en bar para 11 **especies de eucalipto** sobre suelos de "campo", superficie experimental Isla Poi, Chaco Central; 5 observaciones de cada una

De la comparación de la presión osmótica potencial resulta una nivelación prácticamente constante entre los valores nocturnos y del mediodía (excepción: eucalyptus viminalis), sin embargo, existen diferencias pronunciadas entre los valores máximos. El valor máximo actual más alto de E. deani es tres veces mayor en comparación al valor mínimo de E. robusta, lo que indica una mayor adaptación de la especie E. deani con respecto a la adaptación a las condiciones de salinidad en el agua y el suelo y que en consecuencia puede sobrevivir también más tiempo en épocas de sequía que E. robusta. Con respecto a la presión osmótica potencial máxima actual, las especies de eucalipto podrán ser clasificadas, de manera general, entre grupos:

- a) alrededor de 40 bar (E. deani)
- b) alrededor de 20 bar (E. cloeziana, E. viminalis, E. dunnii, E. urophylla, E. camaldulensis, E. saligna)
- c) alrededor de 15 bar (E. maculata, E. citriodora, E. pellita, E. robusta)

5 PERSPECTIVA

Como bioindicadores las plantas caracterizan la situación de agua y de la sal de la localidad. Con la planta elegida como objeto de medición, los efectos del medio ambiente externo (es decir de los factores locales más importantes, como agua y sal) son medibles de manera integrada. La planificación del uso de la tierra con componentes agrícolas y/o forestales requiere, aparte de las informaciones básicas sobre la localidad, dichos modelos del pH de las plantas (individuos, especies, asociaciones de vegetación etc.) en las constelaciones de los factores locales. El enfoque ecofisiológico de una medición de las dimensiones osmóticas vegetales (capacidad de succión, presión

osmótica potencial) tenía el objetivo de complementar los enfoques establecidos de la investigación edafológica e edafológica-hidrológica del suelo. Las condiciones de profundidad de algunos factores de la localidad no son detectables a través del enfoque ecofisiológico; la zona de enraizamiento de una planta individual permanece desconocida sin mediciones edafológicas e hidrológicas. De la fácil disponibilidad actual de agua de la planta no se puede deducir por lo tanto la profundidad del agua que favorece a la planta. Sin embargo, la conexión constante con "agua adicional" subterránea, la conexión temporal, por ejemplo, nocturna o falta de conexión con agua "libre" podrá ser indicada claramente. A través de los valores de las capacidades de succión medidas durante la noche se puede llegar a conclusiones con respecto a la textura del suelo (fracciones granulométricas, densidad y compactación, volumen de agua actual) en forma integrada y su efecto sobre la planta. Suelos "sueltos" muestran valores más bajos (aprox. 10-40 bar), y los suelos "densos" enriquecidos en granos finos (aprox. 40-80 bar) muestran valores altos en todas las transiciones.

Impresionantes son también las comparaciones de las condiciones del estado osmótico vegetal de las localidades Lindendorf, Santa Sofía y Laguna Porá, que muestran las diferencias cuantitativas de las actuales disponibilidades de agua con una profundidad bajo suelo del agua subterránea de 3m, 2m y 1 m (arreglo de ensayos en las superficies experimentales y el diseño de ensayos de la BGR).

En una forma obviamente independiente de la actual disponibilidad de agua arriba mencionada, que se indica a través de la capacidad de succión, la presión osmótica potencial en el interior de las plantas posibilita una información con respecto a la concentración de las sustancias osmóticas con efecto osmótico

(mayormente sales) disueltas en las soluciones en el suelo. El organismo vegetal debe compensar dicha presión osmótica potencial (es decir la concentración) mediante un valor un poco más alto, para facilitar el movimiento y ascenso del agua dentro de la planta como condición básica del transporte de agua osmótico. Si la planta se adapta a su situación específica de suelo a través de la succión de sal, la evacuación de agua, su propia síntesis de azúcar con efecto osmótico, ácidos orgánicos etc., no es decisivo en este caso; la suma de las sustancias osmóticas se mide a través del descenso del punto de congelación (crioscopia) aplicado en la presente investigación.

De modo que la medición de la capacidad de succión como primer paso del programa de medición general indica la disponibilidad de agua actual, el segundo paso, con la medición de la potencial presión osmótica facilita informaciones sobre la calidad del agua (es decir a través de la concentración de sustancias con efecto osmótico en el disolvente agua). Estos dos parámetros, son al menos en el Chaco, decisivos para la vegetación, lo que se documenta en forma impresionante y (probablemente) por primera vez a través de su dependencia y la capacidad de delimitación de importantes asociaciones de vegetación o de monte zonales y azonales respectivamente. En el Chaco el agua y la sal son los factores limitantes para la vegetación como en todas las zonas áridas en general.

La elaboración del orden prioritario de las especies con respecto a su capacidad de succión vegetal y las presiones osmóticas potenciales hace posible una evaluación con respecto a la aptitud de las especies de plantas para su cultivo en localidades específicas. A través del mismo método se puede determinar también los efectos de dichas características locales sobre la planta.

6 BIBLIOGRAFIA

- DUHME, F.**, 1974: Die Kennzeichnung der ökologischen Konstitution von Gehölzen im Hinblick auf den Wasserhaushalt. *Dissertationes Botanicae* 28.
- DUHME, F., RICHTER, H.**, 1977: Druckkammermethode. In: **KREEB, K. -H.**, Methoden der Pflanzenökologie. Stuttgart, New York.
- ESSER, G.**, 1982: Vegetationsgliederung und Kakteenvegetation von Paraguay. *Tropische und Subtropische Pflanzenwelt* 38, Mainz, Wiesbaden.
- JANETSCHKE, H.**, 1982: Ökologische Feldmethoden. Stuttgart.
- KREEB, K. -H.**, 1974: Pflanzen an Salzstandorten. *Naturwissenschaften* 61: 337-343.
- KREEB, K. -H.**, 1977: Methoden zur Pflanzenökologie und Bioindikation. Stuttgart.
- MITLÖHNER, R.**, 1990: Die Konkurrenz der Holzgewächse im Regenrünen Trockenwald des Chaco Boreal, Paraguay. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 54: 1-177.
- NITSCH, M.**, 1995: Versalzungsgefährdung von Böden im östlichen Zentralchaco als Folge nicht angepaßter Rodungsmaßnahmen. Unveröffentlichter Bericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.
- RITCHIE, G.A., HINCKLEY, T.M.**, 1975: The pressure chamber as an instrument for ecological research. In: **MACFADYEN, A. (de.)**, *Advances in ecological research*, vol. 9. London, New York, San Francisco.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P.**, 1984: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BREDSTREET, E.D., HEMMINGSEM, E.A.**, 1965: Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339- 346.
- SLAVIKOVA, J.**, 1965: Die maximale Wurzelsaugkraft als ökologischer Faktor. *Preslia (Prag)* 37: 419-428.
- WALTER, H.**, 1962: Grundlagen des Pflanzenlebens. Bd. 1, Stuttgart.
- WALTER, H., KREEB, K -H.**, 1970: Die Hydratation und Hydratur des Protoplasmas der Pflanzen und ihre öko-physiologische Bedeutung. *Protoplasmatologia* 2, Wien, New York.
- WARING, R.H.**, 1970: Die Messung des Wasserpotentials mit der SCHOLANDER-Methode und ihre Bedeutung für die Forstwissenschaft. *Forstwiss. Zentralblatt* 73: 195-200.
- ZIEGLER, H.**, 1978: Physiologie. In: **STRASBURGER, E. (Begr.)**, **DENFFER v. D. (Bearb.)**, Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Stuttgart, New York.

ANEXO

El desarrollo del viaje y del trabajo

- | | | | |
|------------|--|---|---|
| | | Consulta con el Dr. Reitemayr sobre la localidad de Campo Loa | |
| 26.11.1994 | Viaje a Asunción via Frankfurt, Sao Paulo | 07.12.1994 | Levantamientos de campo en la localidad de Campo Loa, cartografía de la zona elegida, medición de la capacidad de succión de las plantas al mediodía (11.30 - 15.00 horas), recolección de muestras de plantas para la determinación de la presión osmótica potencial en el interior de las plantas, pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 27.11.1994 | Llegada a Asunción a las 12.35 horas Breve entrevista con el Dr. Kruck | 08.12.1994 | Comienzo de las mediciones nocturnas (00:30 - 06:00 horas) , localidad Campo Loa. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 28.11.1994 | Discusión de los puntos principales del trabajo y estudio de los actas en la oficina de la BGR, Asunción, con el Dr. W. Kruck, el Dr. R. Hoffmann y otros colaboradores del Proyecto; Encuentro y coordinación con los participantes en los trabajos de campo en el Chaco | 09.12.1994 | Pesado de las pruebas secas, luego pulverización en el homogenizador grueso del laboratorio |
| 29.11.1994 | Continuación del estudio de los documentos; Adquisición de los cilindros de oxígeno para las mediciones de la capacidad de succión | 10.12.1994 | Continuación de las mediciones al mediodía en la localidad Campo Loa. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 30.11.1994 | Continuación del estudio de los documentos; | 11.12.1994 | Continuación de las mediciones nocturnas, pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 01.12.1994 | Recorrido por la localidad en el Chaco Central con el Dr. W. Kruck y el Dr. R. Hoffmann, presentación de las localidades Estancia Santa Sofía y Lindendorf (primer día de la misión según el Contrato BGR/AN) | 12.12.1994 | Continuación de las mediciones al mediodía en la localidad Campo Loa. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 02.12.1994 | Recorrido por las localidades de Campo Loa y Santa Teresita; En la noche regreso a Asunción | 13.12.1994 | Continuación de las mediciones nocturnas en la localidad de Campo Loa. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 03.12.1994 | Sábado | 14.12.1994 | Inspección y selección del terreno de la localidad Laguna Porá y de km 145 de Puerto Casado con el Dr. A. Glatzle, GTZ. Consulta con el administrador de la Estancia Laguna Porá sobre actuales problemas de salinización |
| 04.12.1994 | Domingo | 15.12.1994 | Identificación de un terreno de "monte alto" cerca de Filadelfia (localidad Rancho Wall), medición de la capacidad de succión de las plantas al mediodía y recolección de material para la determinación de la presión osmótica potencial interna de las plantas al mediodía, pesado y secado de las muestras en el laboratorio, introducción de los auxiliares en su trabajo en el laboratorio |
| 05.12.1994 | Compra de materiales para los trabajos de campo y del laboratorio, adquisición de una centrífuga de la Universidad Nacional, San Lorenzo; Contratación de un empleado para los levantamientos de campo en el Chaco. Breve consulta con el Dr. Reitemayr, BGR | | |
| 06.12.1994 | Llegada en el Chaco Central; Instalación de los equipos de laboratorio en la Estación Experimental Chaco Central del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y de la Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Cruce Loma Plata; | | |

| | | | |
|------------|--|------------|---|
| 16.12.1994 | Mediciones nocturnas, localidad Rancho Wall; pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 01.01.1995 | Domingo |
| 17.12.1994 | Sábado | 02.01.1995 | Mediciones al mediodía localidad Lindendorf. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 18.12.1994 | Domingo | 03.01.1995 | Mediciones nocturnas, localidad Lindendorf. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 19.12.1994 | Mediciones al mediodía localidad tajar "Friedhofstraße" en Filadelfia. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio Continuación de la introducción de los auxiliares de laboratorio | 04.01.1995 | Pesado de las muestras secas, pulverización, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio |
| 20.12.1994 | Mediciones nocturnas, localidad tajar "Friedhofstraße". Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 05.01.1995 | Pulverización de las muestras secas, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio |
| 21.12.1994 | Mediciones al mediodía localidad Santa Teresita, Km. 522 de Asunción. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 06.01.1995 | Mediciones al mediodía, localidad Estancia Laguna Porá. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 22.12.1994 | Mediciones nocturnas, localidad Santa Teresita. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 07.01.1995 | Mediciones nocturnas, localidad Estancia Laguna Porá. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 23.12.1994 | Pesado de las muestras secas y pulverización en el homogenizador grueso en el laboratorio | 08.01.1995 | Domingo |
| 24.12.1994 | Sábado | 09.01.1995 | Mediciones al mediodía en algodón y sorgo a lo largo del trayecto a través de la zona de enriquecimiento de sal en suelos tipo "monte" cerca de Lindendorf (campo de ensayo de cultivos agrícolas MAG/GTZ). Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 25.12.1994 | Domingo | 10.01.1995 | Mediciones nocturnas en algodón y sorgo. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 26.12.1994 | Mediciones al mediodía en dos especies de árboles nativos del Chaco en la periferia de la Estación Experimental. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 11.01.1995 | Mediciones al mediodía en 11 especies de eucalipto en la superficie experimental Isla Poí (Ensayo eucalipto MAG/GTZ). Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 27.12.1994 | Mediciones nocturnas en las dos especies de árboles nativos. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 12.01.1995 | Mediciones nocturnas en 11 especies de eucalipto, pesado y secado de las muestras en el laboratorio |
| 28.12.1994 | Mediciones al mediodía, localidad Estancia Santa Sofía. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio. Consulta con el Dr. H. Winkler, GTZ (último día de la misión según contrato BGR/AN) | 13.01.1995 | Pesado de las muestras secas, pulverización, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio |
| 29.12.1994 | (primer día de la misión según el contrato GTZ/AN) Mediciones nocturnas, localidad Santa Sofía. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 14.01.1995 | Sábado |
| 30.12.1994 | Pesado de las muestras secas, pulverización, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio | 15.01.1995 | Domingo |
| 31.12.1994 | Sábado | 16.01.1995 | Mediciones al mediodía en 12 pastos exóticos y 2 especies de leguminosas forrajeras en la superficie experimental de la Estación Experimental MAG/GTZ. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio |

| | | | |
|------------|--|------------|--|
| 17.01.1995 | Mediciones nocturnas en las especies de pastos y leguminosas forrajeras. Pesado y secado de las muestras en el laboratorio | 28.01.1995 | Sábado |
| 18.01.1995 | Pesado de las muestras secas, pulverización, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio | 29.01.1995 | Domingo |
| 19.01.1995 | Pulverización del material de las plantas secas, pesado de una cantidad parcial, disolución y crioscopia en el laboratorio | 30.01.1995 | Desmontaje de las instalaciones de laboratorio y embalaje correcto de los equipos y materiales de medición enviados de Göttingen Regreso a Asunción |
| 20.01.1995 | Pulverización, pesado, disolución y crioscopia en el laboratorio | 31.01.1995 | Exposición sobre los métodos aplicados y los primeros resultados ante representantes de la BGR, la DOA (Contraparte de la BGR), de la GTZ, del MAG (Contraparte de la GTZ) y del SAP (Servicio Agropecuario de los Mennonitas) en Asunción Consulta con el Dr. W. Kruck y el Ing. Nitsch en la oficina de la BGR, Asunción (último día de la misión según el contrato GTZ/AN) |
| 21.01.1995 | Sábado | 04.02.1995 | Vuelo de regreso Asunción-Frankfurt vía Sao Paulo |
| 22.01.1995 | Domingo | 05.02.1995 | Llegada Frankfurt 14.40 horas |
| 23.01.1995 | Crioscopia en el laboratorio | | |
| 24.01.1995 | Crioscopia en el laboratorio | | |
| 25.01.1995 | Crioscopia en el laboratorio | | |
| 26.01.1995 | Crioscopia en el laboratorio y cálculo de los datos | | |
| 27.01.1995 | Crioscopia en el laboratorio y cálculo de los datos | | |

**Evaluación económica del uso de la tierra
al este de Loma Plata,
Chaco Central - Oriental**

**Problemas de salinización en suelos
de monte en una zona de transición**

por
Fernando Wiens

INDICE

| | | |
|--------------|---|------------|
| 1 | Presentación | 105 |
| 2 | Dinámica Natural | 105 |
| 3 | Dinámica Antropogénica | 107 |
| 4 | Salinización: Indicaciones | 107 |
| 5 | Evaluación Económica | 108 |
| 5.1 | Introducción | 108 |
| 5.2 | Ganadería: Inversiones Básicas y Conceptos | 109 |
| 5.2.1 | Perfil de costos | 109 |
| 5.2.2 | Conceptos | 109 |
| 5.2.3 | Establecimiento ganadero Estancia Tatané | 110 |
| 5.2.3.1 | Análisis económico | 111 |
| 5.2.3.2 | Consideraciones | 112 |
| 5.2.3.3 | Análisis de datos | 112 |
| 5.3 | Ganadería - Agricultura: Perfil y Conceptos | 113 |
| 5.3.1 | Asentamiento rural Neufeld - Col. Hohenau | 114 |
| 5.3.1.1 | Consideraciones económicas | 114 |
| 5.3.1.2 | Análisis de datos | 115 |
| 5.3.1.3 | Evaluación económica: Etapas | 115 |
| 5.3.1.4 | Balance de rentabilidad económica | 115 |
| 6 | Indicaciones - Enfoques | 116 |
| 7 | Referencias Consultadas | 118 |
| Anexo | | 119 |

1 PRESENTACION

La región oriental del Chaco central y la zona de transición hacia el Chaco bajo se caracteriza por fenómenos de salinización en lagunas, arroyos y áreas cultivadas para fines agropecuarios. Consiste en una franja que arranca desde Bahía Negra - Fuerte Olimpo en el norte, pasa por Isla Poi - Estancia Santa Elisa en la parte central y termina en la zona Pirizal - Gral. Díaz en el sur (Fig.1). La franja llega a alcanzar de 50 a 75 km de ancho.

Los fenómenos de la salinización ya son conocidos hace tiempo. Con el avance de la frontera agropecuaria hacia esta zona por asentamientos humanos aumenta cada vez más la influencia antropogénica. El problema de la salinización recobra de esta manera cada vez mayor importancia, ya que puede conducir a pérdidas económicas y ecológicas de consideración.

La salinización consiste en el enriquecimiento de sales en el suelo, que se concentran en niveles superiores a causa del ascenso capilar, alcanzando la influencia de evaporación. La magnitud de la salinización depende del tipo de suelo (capacidad de intercambio catiónico, composición, permeabilidad), del tipo de agua subterránea (salinidad, composición, nivel crítico de saturación) y del tipo de vegetación.

Para evitar una salinización es conveniente evitar la recarga de sales desde el acuífero. Esencial es igualmente la lixiviación de sales del área de influencia de las raíces. Una lixiviación en el área con fenómenos de salinización es imposible, ya que reviste una oferta de agua salada en grandes volúmenes únicamente. Por otra parte se reporta una permeabilidad muy reducida en los suelos salinizados y a causa de la planicie morfológica desarrollada no se instala un sistema de drenaje efectivo. Igualmente no se podrá regular el nivel crítico de saturación para reducir la intensa evaporación y el enriquecimiento de sales en el suelo. También se pudo constatar que la evaporación aumenta al transformar la vegetación de monte natural en pasturas por desmontes hasta 2.400 mm/año (estado natural hasta 1.200 mm/año).

No obstante, el avance de la influencia antropogénica no deberá terminar en una destrucción del equilibrio natural y conllevar a consecuencias económicas desfavorables. El aprovechamiento de la región con fenómenos de salinización deberá reportar un uso sustentable, que reflejará principalmente métodos alternativos a la economía tradicional.

El presente informe es un intento de recopilación de factores y parámetros que rigen el aprovechamiento del establecimiento ganadero Estancia Tatané, instalación ganadera en la región con fenómenos de salinización. Los resultados son establecidos como presen-

tación de la ganancia/ pérdida por hectárea en base a los resultados económicos reales anuales desde 1979 a 1994.

Por otro lado se comparan estos resultados con una explotación agropecuaria combinada de un establecimiento rural fuera del área con fenómenos de salinización en el Chaco central (Col. Hohenau - E. Neufeld) desde 1965 a 1993, con fines de indicar la rentabilidad económica y orientar objetivos.

2 DINAMICA NATURAL

Clima: El clima es continental subtropical, con una estación invernal seca y fresca y una estación estival muy calurosa y húmeda con periódicas lluvias copiosas. La temperatura media anual es de 24°C, con fenómenos de heladas hasta -4°C en invierno y periodos calurosos hasta +45°C en verano. El régimen de lluvias es de 600 a 1200 mm/año, alcanzando una evapotranspiración potencial natural de más de 1200 mm/año.

Suelos: Son característicos suelos de monte con altos contenidos de sales, limosos hasta arcillosos, parecidos al loess con contenidos en nutrientes relativamente altos. Estos suelos son de origen eólico - fluvial y de repetida redeposición fluvial - lacustre. El suelo de monte es el hábitat de hormigas cortadoras (entre otros).

Vegetación: En una morfología plana la vegetación se presenta como denso matorral espinoso, con una cobertura del suelo por bromelias (caragatay), caracterizando una asociación típicamente xerofítica.

Agua: A una profundidad entre 1 a 3 m se ubica el nivel freático del agua subterránea, con concentraciones de sal hasta 4%. Agua dulce es escasamente distribuido como reducidos lentes en áreas más arenosas (menos de 3.000 micromhos/cm). El agua superficial escurre lentamente hacia el este, concentrándose en esparcidas redes de drenaje y predominantemente en lagunas, muchas de ellas con aguas salobres a saladas.

Salinización:

Causas naturales: Son identificados como causas naturales de fenómenos de salinización la muy reducida energía de relieve (planicie), la baja permeabilidad de los suelos, las copiosas lluvias periódicas y las altas tasas de evapotranspiración.

Consecuencias: A causa de las condiciones naturales se registra un movimiento vertical del agua subterránea (movimientos horizontales son reducidos), el estancamiento del agua subterránea, el elevado aporte de sales al sistema por precipitaciones y drenajes, la reducida lixiviación de sales del sistema (escaso movimiento horizontal, escaso escurrimiento), la escasa

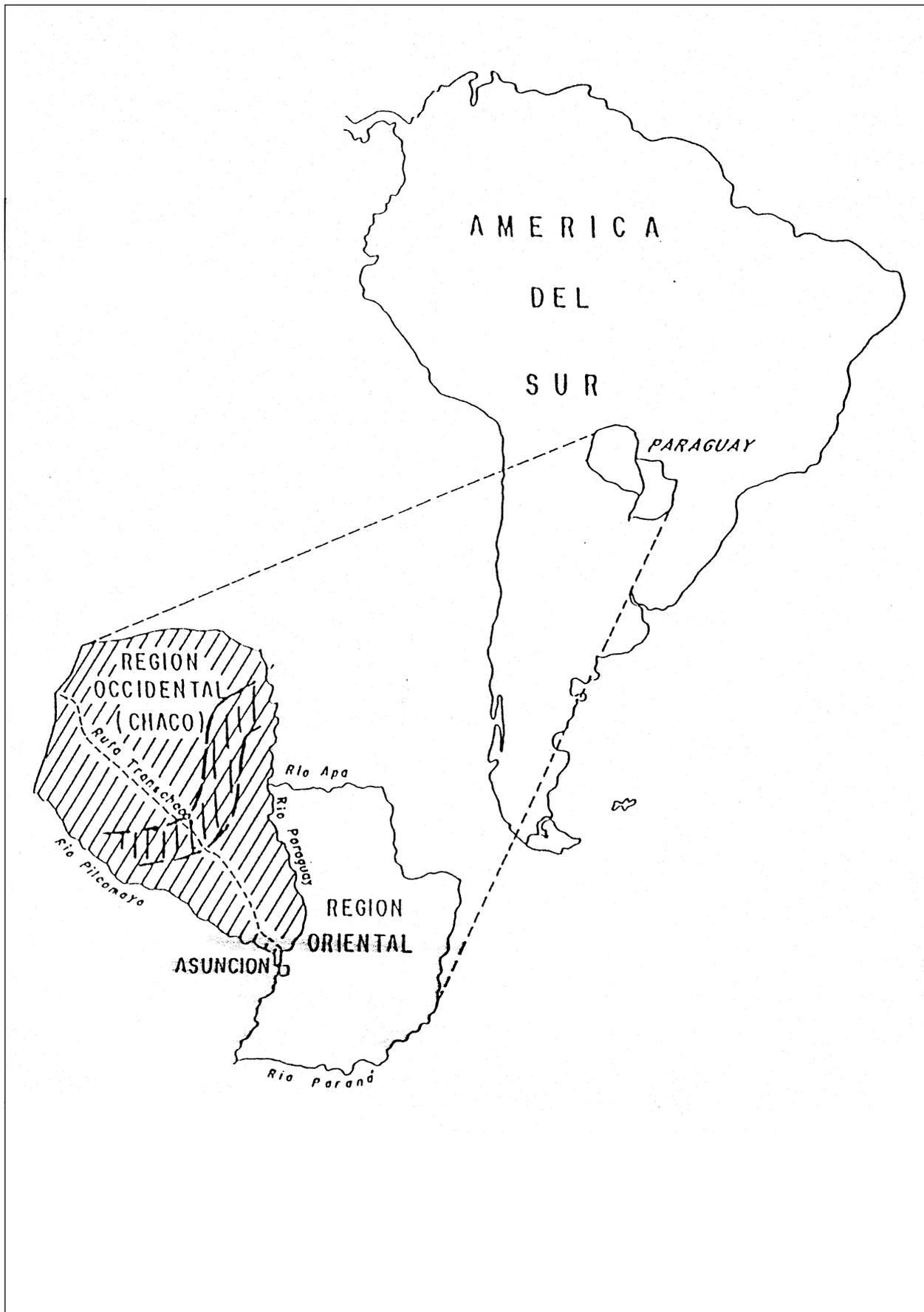


Fig.1: Ubicación del Chaco paraguayo y esquematización de la zona con fenómenos de salinización

profundidad del nivel crítico de saturación y nivel estático del agua subterránea, y el aumento gradativo de la concentración de sales en el sistema (suelo y agua).

Estabilizadores: Pueden frenar y estabilizar los fenómenos de salinización la reducida permeabilidad vertical del suelo, la densa vegetación (mantiene el nivel estático del agua subterránea mas bajo) y las esparsas redes de drenaje (lixiviación de sales del sistema); Nitsch, 1995 y Kruck, 1995.

Equilibrio natural: La vegetación típica del denso matorral espinoso en el suelo de monte estabiliza un equilibrio natural con el suelo y el agua subterránea. Las precipitaciones se filtran lentamente del techo de hojas hacia el suelo, rezumiendo de a poco. La masa de raíces finas frena el movimiento descendente del agua en el suelo; en parte es asimilado. En casos de lluvias mas copiosas las aguas filtrantes lixivian también sales hasta el nivel freático del agua subterránea. En consecuencia aumenta la concentración de sales en el agua y el suelo. Por eso muestra el monte valores de conductividad eléctrica más elevados que campos abiertos (65.700 micromhos/cm y 40.000 micromhos/cm respectivamente); Nitsch, 1994.

La masa de raíces finas favorece igualmente el ascenso capilar del agua y de sales hacia la superficie. El factor indicativo es aquí la tasa de evaporación, de manera que en áreas de monte es mas reducida y en consecuencia el suelo es menos salado. Mientras que en campos abiertos aumenta la evaporación y en consecuencia aumenta la salinización.

3 DINAMICA ANTROPOGENICA

Hasta el año 1524 se distribuyen en el Chaco paraguayo cinco pueblos de sociedades nativas (Samuco, Maskoy, Mataco, Guaraní y Guaicuru), que son nómadas y se dedican a la cacería y colección de frutas / mieles, como también a la horticultura limitada y a la cerámica. Saben tejer y desarrollan diferentes manufacturas.

Hacia el año 1900 se han establecido en el Chaco empresas tanineras, aislados establecimientos ganaderos y algunas misiones cristianas.

Desde el año 1921 se inicia la colonización menonita en el Chaco central, instalándose centros de producción agropecuaria.

Recién a partir del año 1983 comienza una cobertura humana mas extensa e intensiva en el Chaco, bajo condiciones de una mejor infraestructura y parámetros económicos mas favorables. Se registra así un avance acelerado de la frontera agropecuaria, acompañado por importantes inversiones y la fundación cada vez mas significativa de asentamientos humanos. Esto

conlleva un aprovechamiento mas intensivo de las reservas naturales, inclusive en las áreas señaladas con fenómenos sensibles de salinización.

En particular, en el área de referencia se manifiestan algunos efectos directos al sistema natural original a causa de la acción antropogénica moderna:

- Desmontes irracionales: Disminución y destrucción de la cobertura vegetal, acompañada por quemadas indiscriminadas.
- Arados: Aumento de la permeabilidad vertical del suelo, especialmente por la utilización de arados a discos.
- Represas: Incremento de la salinización al evitar un drenaje natural; en particular mediante la represión de arroyos y lagunas, y a veces a través de la red caminera, aunque involuntariamente.

4 SALINIZACION: INDICACIONES

El aprovechamiento de áreas con fenómenos de salinización por actividades agropecuarias causa efectos al equilibrio natural. Con la eliminación de la capa vegetal protectora, las precipitaciones carecen de un filtro frenante y podrán alcanzar directamente el suelo, infiltrarse y disolver mas sales. Aunque momentáneamente se registra una leve lixiviación en los niveles superiores del suelo, aumentará sensiblemente el nivel estático del agua subterránea (salobre a salado) e igualmente aumentará la acción capilar. Aquí el factor fundamental es el nivel crítico de saturación (o sea, la profundidad crítica del nivel estático del agua subterránea y nivel capilar). Tan pronto que la acción capilar conecta el agua subterránea salada con las raíces de la vegetación cultivada o la misma agua subterránea emane a la superficie, se presentan daños debidos a la salinidad, formando hasta mineralizaciones salinas.

El nivel crítico de saturación en el área con fenómenos de salinización se ubica entre 1,50 y 2,20 m de profundidad (Nitsch, 1994-1995).

Son indicios directos de la salinización el aumento de salinidad en el agua subterránea, la concentración de sales por la quema de material desmontado, el incremento de nidos de las hormigas cortadoras y la salinización notada como secuencia de laboreos mecanizados del suelo (Nitsch, 1995).

La influencia antropogénica causa impactos muy variados al equilibrio natural:

- ▶ eliminación del descenso del nivel estático del agua subterránea (por desmontes)
- ▶ infiltración acelerada (por arado)
- ▶ ascenso del nivel estático del agua subterránea

- ▶ aumento de la evapotranspiración
- ▶ aumento de la salinidad del agua subterránea
- ▶ salinización del suelo
- ▶ reducción de lixiviación de sales
- ▶ aumento del contenido total de sales en el sistema

Algunas recomendaciones para contrarrestar excesivos fenómenos de salinización son:

- ▶ desmontes bien planificados, considerando principalmente el nivel crítico de saturación y las condiciones del suelo
- ▶ evitar la remoción del suelo mediante medidas de desmonte
- ▶ suspensión del desmonte masivo convencional; es recomendado un desmonte selectivo, dejando islotes abundantes de la vegetación original
- ▶ evitar la quema tradicional de áreas desmontadas; es recomendado un aplastamiento de la vegetación, aplicando luego la siembra directa de pasturas
- ▶ el aprovechamiento económico indicado sería una ganadería del tipo silvopastoril y en muy reducida manera la explotación agrícola.

5 EVALUACION ECONOMICA

5.1 Introducción

Al analizar los factores que resultan en la evaluación económica, en particular del área en el Chaco paraguayo con fenómenos de salinización, es indicado nombrar los diferentes sistemas del enfoque económico de la población existente:

- ▶ Economía de subsistencia: Grupos de sociedades indígenas en una hábitat selvático concentran sus actividades como cazadores y colectores de frutas, con una muy reducida labor agrícola, exclusivamente hacia una economía de subsistencia.
Poblaciones indígenas y algunas campesinas con orientación hacia una economía mas avanzada, persisten igualmente en sistemas de subsistencia. Aquí, con apoyo de entidades gubernamentales y privadas se inicia una organización preferentemente hacia sistemas del cooperativismo (proyectos del IBR, INDI, ASCIM y Misiones Cristianas).
- ▶ Cooperativas: El sistema económico mas indicado para un avance económico en el Chaco paraguayo es el cooperativismo. Son ejemplos del buen funcionamiento las cooperativas mennonitas en el Chaco central. En una organización, que se basa en la Ley del Cooperativismo de 1964, se encuentran funcionando tres cooperativas en un sistema

económico de gran autarquía. No solamente es organizado un sistema económico comunitario; los alcances igualmente cubren todos los aspectos social - civiles y de la infraestructura. En un sistema de contribuciones y tasas internas, adicionales a las obligaciones impositivas oficiales, llega a funcionar una economía sumamente eficiente. El sistema económico se basa en la producción agropecuaria y no exclusivamente bajo condiciones de parámetros monetarios. De esta manera se ha conseguido una economía estable y progresiva con resultados altamente rentables.

Debido al buen funcionamiento de las cooperativas mennonitas en el Chaco central, se vienen organizando y con mutua asistencia, nuevas cooperativas; en particular en las comunidades indígenas y campesinas.

- ▶ Estancias ganaderas tradicionales: Gran parte del Chaco bajo y también de áreas con fenómenos de salinización son ocupados por extensas propiedades dedicadas a la ganadería extensiva tradicional. La rentabilidad económica de estos establecimientos no es bien calculable, ya que el enfoque extensivo no permite realizar un análisis mas detallado. Con un avance de la frontera agropecuaria en el Chaco y con una mayor presión poblacional estas propiedades tienden a parcelarse y transformarse en unidades mas productivas. La ganadería tradicional se podrá mantener apenas en áreas abnegadas y sin requerimientos de mayores inversiones a las instalaciones.
- ▶ Estancias ganaderas modernas: Hacia el Chaco central y oeste se registran cada vez mas actividades hacia una ganadería moderna y eficiente. Ya que la región requiere altas inversiones en cuanto a desmontes, instalaciones e infraestructura, las actividades son orientadas hacia una rentabilidad económica satisfactoria a mediano y largo plazo. La instalación de una estancia moderna requiere un capital inicial importante, sin un retorno inmediato. Por esta razón, se caracteriza un grupo de gente con enfoques empresariales y de planificación bien detallada. En particular, la participación de inversionistas extranjeros es significativa.
- ▶ Poblaciones urbanas: A lo largo de las rutas en el Chaco y los ríos se vienen desarrollando en los últimos años cada vez mas nucleaciones urbanas. Normalmente cuentan con una planificación básica, aunque en general no suficiente. Estas concentraciones urbanas, acompañadas por un inmediato área de influencia causarán localmente un impacto negativo al ambiente, si no cuentan con suficiente organización. De importancia son el abastecimiento de agua, efluentes de agua servida,

basuras y asentamientos sin respetar el drenaje o indebidos desmontes. El hecho de que nucleaciones urbanas se orienten fundamentalmente hacia la prestación de servicios, señalan que serán puntos de arranque hacia la ocupación y aprovechamiento de un área aledaña bastante significativo; por lo cual requiere especial mención.

- ▶ **Destacamentos militares:** La influencia de asentamientos militares en el Chaco es el menos importante hacia un impacto en cuanto a los recursos naturales. Es así, que la presencia militar facilita la comunicación y el apoyo logístico hacia el avance de la frontera agropecuaria; por lo cual son de significancia como primeros puntos de la avanzada.

Síntesis y enfoques: Para una evaluación económica representativa, en particular de la zona con fenómenos de salinización, es indispensable contar con datos sólidos y asegurados del desarrollo económico / financiero. No se podrá evaluar una rentabilidad con estimaciones aceptadas. Es por eso, que serán presentados dos ejemplos de establecimientos de producción:

- ▶ **Desarrollo de costos y rentabilidad económica (egresos - ingresos) del establecimiento ganadero Estancia Tatané,** ubicado al este de Loma Plata en la zona con fenómenos de salinización. El establecimiento es un emprendimiento moderno, exclusivamente ganadero, que cuenta desde su inicio en el año 1979 hasta la fecha con una excelente administración y contabilidad, que permite deducir en un enfoque realístico su rentabilidad económica.
- ▶ **Evaluación del asentamiento rural E. Neufeld,** ubicado en Col. Hohenau, al sur de Filadelfia. Es un establecimiento que se ha iniciado en el año 1965 con métodos tradicionales orientados hacia la agricultura. Debido a las fluctuaciones del mercado por influencias internas y externas, las actividades se han orientadas más bien hacia una economía combinada de producción ganadera (carne y leche) y agrícola. El establecimiento cuenta con una administración y contabilidad detallada, que permite deducir con una imagen bien documentada el desarrollo económico.

Ambos ejemplos cuentan con una administración y contabilidad en orden, y una muy buena organización interna. No obstante, el enfoque será hacia la Estancia Tatané por tratarse de una ubicación en la zona con fenómenos de salinización. Además refleja un aprovechamiento económico altamente rentable y de buena eficiencia.

5.2 Ganadería: Inversiones básicas y conceptos

5.2.1 Perfil de costos

| | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------|
| a. Tierra de monte (sin mejora) | | Gs 200.000 /ha - 250.000 |
| b. Desmonte | Movilización / desmovilización (100 km) | Gs 100.000 |
| | Cadena | Gs 85.000 /ha |
| | Pala | Gs 170.000 /ha |
| | Picada | Gs 100.000 /hora |
| | Limpieza integral | Gs 320.000 /ha |
| c. Alambrado | Postes (220 cm) | Gs 2.300 (propios) |
| | Postes (220 cm) | Gs 3.800 (compra) |
| | Esquineros (350 cm) | Gs 8.000 (propios) |
| | Esquineros (350 cm) | Gs 20.000 (compra) |
| | Balancines | Gs 400 |
| | Simbra | Gs 30.000 |
| | Portón | Gs 80.000 |
| | Alambre (5 hilos, liso) | Gs 450.000 /km |
| | Mano de obra | Gs 500.000 /km |
| d. Tajamares | Movimiento de tierra (tajamares-tanque australiano): 70x 30x 6 = 12.600 m ³ x 2.750 Gs | Gs 34.650.000 |
| e. Pozo de agua | 20 m x 100.000 Gs (pozo integral) | Gs 2.000.000 |
| | Bomba eléctrica | Gs 9.850.000 |
| f. Corral | Instalación integral: 35 x 35 = 1225 m ² x 35.750 (tablas) | Gs 43.793.750 |
| g. Peón | Sueldo libre | Gs 20.000 /día |
| h. Pastura | Gatton Panic (2 kg/ ha) | Gs 10.000 /kg |
| | Siembra | Gs 55.000 /ha |
| i. Instalaciones | Caminos de acceso, casco de estancia y otros | Gs 25.000.000 aprox. |
| j. Vacunos | Novillos (1 año) | Gs 1.400 /kg |
| | Terneros | Gs 1.250 /kg |
| | Vacas | Gs 1.300 /kg |
| | Toros | Gs 1.400 /kg |
| k. Alternativas | Parkett de Quebracho blanco (bruto) | Gs 435.000 /m ³ |
| | Leña | Gs 27 /kg |
| | Parkett de Algarrobo (bruto) | Gs 455.000 /m ³ |
| | Postes (220 cm) | Gs 3.800 - 5.000 |

Tab. 1

5.2.2 Conceptos

Actualmente y considerando el perfil de costos de las inversiones básicas se respetan en el Chaco los siguientes conceptos (área con fenómenos de salinización):

- El tamaño mínimo de un establecimiento es de 500 ha, ya que los gastos de instalación sólo se justifican a partir de esta dimensión. Además se concreta recién así un cierto flujo de la población

animal, apoyando una rentabilidad económica del establecimiento.

- La instalación de un establecimiento ganadero debe contar con una inversión básica de capital propio del 50% (ya sea en la adquisición del terreno o en la instalación propiamente dicha).
- Considerando una capitalización de la inversión entre el 6,5% (con terreno) hasta el 8% (sin terreno) y una mínima rentabilidad del 5%, requieren especial interés los hábitos de la política crediticia. Así, mientras que hace unos cuantos años atrás los intereses sobre créditos eran considerados muy favorables para la inversión a la ganadería a mediano plazo (± 5 años), hoy día los porcentajes de intereses a créditos a mediano plazo prohíben el riesgo así asumido.

Ejemplo: En un mercado de intereses fluctuantes de alrededor de 28% anuales (1996; considerados atractivos) y una tasa de inflación estimada para 1996 en 18 - 20% anuales, el riesgo a un crédito a 5 años se considera poco atractivo. Como regla generalizada se aceptan los 10% de diferencia entre inflación e intereses como manejables, preferentemente menor. Aquí, la rentabilidad económica de un establecimiento ganadero dicta los parámetros.

- De significancia son también las condiciones de infraestructura y transporte (ubicación del establecimiento), el manejo interno (mantenimiento de instalaciones, pasturas, atención animal etc.), combinaciones con otros ingresos (postes, leña, carbón, madera etc.), cultivos alternativos (frutales, viveros, agricultura intensiva, reforestación etc.) y/

o criaderos alternativos (tambos, avicultura, apicultura etc.).

- Dada la situación de que un establecimiento ganadero constituyera la única base económica del propietario, es indispensable el compromiso y el apoyo personal, como identificación con el emprendimiento. No se justifica una contratación exclusivamente ajena.
- De acuerdo a los parámetros manejados en el Chaco en cuanto al rendimiento de un establecimiento ganadero, será señalado un flujograma (Tab. 2).

Nota: A partir del 5^{to} año la inversión a un establecimiento ganadero alcanza un balance positivo. Se acepta una reproducción animal del 80% y términos de manejo como indicados. Luego del 5^{to} año es factible la ampliación del establecimiento, tanto en la instalación y en la infraestructura. Al mismo tiempo comienza a sentirse el factor de gastos de mantenimiento.

5.2.3 Establecimiento ganadero Estancia Tatané

La estancia Tatané se encuentra ubicada a 60 km al noreste de Loma Plata (Fig.2). Perteneció a la Familia H. Dueck, organizándose con cuatro asociados, que revisten participación de acuerdo a los aportes y contribuciones realizados, calculándose los porcentajes anualmente. La Estancia Tatané cubre una superficie de 1375 ha que fueron adquiridas en el año 1975 a un precio de 1500 Gs / ha. La compra del terreno por una suma total de Gs. 2.062.500 entra como capital inicial a la instalación del establecimiento ganadero, compartiéndose luego entre los socios la inversión adicional necesaria.

El terreno del establecimiento registra una morfología plana, con predominancia de suelos y vegetación del tipo monte, apareciendo algunas parcelas de paleocauces colmatados (campos) y bajones (meandros abandonados). La propiedad es cortada por el Riacho Mosquito, que apenas en periodos de muy copiosas precipitaciones mantiene algo de flujo de agua dulce. El agua subterránea es exclusivamente salada, definiendo una salinidad promedio de 12.000 a 15.000 micromhos/cm. Apenas en áreas arenosas aparecen películas de agua dulce sin importancia. El agua subterránea se ubica a los 2 a 3 m de profundidad. No obstante en pozos perforados sube el nivel estático a 80 cm de profundidad, luego de apenas 15 minutos de estabilización. Esta situación, que ha sido documentada en alrededor de 50 perforaciones realizadas, coloca al área de la Estancia Tatané dentro de la influencia del nivel crítico de saturación por agua subterránea salada. Significa que se registran fenómenos de salinización hasta en la superficie, formando finas capas de sales. Tajamares excavados llegan normalmente hasta el nivel del agua subterránea salada. Al mezclarse el agua

| | | | |
|----|----------------------|--|-------------------------|
| a) | Capital propio: | terreno de 500 ha mínimos | |
| b) | 1 ^{er} año: | desmonte de 250 ha pastura tajamares | Gs 80.000.000.- |
| | | intereses, 1 año | Gs 23.000.000.- |
| c) | 2 ^{do} año: | 250 animales | Gs 80.000.000.- |
| | | intereses, 2 años | Gs 46.000.000.- |
| | | balance = gastos | Gs 229.000.000.- |
| | | reajustes | Gs 7.000.000.- |
| d) | 3 ^{er} año: | intereses, 3 años | Gs 66.000.000.- |
| e) | 4 ^{to} año: | intereses, 4 años | Gs 85.000.000.- |
| | | comercialización | |
| | | 62 productoras | Gs 57.000.000.- |
| | | 121 desmamantes | Gs 66.000.000.- |
| | | balance = gastos | Gs 264.000.000.- |
| f) | 5 ^{to} año: | intereses, 5 años | Gs 74.000.000.- |
| | | comercialización | |
| | | 141 vacunos | Gs 121.000.000.- |
| | | balance = gastos | Gs 217.000.000.- |

Tab. 2

hectárea de la Estancia Tatané. El saldo recibe mayor utilidad al poder comparar los resultados con otros tipos de actividades productivas, con fines de establecer índices de rentabilidad y orientar objetivos.

Además se procedió a una adecuación de las normas legales establecidas y a un revalúo de los bienes a partir del inicio de la explotación ganadera. Esto contempla algunos ajustes en valores de bienes de uso para adecuarlos al patrimonio declarado por los propietarios del establecimiento ganadero, lo que ha dado como resultado el uso de índices de revalúo que se consideran adecuados para los años de la explotación. A partir del año 1992, año en que se inició la reforma tributaria en el Paraguay, se utilizaron las tasas establecidas por las autoridades fiscales.

Los gastos efectuados en los primeros años han sido considerados como gastos de organización y puesta en marcha de la Estancia Tatané, amortizándolo posteriormente en tres años. Esto ha dado lugar a ciertas fuertes diferencias en los resultados económicos en los primeros años de explotación entre unos y otros balances.

Las depreciaciones de bienes de uso fueron practicados de acuerdo a los que establecía el Decreto Ley 9240 hasta el año 1991 y luego de acuerdo a lo que establece la actual Ley 125/91.

Sobre los sueldos pagados fueron calculados los beneficios sociales correspondientes al aporte patronal para el Instituto de Previsión Social y el Banco Nacional de Trabajadores. De la misma manera fueron calculados el sobresueldo anual (aguinaldo).

El revalúo de los bienes de uso fue realizado para cada año. En los primeros años de explotación fueron utilizados índices de los 20 a 24% anuales, lo que equivale a tasas que en aquellos años significaban la inflación. Desde el año 1992 se han utilizado las tasas establecidas por la Subsecretaría de Tributación.

5.2.3.2 Consideraciones

Los resultados obtenidos en los cuadros contables disponibles del año 1979 hasta 1994 son fiables, ya que se originan en cifras reales, proporcionadas por la Estancia Tatané. Han sido adecuados a las exigencias técnicas contables generalmente aceptadas y demuestran fehacientemente el saldo (positivo o negativo) del balance económico y la rentabilidad del establecimiento ganadero durante los años analizados.

5.2.3.3 Análisis de datos

Set 1: Balance de situación (contabilidad original)

Los datos contables son analizados según los ingresos y egresos del establecimiento ganadero. Resalta

que este balance es factible recién a partir de 1983, año en que se inicia la compra / venta de animales vacunos, de propia producción. De 1979 hasta 1982 se registran gastos de instalación. Así se establecen los detalles activos y pasivos, como también del patrimonio neto. Los valores son luego ajustados hacia la relación con las cotizaciones del dólar americano en el mercado fluctuante, para originar una utilidad por año y por hectárea.

Conclusión: La utilidad por año y por hectárea de la Estancia Tatané registra una fluctuación desde 0 US\$/ha/año hasta 61 US\$/ha/año. En particular, el año 1985 reviste una fuerte caída de utilidad, a causa de importantes inversiones de ampliación realizadas en el establecimiento. Luego de un continuo crecimiento se registra en el año 1994 una significativa pérdida, a causa de la extrema sequía sufrida en la región y la venta precipitada obligatoria de animales vacunos. En el año 1995 se recupera favorablemente la utilidad.

De esta manera se obtiene para los 12 años registrados (1983 - 1994) una utilidad por año y por hectárea promedia original de 25,3 US\$/ha/año.

Set 2: Balance de situación (contabilidad ajustada):

Los datos contables son adecuados a las exigencias técnicas contables generalmente aceptadas y analizadas según los ingresos y egresos del establecimiento ganadero. Otra vez se inicia el balance a partir del año 1983, debido al inicio de la compra / venta de animales propios. Así se establecen los activos, pasivos y el patrimonio neto. Igualmente, los datos son ajustados a las cotizaciones del dólar americano correspondientes, indicando sobre esta base una utilidad por año y por hectárea.

Conclusión: Los valores ajustados señalan una variación mayor con respecto a los datos originales. Hasta se registran saldos negativos de hasta -6 US\$/ha/año. Mientras por el otro lado se pronuncian saldos positivos hasta 67 US\$/ha/año.

En general, los datos ajustados reflejan con mayor detalle un desarrollo muy similar a los valores originales, señalando que la significativa inversión de ampliación del establecimiento en el año 1985 se hace sentir hasta el año 1987. A partir de ahí el balance se acentúa positivamente, sufriendo una caída negativa en el año 1994, a causa de la fuerte sequía. Para el año 1995 se señala una muy buena recuperación.

Así se indica para los 12 años registrados (1983 - 1994) una utilidad por año y por hectárea promedia ajustada de 24,1 US\$/ha/año.

Set 3: Utilidad anual comparativa:

La comparación de los datos originales y ajustados de la contabilidad de la Estancia Tatané arrojan el siguiente saldo (1983 - 1994):

Datos originales;**utilidad por año/ ha:** US\$ 25,3 (promedio)**Datos ajustados;****utilidad por año/ ha:** US\$ 24,1 (promedio)**1995; ganancia/ ha****= utilidad:** US\$ 21,7 (real)

Para el cálculo se ha indicado un interés neto de capital/ año del 8% (ganancia; sin terreno) de capitalización. Para el cálculo de una capitalización con terreno se debería aceptar un 6,5% de interés neto de capital/ año.

De esta manera se podrá sintetizar el desarrollo del rendimiento económico de la Estancia Tatané como sigue (16 años de actividades ganaderas : 1979 - 1995):

| | |
|-------------|---|
| 1975 | compra del terreno: 1375 ha x 1500 Gs/ ha capital inicial = Gs. 2.062.500.- |
| 1979 - 1982 | instalación con atención y apoyo personal facilidades crediticias favorables |
| 1983 - 1985 | inicio de balance y rentabilidad ampliación significativa del establecimiento |
| 1986 - 1988 | utilidad positiva progresiva reajuste de intereses (30% y 23,1%) |
| 1989 - 1993 | utilidad positiva progresiva ampliación final del establecimiento |
| 1994 | utilidad negativa, a causa de extrema sequía |
| 1995 | utilidad positiva 57.600.000 Gs: 1375 ha = 41.891 Gs/ ha = 21,7 US\$/ ha |

Set 4: Relación de tasas activas y tasas pasivas:

Los intereses vigentes en un análisis económico para un establecimiento ganadero en el Chaco son indicados en una estadística sobre las tasas activas y pasivas (1982 - 1995) según informes del Banco Central de Paraguay.

Queda bien señalado, que los años más favorables en cuanto a la relación de tasas activas / tasas pasivas se registran de 1982 a 1983. Significa, que las líneas de créditos favorecían las inversiones. Mantiene una estabilización de intereses el periodo de 1984 a 1989 (máximo 10 puntos de diferencia), registrándose aun una factibilidad para las inversiones. Se desfavorece el cuadro de intereses a partir del año 1990, alcanzando desventajas culminantes en el año 1991 (13 puntos). Hasta 1995 sigue una política de intereses desfavorables que hace la inversión mas riesgosa, sobre todo en cuanto a la ganadería en el Chaco. A pesar de diferentes ofertas de líneas de créditos, los productores de abstienen en aprovecharlas.

En cuanto a la Estancia Tatané se observa un periodo muy favorable en cuanto a las inversiones iniciales y realizadas, ya que entre los años 1979 - 1982 se ejecutaron la mayor parte de las mejoras, aprovechando el financiamiento favorable.

Set 5: Cotizaciones del dólar americano:

Para poder evaluar sobre una base realista el rendimiento económico de la Estancia Tatané, se ha tenido en cuenta las cotizaciones del dólar americano en el mercado fluctuante. La utilidad anual por hectárea ha sido calculada sobre esta base. Caracteriza la fluctuación de la cotización una continua subida del dólar americano, registrando en el año 1995 un valor que reviste 14,2 veces el valor inicial en el año 1978.

Set 6: Estadística de precios de carne (novillos):

De acuerdo a los precios en el mercado para novillos (principal producto de venta de un establecimiento ganadero) se revela una permanente subida de cotizaciones. Mientras que en el año 1984 son registrados 150 Gs / kg, en el año 1994 son alcanzados 1187 Gs / kg. Comparando esta tendencia al ajuste al dólar americano, no se detalla este fenómeno. Aparece para un cálculo de rentabilidad económica la comparación al dólar americano como un indicativo. De esta manera se nota una tendencia positiva hasta el año 1989, para estabilizarse luego hasta la fecha hacia 0,55 \$ / kg con ciertas oscilaciones.

**5.3 Ganadería - Agricultura:
Perfil y conceptos**

Ya que el perfil de rentabilidad económica de un establecimiento ganadero en el Chaco en una región con fenómenos de salinización es de cierta manera un enfoque unilateral, teniendo en cuenta la producción orientada exclusivamente hacia la carne vacuna, será sintetizada a continuación una economía combinada ganadera - agrícola. Asentamientos rurales en el Chaco central operan desde el año 1927 en colonias agropecuarias, organizadas en cooperativas y compuestas preferencialmente por mennonitas. Tradicionalmente estos asentamientos están orientados hacia la producción agrícola; pero debido a fluctuaciones del mercado se han visto obligados a aceptar una base productiva flexible, combinando nuevos rubros agrícolas con la producción de leche y carne.

De esta manera reflejan un aprovechamiento agropecuario relativamente intensivo, habiendo alcanzado un bienestar económico considerable. Son factores orientadores la economía diversificada, el manejo y participación personal (no exclusivamente una contratación de afuera) y el apoyo asistencial por la cooperativa.

5.3.1 Asentamiento rural Neufeld - Col. Hohenau

Hohenau está ubicado a 25 km al sur de Filadelfia (Fig.3) y conforma un asentamiento rural agropecuario con 12 propietarios. La localidad se fundó en 1946 sobre un paleocauce arenoso, rodeado por montes arcillosos - limosos. La subdivisión de las propiedades establece una participación porcentual igualitaria de los dueños referente a los diferentes tipos de suelo, a fin de ofrecer oportunidades económicas comparativas.

De esta manera el asentamiento Neufeld ocupa un total de 410 ha, de las cuales 120 ha consisten de suelos arenosos, aptos para la agricultura y 290 ha revisiten suelos arcillosos - limosos, aptos para la ganadería.

La región no señala fenómenos de salinización. Agua subterránea de buena calidad ocurre en generosos lentes de agua infiltrada dentro del paleocauce y permite el abastecimiento de la producción ganadera.

5.3.1.1 Consideraciones económicas

La totalidad de las 410 ha del asentamiento Neufeld es aprovechada para la producción agropecuaria, res-

petando desde luego conceptos del buen manejo (franjas de rompevientos, isletas de monte y parcelas de reserva, rotación de cultivos, etc.).

El asentamiento ha sido adquirido por el actual dueño en el año 1965 por un crédito otorgado por la cooperativa de 50.000 Gs (sin intereses; por 5 años).

El desarrollo económico se ha basado tradicionalmente sobre una base de producción, lo que significa que créditos y cualquier asistencia financiera al asentamiento se otorgaba, ya sea con un pago de productos agrícolas o productos ganaderos. De esta manera un financiamiento es factible y retornable, mientras que condiciones netamente financieras en base a intereses se tornarían más difíciles e impracticables. Esto, antes de nada, por la deficiencia de capital propio y asegurando / obligando al mismo tiempo la producción agropecuaria.

Significa también la producción diversificada. Así, mientras que una producción ganadera es más extensiva, es rentable más bien a largo o mediano plazo y no facilita capital operativo inmediato; la producción agrícola y sobre todo láctea es una actividad más intensiva, es rentable a corto plazo y facilita directamente un capital operativo.

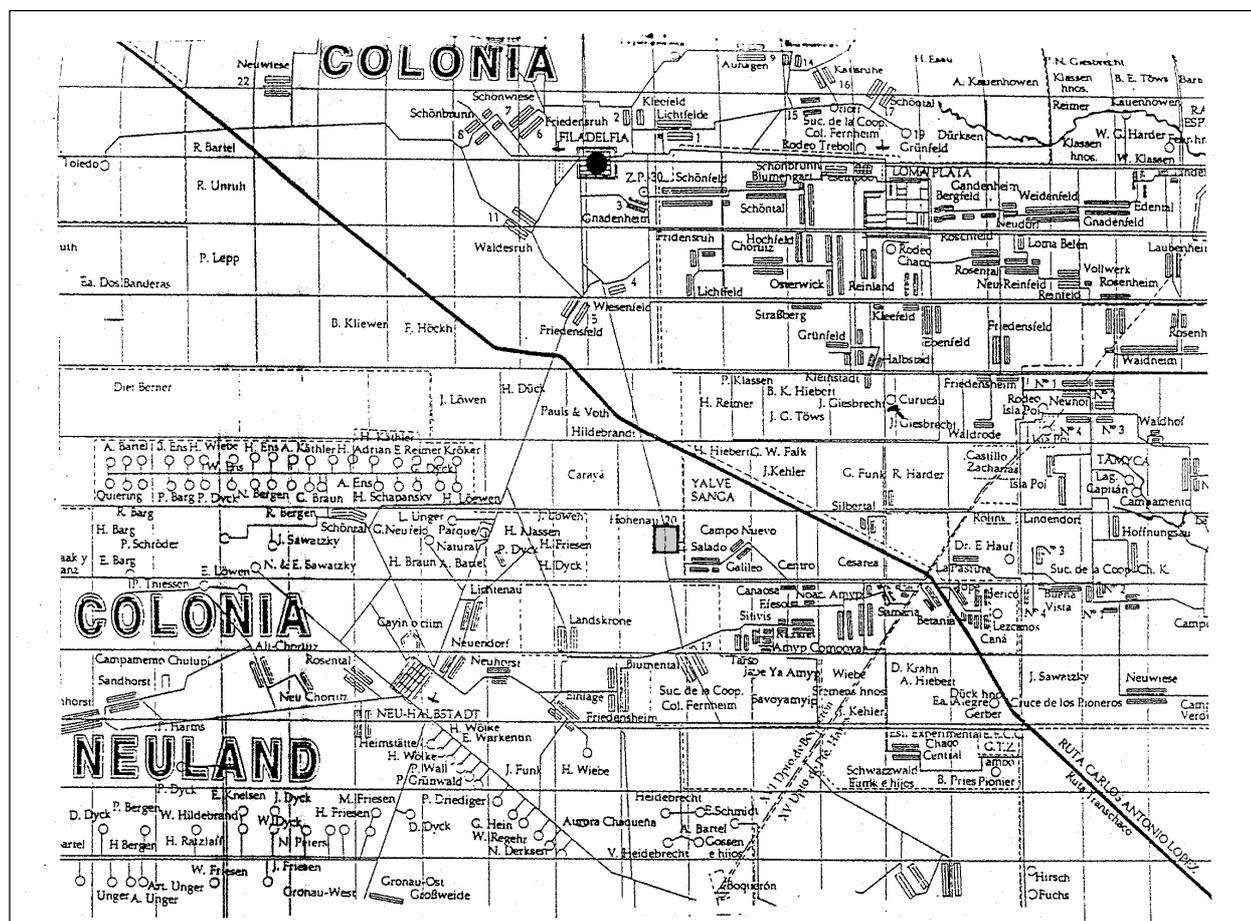


Fig.3: Ubicación del asentamiento agropecuario Neufeld (Hohenau - Col. 20), a 25 km al sur de Filadelfia (410 ha)

5.3.1.2 Análisis de datos

Un análisis general de la evaluación económica del asentamiento Neufeld fue posible por la entrega de una copia de los balances económicos desde el año 1965 hasta 1993. Los 28 años de gestión han sido revisados en función a sus valores reales / originales, concluyendo en un saldo de rentabilidad económica ajustado a las cotizaciones del dólar americano en el mercado fluctuante.

El análisis observa una organización en cinco unidades: El financiamiento separa los créditos otorgados y los pagos/ devoluciones con los intereses/ dividendos correspondientes en el momento. Los créditos han sido obtenidos únicamente a través de la cooperativa, aunque son de muy variadas fuentes.

Los rubros agrícolas corresponden a la producción de maní, algodón, sorgo, tártao, saflor, sésamo e incluyen volúmenes menores de huevos y postes de Palo Santo (de manera indiscriminada).

En cuanto a la actividad ganadera se diferencia la producción de leche y la producción de animales para carne.

5.3.1.3 Evaluación económica: Etapas (Set 1)

5.3.1.3.1 Producción:

Agricultura: Desde el año 1965 hasta 1988 la producción agrícola reviste la predominancia económica. Sobre todo maní y algodón reciben significativa importancia. Tártao es producido con fuertes fluctuaciones; los otros rubros son menores. La rentabilidad económica aumenta constantemente; apenas en el año 1982 disminuyen los ingresos, a causa de una fuerte sequía anormal.

Entre los años 1986 a 1987 se registran precios desfavorables, al mismo tiempo disminuyen los créditos y aumentan los intereses.

A partir del año 1989 comienzan a decaer los precios de la producción agrícola. La obligatoria reorientación productiva lleva al incremento de la producción láctea y de carne.

Leche: Desde el año 1965 al 1981 la producción láctea es secundaria. En el año 1982 y hasta 1988 es registrada un fuerte aumento, debido a créditos muy favorables. Por decisión personal se reduce la producción láctea en el año 1990 en forma sustancial, revisando luego un aumento de nuevo hasta 1993, al reemplazar en la rentabilidad económica la producción agrícola.

Carne: Igual que la leche, no recibe mayor significancia económica la producción de animales para carne desde el año 1965 hasta 1984. La introducción de mejo-

res razas para la producción de carne, acompañada por créditos favorables e intereses bajos, lleva a un aumento prioritario en la producción y rentabilidad económica.

Desde el año 1989 hasta la fecha la producción de carne compone la predominancia económica del asentamiento Neufeld. Ciertas fluctuaciones registradas se deben a la política financiera desfavorable y dificultades climáticas. No obstante se ha consolidada la producción ganadera.

5.3.1.3.2 Financiamiento:

Créditos:

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| 1965 - 1982 | condiciones desfavorables |
| 1983 y 1985 | condiciones favorables |
| 1984 | condiciones desfavorables |
| 1986 - 1988 | condiciones desfavorables |
| 1989 - 1990 | condiciones favorables |
| 1991 - 1993 | condiciones altamente desfavorables |

Nota: Mientras que se consolida una estabilidad económica hacia el año 1990, se registra fuertes fluctuaciones en la política financiera actual, que desfavorece la inversión crediticia (tasas activas - pasivas en relación negativa).

Pagos/ Intereses:

| | |
|-------------|-----------------|
| 1965 - 1982 | tasas altas |
| 1983 y 1985 | tasas bajas |
| 1984 | tasas altas |
| 1986 - 1988 | tasas altas |
| 1989 - 1990 | tasas bajas |
| 1991 - 1993 | tasas muy altas |

Nota: La comparación de las tasas con la política crediticia refleja una buena compaginación. Así se registra actualmente una situación desfavorable, considerando sobre todo el manejo de las tasas fluctuantes (sin control).

5.3.1.4 Balance de rentabilidad económica (Set 2)

El saldo de la rentabilidad económica del asentamiento Neufeld, facilita un resumen de una producción agropecuaria diversificada, que a partir de 1988 encuentra una cierta estabilidad y que ha generado un bienestar económico considerable.

El análisis del balance económico permite la siguiente imagen:

| | |
|-------------|--|
| 1965 - 1982 | economía de subsistencia, sin mayores alteraciones y con base agrícola. |
| 1983 - 1985 | aumento de rentabilidad, con créditos favorables e intereses regular es; aumenta la producción láctea. |

- 1986 - 1987 declinación económica, con créditos desfavorables; leche y carne reciben mayor influencia (con alteraciones), la agricultura declina.
- 1988 - 1990 pronunciado aumento de rentabilidad (años de oro), con créditos muy favorables; la carne alcanza predominancia, la leche y producción agrícola oscilan fuertemente.
- 1991 fuerte declinación económica, con créditos desfavorables; la carne predomina, la leche repunta, la agricultura declina; el balance negativo es absorbido por la producción de carne y el apoyo de la cooperativa.
- 1992 - 1993 estabilización económica, con créditos desfavorables; carne y leche son la base productiva sólida.

6 INDICACIONES - ENFOQUES

- Fenómenos de salinización natural son conocidos en la zona de transición entre el Chaco alto (oeste) y el Chaco bajo (este). Es una franja de 50 a 75km de ancho, ubicada en el Chaco central al este de Loma Plata, extendiéndose desde Bahía Negra al noreste hacia Gral. Díaz al suroeste. El fenómeno de la salinización es caracterizado por el nivel crítico de saturación por agua subterránea salada, nivel definido desde los 2,10 m de profundidad hasta la superficie.
- La influencia antropogénica mediante el aprovechamiento predominantemente ganadero está causando un desequilibrio de las condiciones naturales. Es de primordial importancia el manejo adecuado de cualquier actividad humana en esta región naturalmente sensible, para evitar la destrucción del potencial natural a causa de una excesiva salinización.
- La población que acompaña el avance de la frontera agropecuaria hacia la región con fenómenos de salinización reviste una economía de subsistencia, una organización en cooperativas agropecuarias, consiste en estancias ganaderas tradicionales y modernas, poblaciones urbanas y destacamentos militares. Mayor impacto por mayor eficiencia causan las cooperativas agropecuarias bien organizadas y establecimientos ganaderos modernos. Es por eso también, que permiten un análisis económico más específico, a consecuencia de la buena organización, administración y contabilidad.
- Para enfocar la evaluación económica se ha tomado como ejemplos el establecimiento ganadero

Estancia Tatané (ubicado en la zona con fenómenos de salinización) y el asentamiento rural agropecuario Neufeld (ubicado en una zona con organización de apoyo por cooperativas).

- Son factores orientadores principalmente la organización económica, el factor humano, la infraestructura, las condiciones del mercado (finanzas y productos) y el manejo de la explotación (mantenimiento, tipo de animales y pasturas/ cultivos, rotación de aprovechamiento, carga animal etc.). Además es de observar la capitalización del capital propio y de la propiedad. Los factores naturales limitantes son en primer lugar la disponibilidad de agua potable (precipitaciones o agua subterránea) y la frecuencia de heladas en el invierno.
- Los fenómenos de salinización causan mayor efecto cuando mas alta la salinidad; se reducen cuando más baja la concentración.
- El análisis económico permite las siguientes conclusiones:
- Establecimientos ganaderos o agropecuarios exigen la inversión de un capital propio inicial, que apoyado por créditos manejados cuidadosamente, permiten una rentabilidad económica positiva después de cinco años. En caso de una inversión escalonada en relación a ingresos secundarios y el apoyo de créditos bien manejados, la rentabilidad económica positiva se registra después de diez años. Una inversión solamente en base a créditos no tendrá resultados positivos, debido a las condiciones financieras desfavorables.
- Cabe señalar, que el enfoque hacia una economía diversificada y bien manejada resultará siempre en balances más positivos.
- Por el otro lado se destaca la política crediticia aceptada en ciertos sectores hacia un aprovechamiento mas sustentable. Así, como ejemplo, actualmente ya no se financian desmontes en áreas de las cooperativas mennonitas en el Chaco.
- La comparación del análisis económico entre un establecimiento ganadero (área salinizada) y un asentamiento agropecuario (área no salinizada) en el Chaco resulta en el siguiente perfil:

| Ganadería | | Agropecuaria | |
|--|------------------------------------|--|---|
| 100 % | área inicial | 100 % | área inicial |
| 20 % | (reducción por salinización) | - | (sin reducción) |
| 80 % | área aprovechable | 100 % | área aprovechable |
| 20 % | (degradación en 15 años) | 10 % | (degradación en 15 años) |
| 60 % | área utilizable | 90 % | área utilizable |
| 0,8 | animales/ ha | 1,2 | animales/ ha |
| Nota: | producción ganadera exclusivamente | Nota : | producción agrícola/ láctea acompaña la ganadería |
| => desventaja económica por salinización a largo plazo | | => ventaja económica a largo plazo (mayor estabilidad) | |

Nota: En cuanto a la rentabilidad económica resulta como indicador final la carga animal por ha (establecimiento ganadero).

La actividad agropecuaria combinada resulta más estable por la diversificación de producción (asentamiento rural).

- El establecimiento ganadero Estancia Tatané resulta en una utilidad económica de 25,3 US\$/ ha/año en un promedio (1375 ha; balance no ajustado).
- El asentamiento agropecuario Neufeld resulta en una utilidad económica de 49,3 US\$/ ha/año en un promedio (410 ha; balance no ajustado).
- La pérdida de área utilizable en la región con fenómenos de salinización no está determinada sa-

tisfactoriamente, ya que el análisis económico no respeta una subdivisión de la región en base a contenidos de salinidad y carece de datos meteorológicos detallados.

Por eso es recomendada la elaboración de un mapa de subdivisión areal de la región con fenómenos de salinización, señalando contenidos escalonados de sales en el suelo y el agua subterránea. Cuanto mayor salinidad, mayor impacto negativo y menor rentabilidad económica.

Por el otro lado es preciso contar con sólidos datos meteorológicos de la región con fenómenos de salinización (temperaturas, precipitaciones, frecuencia de heladas), ya que datos generales permiten apenas condiciones generales.

7 REFERENCIAS CONSULTADAS

DUECK, H., 1995, Balance económico contable de la Estancia Tatané.- Hojas contables 1979 / 1994, Filadelfia.

GLATZLE, A., 1995, Versalzungsproblematik im Chaco.- Informe GTZ / MAG, Cruce de los Pioneros.

KRUCK, W., 1995, Proyecto Sistema Ambiental del Chaco.- Informe BGR / DOA, Asunción.

NEUFELD, E., 1994, Balance económico contable del asentamiento Neufeld.- Hojas contables 1965 /

1993, Col. Hohenau.

NITSCH, M., 1994, Versalzungsgefährdung von Böden im östlichen Zentralchaco als Folge nicht angepaßter Rodungsmaßnahmen.- Informe BGR, Hannover.

NITSCH, M., 1995, El desmonte en el Chaco central del Paraguay. Influencia sobre el agua subterránea y la salinización de suelos.- Presentación, 2^{do} Simposio sobre Aguas Subterráneas, San Lorenzo.

Estancia Tatané

**Relación de datos económicos
1979 - 1994
(Set 1 - 6)**

**SET 1: ESTANCIA TATANE: BALANCE DE SITUACION
(CONTABILIDAD ORIGINAL)
1979 - 1994**

ESTADOS DE RESULTADOS COMPARATIVOS - ESTABLECIMIENTO TATANE

| | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| INGRESOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGRESOS OPERATIVOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venta de ganado en pie | | | | | | 1.203.054 | 3.740.617 | 3.675.816 | 9.164.651 | 11.028.197 | 18.212.996 | 26.654.797 | 42.644.282 | 56.181.512 | 55.422.321 | 168.724.234 |
| Explotación Hacienda | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procreación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revalúo cambio categoría | | | | | 3.843.913 | 7.778.618 | 600.000 | 2.100.000 | 340.812 | 3.239.560 | 5.500.000 | 11.400.000 | 8.720.680 | 18.874.900 | 45.000.000 | 65.970.625 |
| Venta Cueros Vacunos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venta Palo Santo | | | | | | | | | | | 6.894.200 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 666.000 | | | |
| OTROS INGRESOS | | | | | | | | | | | | 1.500.000 | | | | |
| Venta Activo Fijo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Otros Ingresos | | | | | | | 106.390 | 194.418 | 34.783 | 124.607 | 110.897 | 524.393 | 345.296 | 2.542.800 | 3.894.255 | 1.441.685 |
| Intereses Cobrados | | | | | | | | | | | | | | 326.403 | | 3.557.252 |
| TOTAL INGRESOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.843.913 | 8.981.672 | 4.447.007 | 5.970.234 | 9.540.246 | 14.392.358 | 30.718.087 | 40.079.184 | 52.376.258 | 77.925.615 | 104.316.576 | 239.693.796 |

Cifras en Guaraníes - Original

ESTADOS DE RESULTADOS COMPARATIVOS - ESTABLECIMIENTO TATANE

| CUENTAS | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| EGRESOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS FIJOS DIRECTOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sueldos Administrativos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beneficios Sociales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Depreciaciones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS FIJOS INDIRECTOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papeleñas, Ubles e Impresos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viajes y Viáticos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conservaciones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mant. Maquin. y Equipos | | | | | | | 675.000 | 338.052 | 92.495 | 2.143.461 | 2.722.970 | 3.521.763 | 3.913.740 | 3.966.224 | 4.998.997 | 6.426.666 |
| Gastos Vehículos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mantenimiento Alambradas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Servicios de Terceros | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS VARIABLES | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos de Caballo | | | | | | | | | | | | | | 180.539 | 1.164.847 | 561.262 |
| Sanitación Animal | | | | | | | | | | | | 2.536.962 | | 3.670.611 | 4.987.425 | 5.413.430 |
| Insecticida p/Campo | | | | | | | | | | | | | | 3.200.000 | | 6.266.695 |
| Alim. Suplementaria - Corrajes | | | | | | | | | | | | | | | 271.650 | 94.880 |
| Alquiler Pastura | | | | | | 353.000 | 1.122.000 | | | | | | | | | |
| Combustibles | | | | | | | | | 779.010 | 632.195 | 1.015.125 | | | | | |
| Gastos Palo Santo | | | | | | | | | | | 3.269.056 | | | | | |
| Mantenimiento Pastura | | | | | | | | | | | | | | 1.083.671 | 2.097.554 | 3.108.263 |
| GASTOS ADMINISTRATIVOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sueldos Administrativos | | | | | 514.000 | 442.000 | 833.508 | 1.212.283 | 2.221.486 | 2.716.660 | 3.581.577 | 5.731.329 | 5.392.878 | 5.275.858 | 19.330.331 | 27.098.288 |
| Beneficios Sociales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Remuneración Directores | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viajes y Viáticos | | | | | 54.100 | 226.730 | 372.158 | 1.370.490 | 679.340 | 1.196.550 | 2.255.792 | 1.861.318 | 2.700.744 | 2.444.286 | 6.105.113 | 6.151.326 |
| Papeleñas, Ubles e Impresos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arrendamiento | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seguros Pagados | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amortz. Gastos de Organización | | | | | 701.313 | | | | | | | | | | | |
| Gastos Varios | | | | | 177.124 | 31.011 | 107.780 | 201.030 | 405.327 | 973.056 | 1.134.209 | 1.831.714 | 442.347 | 311.631 | 2.854.162 | 1.513.692 |
| Mantenimiento Radio | | | | | | | | | | | | | | | | 1.450.452 |
| GASTOS DE VENTAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fieles Pagados | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS FINANCIEROS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Intereses Pagados | | | | | 213.552 | 968.780 | 851.757 | 782.470 | 2.541.759 | 3.071.125 | 4.579.003 | 6.095.018 | 5.053.089 | 5.275.858 | 8.383.475 | 7.986.721 |
| GASTOS TRIBUTARIOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Impuesto a Cooperativa | | | | | 50.005 | 44.525 | 421.468 | 391.374 | 663.270 | 541.347 | 1.050.697 | 127.041 | 2.981.590 | 4.248.359 | 3.681.320 | 527.400 |
| Patentes y Tasas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Impuesto Inmobiliario | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos de Traslado Ganado | | | | | | | | | | | | | | | | 12.441.936 |
| Impuesto a la Renta | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESULTADO DEL EJERCICIO | | | | | 2.133.819 | 6.915.626 | 63.336 | 2.012.587 | 1.443.912 | 3.393.159 | 11.574.985 | 20.085.970 | 29.835.586 | 45.684.594 | 47.241.702 | 22.812.246 |
| TOTAL EGRESOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.843.913 | 8.981.672 | 4.447.007 | 6.308.286 | 8.826.599 | 14.667.553 | 31.183.414 | 41.791.115 | 50.319.974 | 72.141.631 | 104.316.576 | 101.853.257 |

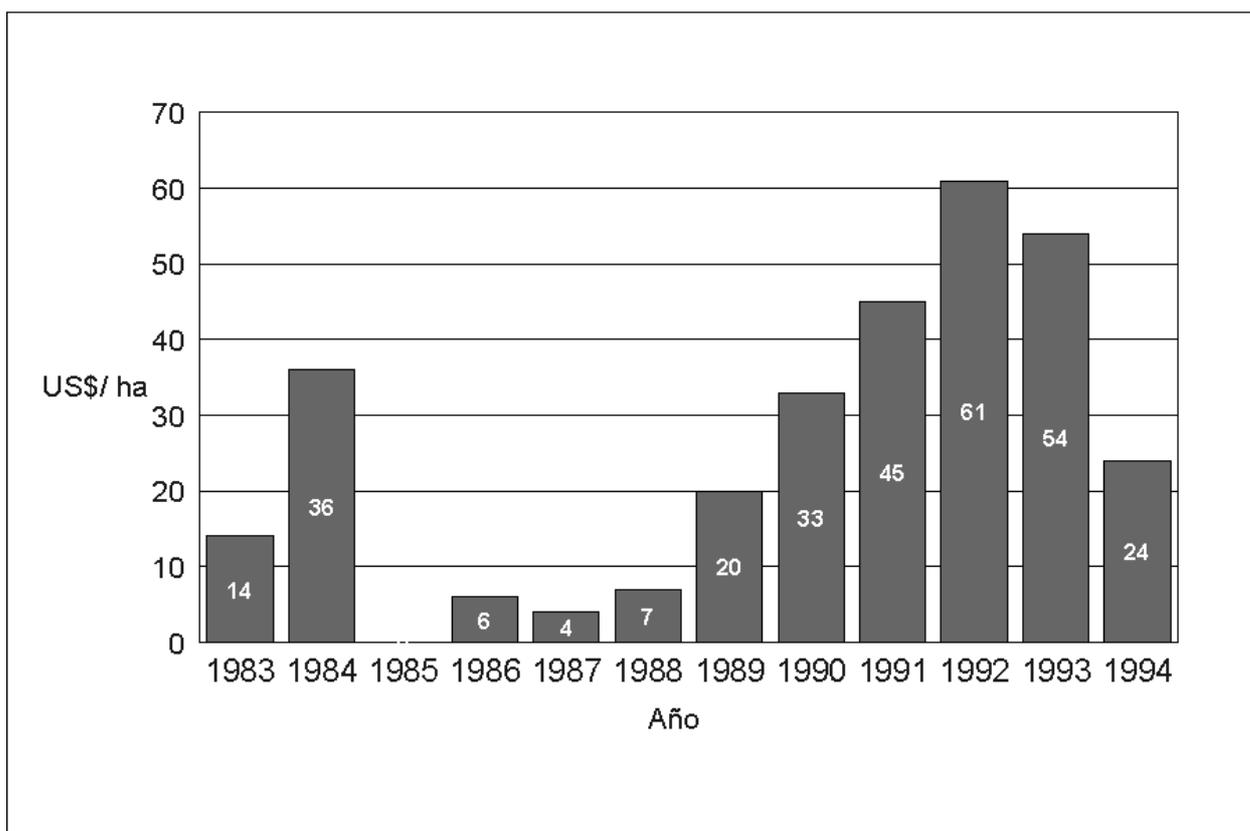
Cifras en Guaraníes - Original

BALANCE DE SITUACION COMPARATIVO: ESTABLECIMIENTO TATANE

| CUENTAS | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|--|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ACTIVO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISPONIBILIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caja | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ota. Cle. | | | | 40.946 | | -9.475 | 1.583.145 | 1.079.870 | -501.588 | -2.718.369 | 4.205.012 | -1.058.940 | -9.417.979 | -818.935 | -27.421.343 | 11.945.059 |
| CREDITOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Deudores por Ventas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuentas a Cobrar | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Otros créditos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préstamos al personal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIENES DE CAMBIO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganado Vacuno Terminado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganado Vacuno de Proceso | | | 1.440.445 | 2.995.337 | 6.839.296 | 8.400.000 | 9.000.000 | 11.100.000 | 20.676.009 | 28.358.560 | 49.400.000 | 75.238.300 | 140.142.900 | 194.050.000 | 258.930.000 | 232.529.375 |
| OTROS BIENES DE CAMBIO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIENES DE USO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inmuebles - Terrenos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inmuebles - Construcciones | | 39.810 | 177.525 | 177.525 | 177.525 | 159.863 | 159.863 | 2.286.290 | 2.286.290 | 2.711.240 | 6.086.945 | 10.141.353 | 11.882.174 | 12.415.714 | 14.000.000 | 16.835.000 |
| Implementos | | | | | | | | 1.000.000 | 10.656.895 | 12.842.660 | 14.000.000 | 17.500.000 | 21.600.000 | 24.066.585 | 32.481.585 | 36.000.000 |
| Maquinarias | | | | | | | | | | | | 500.000 | 4.109.885 | 6.169.800 | 6.169.800 | 10.746.171 |
| Alambradas | 73.602 | 1.001.137 | 1.063.463 | 1.231.678 | 1.477.928 | 3.000.000 | 3.010.665 | 3.936.585 | 5.722.817 | 6.786.500 | 9.100.000 | 11.768.807 | 19.128.893 | 26.495.592 | 45.471.109 | 54.190.899 |
| Canales y Bretes | | 35.400 | 378.039 | 400.577 | 400.577 | 900.000 | 900.000 | 900.000 | 900.000 | 1.067.280 | 1.300.000 | 1.300.000 | 7.301.443 | 8.000.000 | 8.000.000 | 12.950.098 |
| Pasturas | 864.402 | 1.188.857 | 1.853.802 | 1.877.578 | 3.373.938 | 8.400.000 | 10.828.914 | 11.151.607 | 11.592.440 | 19.721.460 | 30.176.300 | 33.584.680 | 54.041.000 | 66.302.110 | 99.036.614 | 117.700.021 |
| Bebederos y Tajamares | | 167.300 | 634.799 | 787.999 | 787.999 | 838.009 | 838.009 | 961.009 | 4.195.002 | 5.768.555 | 5.868.555 | 7.631.599 | 16.118.995 | 19.540.288 | 36.958.358 | 82.133.626 |
| Caballos - Ganado Equino | | | | 70.000 | 70.000 | 200.000 | 200.000 | 200.000 | 200.000 | 237.180 | 1.900.000 | 2.400.000 | 3.000.000 | 3.500.000 | 5.000.000 | 6.000.000 |
| Transporte Terrestre | 1.380.000 | 1.566.280 | 1.566.280 | 1.566.280 | 1.566.280 | 1.002.652 | 1.002.652 | 1.002.652 | 1.002.652 | 1.189.010 | 1.900.000 | 10.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 | 10.000.000 | 12.000.000 |
| Caminos | | | | | | | | | | | | | 1.008.130 | 1.164.539 | 1.981.051 | 2.300.000 |
| CARGOS DIFERIDOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos de organización | | 98.113 | 797.536 | 2.103.940 | 1.402.627 | | | | | | | | | | | |
| Int. Pagados por Adelantado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL ACTIVO: | 938.004 | 3.910.617 | 7.911.889 | 11.251.860 | 16.096.170 | 22.891.049 | 27.523.248 | 33.618.013 | 56.730.547 | 75.964.076 | 123.936.812 | 169.005.799 | 278.915.441 | 370.885.693 | 490.607.174 | 595.330.249 |
| PASIVO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DEUDAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proveedores | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuentas a Pagar | | | 828.790 | 290.302 | 155.172 | | | | | 70.275 | | | | | | |
| Préstamos bancarios | | | | | | | | | | 3.355.825 | 5.924.183 | | | | | |
| Provisiones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I.P.S. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.N.T. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aguinaldos a Pagar | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Deudas a Largo Plazo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préstamo Fondo Ganadero | | 750.000 | 697.500 | 2.437.324 | 3.495.935 | 4.042.419 | 4.259.980 | 4.573.857 | 14.990.588 | 12.897.263 | 9.246.511 | 12.291.111 | 13.049.486 | 6.637.361 | 16.789.236 | 8.461.111 |
| PATRIMONIO NETO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAPITAL RESERVAS Y RESULTADOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capital Social | 938.004 | 3.268.004 | 6.385.549 | 8.524.234 | 10.311.244 | 11.933.004 | 23.199.934 | 27.031.569 | 40.296.047 | 56.247.554 | 97.191.133 | 136.628.718 | 236.030.369 | 318.563.738 | 426.576.236 | 564.056.942 |
| Reserva de revaluación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resultados | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perdidas y ganancias - Anteriores | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perdidas y ganancias - Actual | | | | | 2.133.819 | 6.915.626 | 63.336 | 2.012.587 | 1.443.912 | 3.393.159 | 11.574.985 | 20.085.970 | 29.835.586 | 45.684.594 | 47.241.702 | 22.812.246 |
| TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO NETO: | 938.004 | 4.018.004 | 7.911.839 | 11.251.860 | 16.096.170 | 22.891.049 | 27.523.250 | 33.618.013 | 56.730.547 | 75.964.076 | 123.936.812 | 169.005.799 | 278.915.441 | 370.885.693 | 490.607.174 | 595.330.249 |
| UTILIDAD AÑO POR Ha. en G. | | | | | 4,268 | 13,831 | 127 | 4,025 | 2,888 | 6,786 | 23,150 | 40,172 | 59,671 | 91,369 | 94,483 | 45,624 |
| UTILIDAD AÑO POR Ha. en US\$ | | | | | 14 | 36 | 0 | 6 | 4 | 7 | 20 | 33 | 45 | 61 | 54 | 24 |
| COTIZACION US\$-COMPRA | | | | | 308 | 384 | 594 | 680 | 789 | 927 | 1.132 | 1.220 | 1.321 | 1.499 | 1.740 | 1.898 |

Cifras en Guaraníes - Original

ESTANCIA TATANE: UTILIDAD ECONOMICA
EN US\$/ HA/ AÑO (CONTABILIDAD ORIGINAL)



SET 2: ESTANCIA TATANE: BALANCE DE SITUACION (CONTABILIDAD AJUSTADA) 1979 - 1994

ESTADOS DE RESULTADOS COMPARATIVOS - ESTABLECIMIENTO TATANE

| | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| INGRESOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGRESOS OPERATIVOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venta Ganado en Pie | | | | | | 1.203.054 | 4.220.617 | 4.375.816 | 9.164.651 | 11.028.191 | 18.212.996 | 26.654.791 | 42.644.282 | 56.181.512 | 55.422.321 | 168.724.234 |
| Explotacion Hacienda | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procesadon | | | | | | | | | 340.812 | 3.839.520 | 5.500.000 | 34.314.600 | 15.497.100 | 8.294.900 | 45.000.000 | 21.490.625 |
| Revaluo Cambio Categoria | | | | | 3.843.913 | 4.312.987 | 600.000 | 2.100.000 | 3.502.488 | 13.741.440 | 15.060.000 | 11.000.000 | 8.720.680 | 30.460.000 | 38.070.000 | |
| Venta Cueros Vacunos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venta Palo Santo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS INGRESOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venta Activo Fijo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Otros Ingresos | | | | | | | | | 293.615 | 275.195 | 7.359.527 | 1.818.369 | 1.146.678 | 2.532.800 | 3.894.255 | 1.441.685 |
| Intereses Cobrados | | | | | | | 106.930 | 194.418 | 34.783 | 124.607 | 110.891 | 524.393 | 345.296 | 326.403 | | 3.557.252 |
| TOTAL INGRESOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.843.913 | 5.516.041 | 4.927.547 | 6.670.234 | 13.336.349 | 29.008.953 | 46.243.414 | 74.312.153 | 68.354.036 | 97.795.615 | 142.386.576 | 195.213.796 |

Cifras en Guaranies - Ajustado

ESTADOS DE RESULTADOS COMPARATIVOS - ESTABLECIMIENTO TATANE

| CUENTAS | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| EGRESOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS FIJOS DIRECTOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sueldos Administrativos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beneficios Sociales | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Depreciaciones | | | | | 688.942 | 1.170.933 | 1.451.959 | 2.790.352 | 3.805.192 | 6.609.857 | 8.464.790 | 11.668.102 | 17.019.715 | 19.609.952 | 28.824.408 | 39.001.460 |
| Mant. Maquin. y Equipos | | | | | | | | | 92.495 | 589.415 | 2.300.535 | 1.344.850 | 1.361.328 | 1.744.976 | 1.176.067 | 7.877.118 |
| COSTOS FIJOS INDIRECTOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papeletas, Utiles e Impresos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viajes y Viaticos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conservaciones | | | | | | | | | | | | | | 180.539 | 448.029 | |
| Mant. Maquin. y Equipos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos Vehiculos | | | | | | | | | | | | | | 2.223.248 | 3.374.901 | |
| Mantenimiento Alambradas | | | | | | | | | | | | | | 1.083.671 | 2.097.554 | 3.108.263 |
| Servicios de Terceros | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS VARIABLES | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganado en pié | | | | | | | | | | | | | | | | 65.970.625 |
| Gastos de Caballo | | | | | | | | | | | | | | | 1.164.847 | 656.142 |
| Sanitacion Animal | | | | | | | | | | | | | 2.536.962 | 3.670.611 | 4.987.425 | 5.413.430 |
| Insecticida p/Campo | | | | | | | | | | | | | | | 3.200.000 | 6.266.695 |
| Alim. Suplementaria - Forrajes | | | | | | | | | | | | | | | 271.650 | |
| Alquiler Pastura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Combustibles | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos Palo Santo | | | | | | | | | | | 3.269.056 | | | | | |
| Mantenimiento Pastura | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transporte de agua | | | | | | | | | | | | | | | | 5.899.289 |
| GASTOS ADMINISTRATIVOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sueldos Administrativos | | | | | 514.000 | 442.000 | 883.508 | 1.212.283 | 2.221.486 | 2.716.660 | 3.581.577 | 6.731.329 | 5.392.878 | 11.047.842 | 19.330.331 | 27.098.288 |
| Beneficios Sociales | | | | | 127.643 | 109.763 | 219.404 | 301.051 | 551.669 | 674.637 | 889.425 | 1.423.280 | 1.339.231 | 2.743.547 | 4.800.365 | 6.729.408 |
| Viajes y Viaticos | | | | | 54.100 | 226.730 | 372.158 | 1.370.490 | 679.340 | 1.196.550 | 2.255.792 | 1.861.318 | 2.700.744 | 2.444.286 | 6.105.113 | 6.151.326 |
| Papeletas, Utiles e Impresos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arrendamiento | | | | | | 353.000 | 1.122.000 | | | | | | | | | |
| Amortiz. Gastos de Organizacion | | | | | 701.313 | 701.313 | 701.314 | | | | | | | | | |
| Gastos Varios | | | | | 177.124 | 31.011 | 107.780 | 201.030 | 405.327 | 973.056 | 1.134.209 | 1.831.714 | 442.347 | 311.631 | 2.854.162 | 1.513.692 |
| Mantenimiento Radio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS DE VENTAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fletes Pagados | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS FINANCIEROS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Intereses Pagados | | | | | 213.552 | 968.780 | 851.757 | 782.470 | 2.541.759 | 3.071.125 | 4.579.003 | 6.095.018 | 5.053.089 | 5.275.858 | 8.383.475 | 7.986.721 |
| GASTOS TRIBUTARIOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Patentes y Tasas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Impuesto Inmobiliario | | | | | 50.005 | 44.525 | 421.468 | 391.374 | 663.270 | 541.347 | 1.050.697 | 1.270.441 | 2.981.590 | 4.248.359 | 3.681.320 | 527.400 |
| Gastos de Traslado Ganado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guia de traslado | | | | | | | | | | | | | | | | 12.441.936 |
| RESULTADO DEL EJERCICIO | | | | | 1.317.234 | 1.469.786 | (1.878.806) | (378.816) | 1.258.749 | 10.450.065 | 17.280.770 | 40.909.158 | 26.973.740 | 43.211.095 | 51.668.929 | (1.427.997) |
| TOTAL EGRESOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.843.913 | 5.517.841 | 4.252.542 | 6.670.234 | 12.219.287 | 26.822.712 | 44.805.854 | 73.135.210 | 65.801.624 | 97.795.615 | 142.368.576 | 195.213.796 |

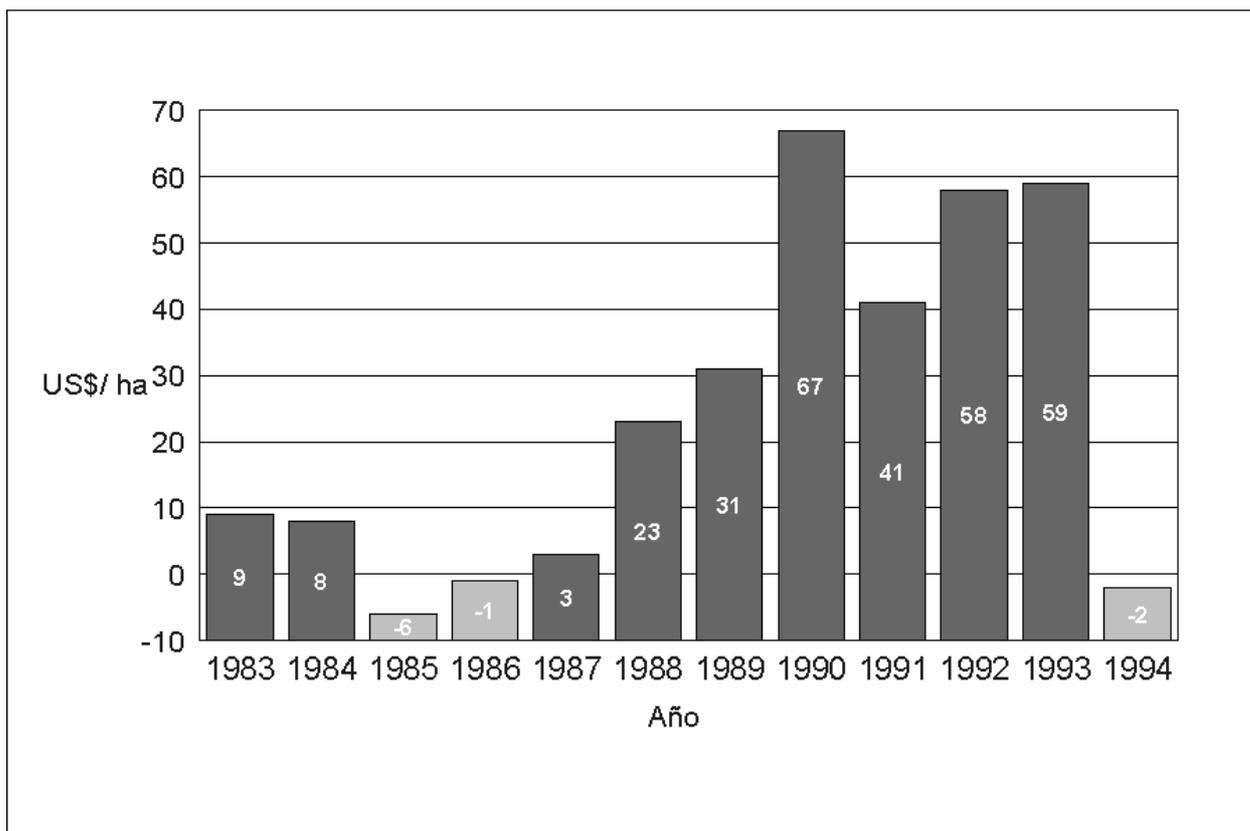
Cifras en Guaraníes - Ajustado

BALANCE DE SITUACION COMPARATIVO: ESTABLECIMIENTO TATANE

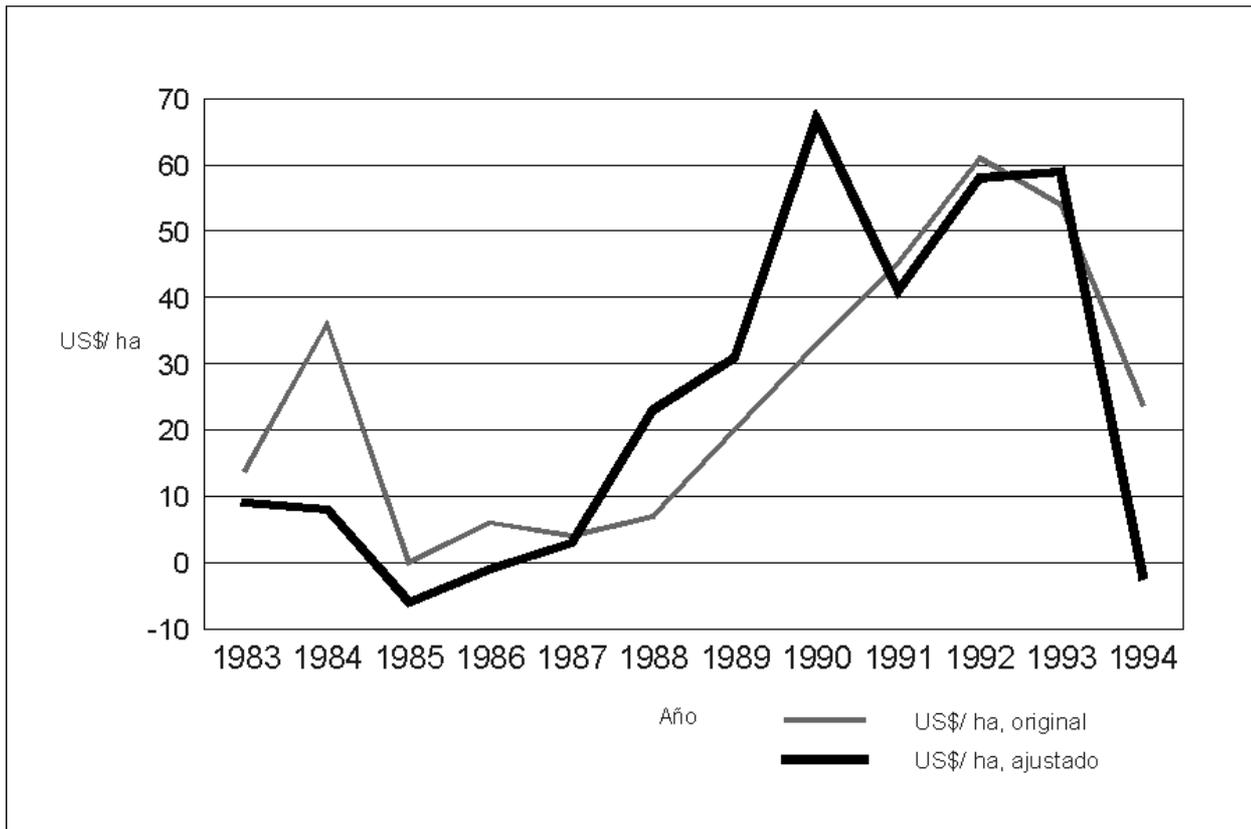
| CUENTAS | 1.979 | 1.980 | 1.981 | 1.982 | 1.983 | 1.984 | 1.985 | 1.986 | 1.987 | 1.988 | 1.989 | 1.990 | 1.991 | 1.992 | 1.993 | 1.994 |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| ACTIVO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISPONIBILIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caja | | 107.387 | | 334.877 | 518.837 | | | | | | | | | | | |
| Cta. Cle. | | | | 40.946 | | 1.070.045 | 1.072.885 | 1.079.870 | 0 | 0 | 4.205.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.945.059 |
| CREDITOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Deudores por Ventas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuentas a Cobrar | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Otros créditos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préstamos al personal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIENES DE CAMBIO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganado Vacuno Terminado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganado Vacuno de Proceso | | | 1.440.445 | 2.995.337 | 6.839.296 | 8.400.000 | 9.000.000 | 11.100.000 | 24.519.000 | 42.100.000 | 62.660.000 | 109.552.900 | 155.640.000 | 213.930.000 | 297.000.000 | 254.020.000 |
| OTROS BIENES DE CAMBIO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIENES DE USO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inmuebles - Terrenos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inmuebles - Construcciones | | 39.810 | 177.525 | 177.525 | 177.525 | 271.365 | 336.495 | 3.951.551 | 3.790.680 | 4.790.960 | 9.458.600 | 15.251.940 | 19.266.500 | 22.989.000 | 27.860.369 | 32.875.250 |
| Inmuebles - Instalaciones | | | | | | | | | | | | 4.933.200 | 11.044.140 | 15.993.025 | 20.990.900 | |
| Implementos | | | | | | | 1.240.000 | 13.511.550 | 16.160.000 | 19.520.000 | 23.686.400 | 26.692.700 | 31.497.386 | 48.369.820 | 57.076.400 | |
| Maquinarias | | | | | | | | | | | | 2.660.000 | 2.750.000 | 2.875.000 | 4.951.500 | |
| Alambradas | 73.602 | 1.001.137 | 1.063.413 | 1.231.678 | 1.477.928 | 2.473.726 | 3.081.265 | 4.968.910 | 8.376.376 | 10.386.700 | 12.879.500 | 19.279.900 | 30.727.000 | 36.754.200 | 53.657.250 | 64.248.815 |
| Canales y Bretes | | 35.400 | 378.039 | 400.577 | 400.577 | 612.322 | 759.280 | 941.510 | 1.167.472 | 1.447.665 | 1.795.100 | 2.225.924 | 9.581.935 | 11.306.700 | 13.702.590 | 19.650.200 |
| Pasturas | 864.402 | 1.188.857 | 1.853.802 | 1.877.578 | 3.373.938 | 6.415.554 | 10.967.140 | 13.999.395 | 17.905.880 | 29.611.510 | 36.850.100 | 46.419.000 | 66.600.400 | 64.914.300 | 104.123.920 | 122.866.250 |
| Bebederos y Tajamares | | 167.300 | 634.799 | 787.999 | 787.999 | 1.204.535 | 1.493.625 | 2.004.615 | 4.687.015 | 5.811.900 | 11.211.250 | 14.685.090 | 26.293.100 | 34.990.680 | 58.666.570 | 119.888.280 |
| Caballos - Ganado Equino | | | | 70.000 | 70.000 | 107.002 | 132.700 | 164.550 | 248.000 | 1.500.000 | 2.356.000 | 3.417.440 | 4.237.625 | 5.000.000 | 6.000.000 | 7.080.000 |
| Transporte Terrestre | 1.380.000 | 1.566.280 | 1.566.280 | 1.566.280 | 2.394.216 | 2.968.830 | 3.681.350 | 4.564.875 | 4.564.875 | 5.660.450 | 11.500.000 | 14.260.000 | 16.826.800 | 20.392.400 | 24.063.050 | |
| Caminos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Toros | | | | | | | 480.000 | 1.463.200 | | | | | | | | |
| Depreciaciones acumuladas | | | | -625.179 | -1.314.121 | (2.485.054) | -3.937.013 | -6.378.186 | -10.183.378 | -16.793.236 | -25.258.085 | -36.926.187 | -53.945.902 | -73.555.854 | -102.380.262 | -141.381.722 |
| CARGOS DIFERIDOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gastos de Organización | | 98.113 | 797.536 | 2.103.940 | 1.402.627 | 701.314 | | | | | | | | | | |
| Int. Pagados por Adelantado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL ACTIVO: | 938.004 | 4.018.004 | 7.911.839 | 10.961.558 | 15.300.886 | 21.165.025 | 26.355.207 | 38.216.765 | 68.587.470 | 99.580.375 | 141.337.927 | 209.092.407 | 306.946.558 | 378.447.352 | 546.260.682 | 598.273.982 |
| PASIVO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DEUDAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préstamo Personal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuentas a Pagar | | | 828.790 | 290.302 | 155.172 | | | | | 70.275 | | | | | | |
| Préstamos bancarios | | | | | | | | | | 3.355.825 | 5.924.183 | | | | | |
| Provisiones | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I.P.S. Y B.N.T. | | | | | 133.640 | 114.920 | 229.712 | 315.193 | 577.586 | 706.332 | 931.210 | 1.490.145 | 1.402.148 | 2.872.439 | 5.025.886 | 7.045.555 |
| Aguinaldo a Pagar | | | | | 42.833 | 36.833 | 73.626 | 101.024 | 185.123 | 226.388 | 298.465 | 477.610 | 449.407 | 920.654 | 1.610.860 | 2.258.190 |
| Deudas a Largo Plazo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Préstamo Fondo Ganadero | | 750.000 | 697.500 | 2.437.324 | 3.495.935 | 2.949.451 | 3.167.000 | 3.480.877 | 14.990.588 | 12.897.263 | 9.246.511 | 12.291.111 | 13.049.486 | 6.637.361 | 16.789.236 | 8.461.111 |
| B.N.F. | | | | | | | | | | 3.355.825 | 5.924.183 | | | | | |
| PATRIMONIO NETO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAPITAL RESERVAS Y RESULTADOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capital social | 938.004 | 3.268.004 | 6.385.549 | 8.524.234 | 10.311.244 | 11.933.004 | 16.284.308 | 20.115.943 | 21.451.012 | 25.321.042 | 32.635.352 | 37.869.352 | 60.848.752 | 75.989.640 | 90.093.948 | 101.001.448 |
| Reserva de Revalu | | | | | | 4.661.031 | 8.479.367 | 14.582.544 | 29.622.854 | 43.834.816 | 75.021.436 | 114.996.091 | 194.805.046 | 248.816.163 | 381.071.823 | 480.935.675 |
| RESULTADOS | | | | 1.317.234 | 1.469.786 | -1.878.806 | -378.816 | 1.258.749 | 10.450.065 | 17.280.770 | 40.909.158 | 26.973.740 | 43.211.095 | 51.668.929 | -1.427.997 | |
| TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO NETO: | 938.004 | 4.018.004 | 7.911.839 | 10.961.558 | 15.300.886 | 21.165.025 | 26.355.207 | 38.216.765 | 68.587.470 | 99.580.375 | 141.337.927 | 209.092.407 | 306.946.558 | 378.447.352 | 546.260.682 | 598.273.982 |
| UTILIDAD ANUAL POR Ha. en G. | | | | | 2.634 | 2.940 | -3.758 | -758 | 2.517 | 20.900 | 34.562 | 81.818 | 53.947 | 86.422 | 103.338 | -2.856 |
| UTILIDAD ANUAL POR Ha. en us. | | | | 9 | 8 | -6 | -1 | 3 | 23 | 31 | 67 | 41 | 58 | 59 | -2 | |
| COTIZACION US\$ - COMPRA | | | | 308 | 384 | 594 | 680 | 789 | 927 | 1.132 | 1.220 | 1.321 | 1.499 | 1.740 | 1.898 | |

Cifras en Guaraníes - Ajustado

ESTANCIA TATANE: UTILIDAD ECONOMICA
EN US\$/ HA/ AÑO (CONTABILIDAD AJUSTADA)



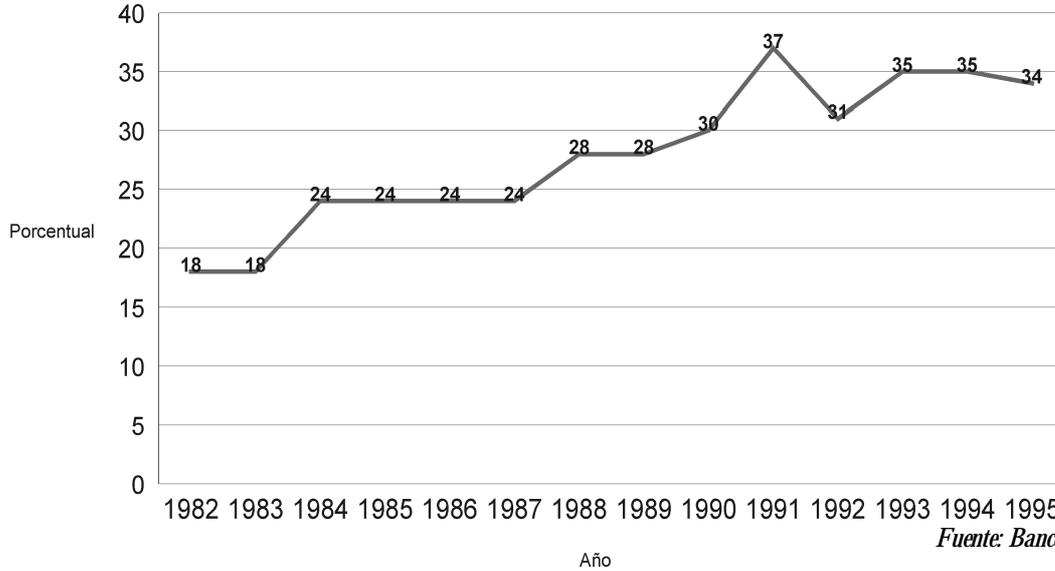
**SET 3: ESTANCIA TATANE: UTILIDAD ANUAL COMPARATIVA (US\$/ HA/ AÑO)
1983 - 1994**



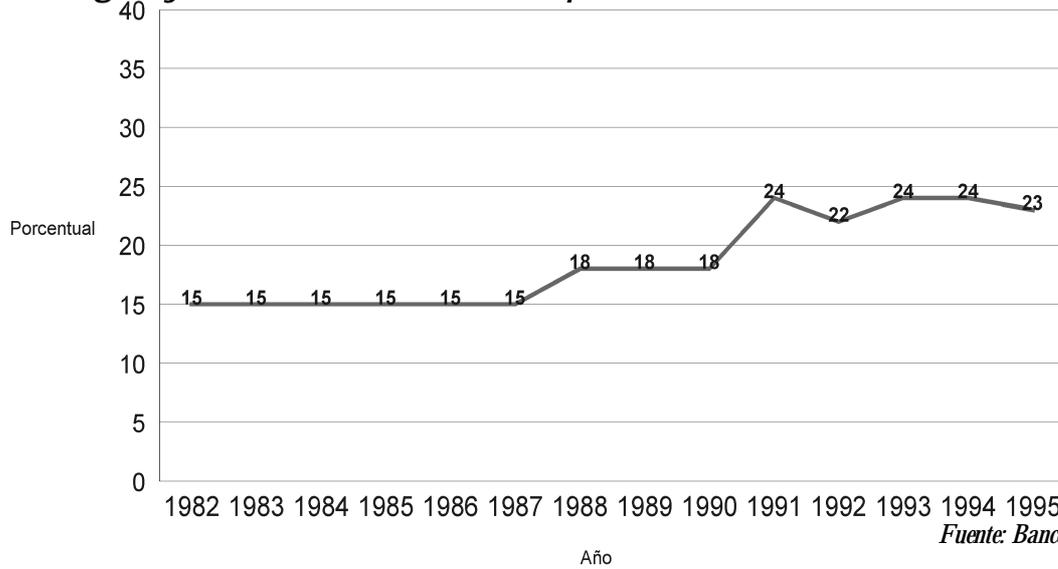
| | |
|------------------------------|------------------|
| Promedio general 1979 - 1995 | 21,7 US\$/ha/año |
| Promedio original | 25,3 US\$/ha/año |
| Promedio ajustado | 24,1 US\$/ha/año |

SET 4: ESTANCIA TATANE: RELACION DE TASAS ACTIVAS Y TASAS PASIVAS (INTERESES) 1982 - 1995

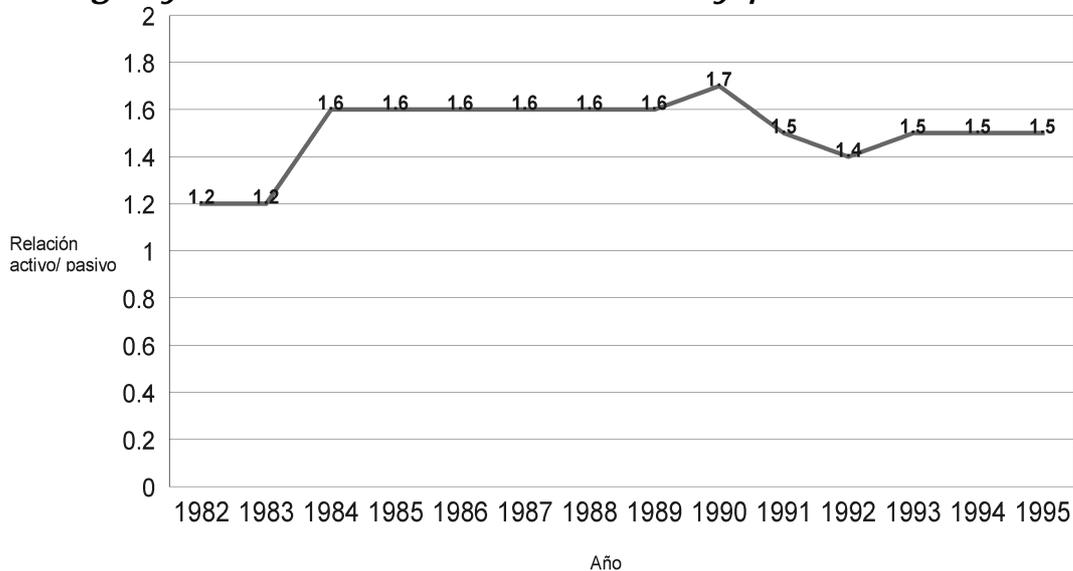
Paraguay: Relación de tasas activas 1982 - 1995



Paraguay: Relación de tasas pasivas 1982 - 1995

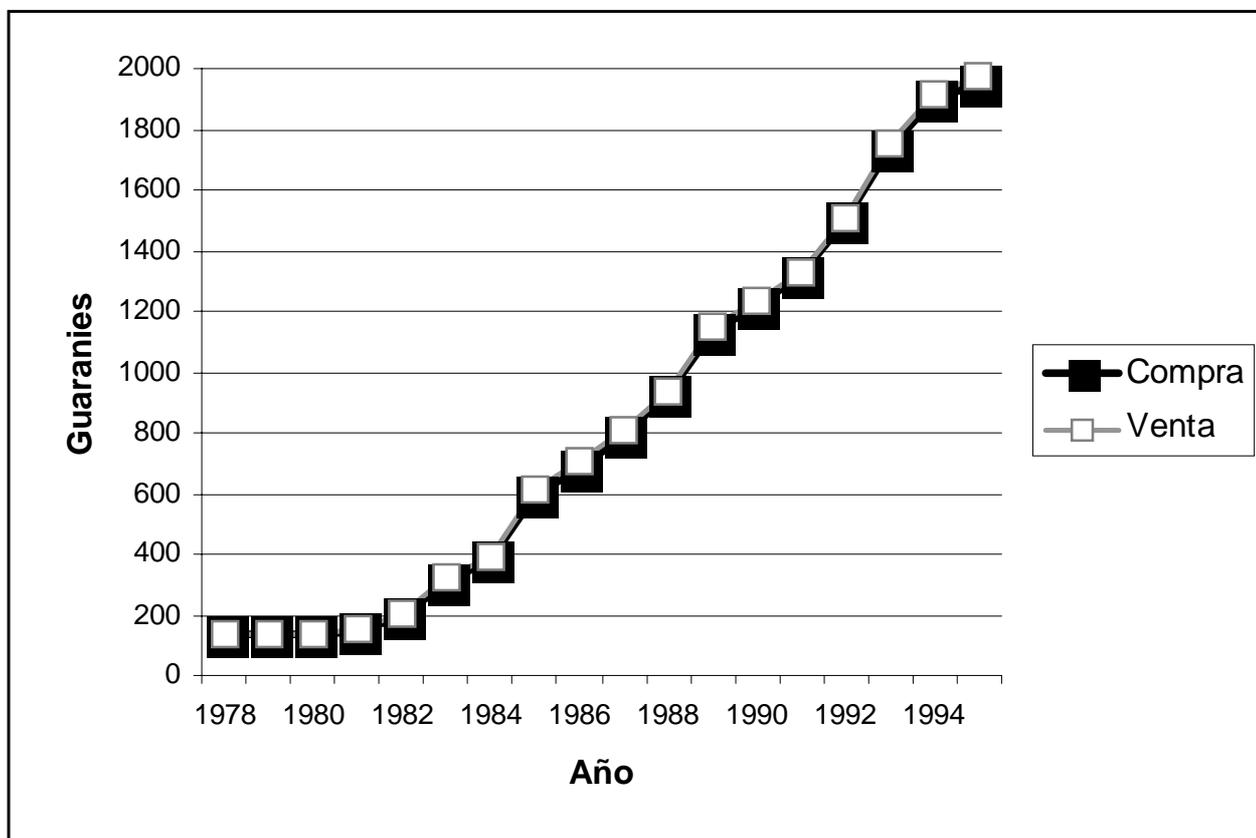


Paraguay: Relación de tasas activas y pasivas 1982 - 1995



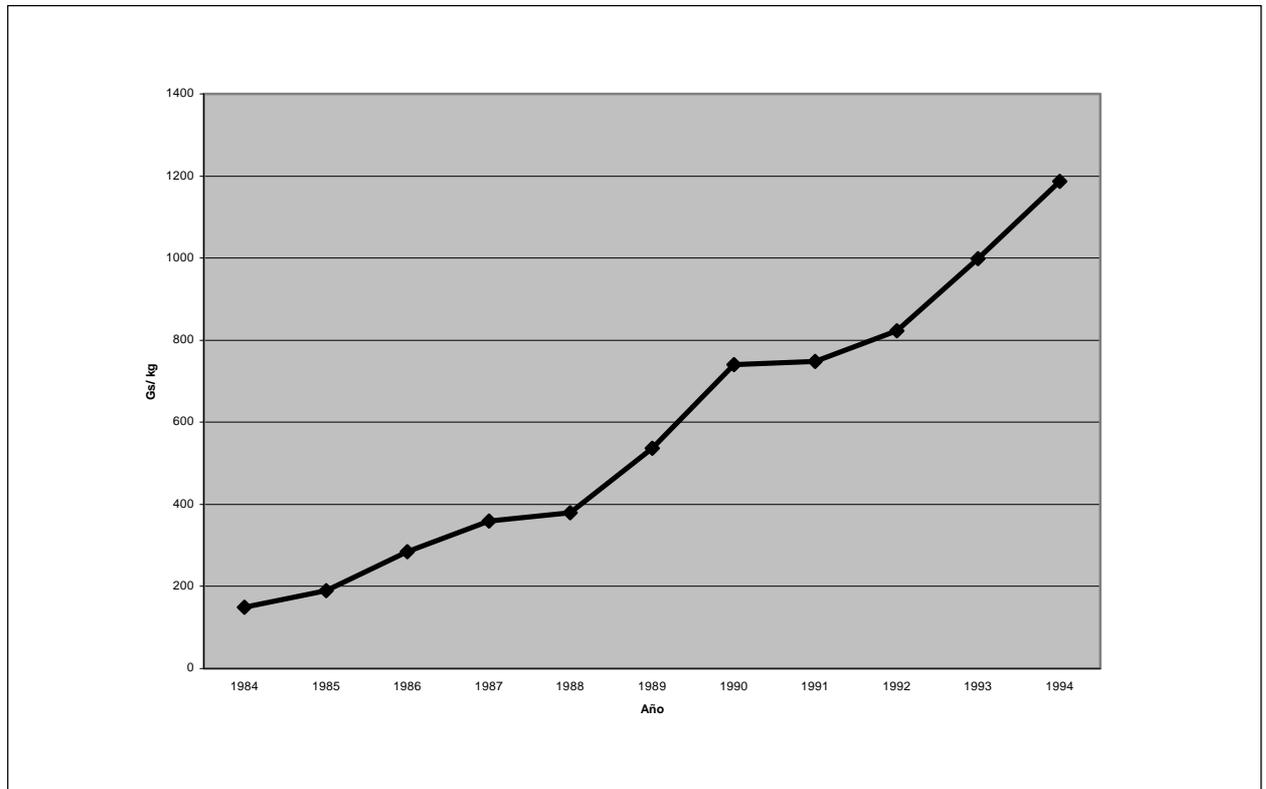
SET 5: ESTANCIA TATANÉ: COTIZACIONES DEL DÓLAR AMERICANO (MERCADO FLUCTUANTE) 1978 - 1995

| Año | Compra | Venta |
|------|--------|-------|
| 1978 | 136 | 139 |
| 1979 | 136 | 139 |
| 1980 | 134 | 136 |
| 1981 | 147 | 150 |
| 1982 | 200 | 206 |
| 1983 | 308 | 321 |
| 1984 | 384 | 388 |
| 1985 | 594 | 613 |
| 1986 | 680 | 703 |
| 1987 | 789 | 807 |
| 1988 | 927 | 934 |
| 1989 | 1132 | 1145 |
| 1990 | 1220 | 1230 |
| 1991 | 1321 | 1327 |
| 1992 | 1499 | 1510 |
| 1993 | 1740 | 1752 |
| 1994 | 1898 | 1915 |
| 1995 | 1953 | 1973 |



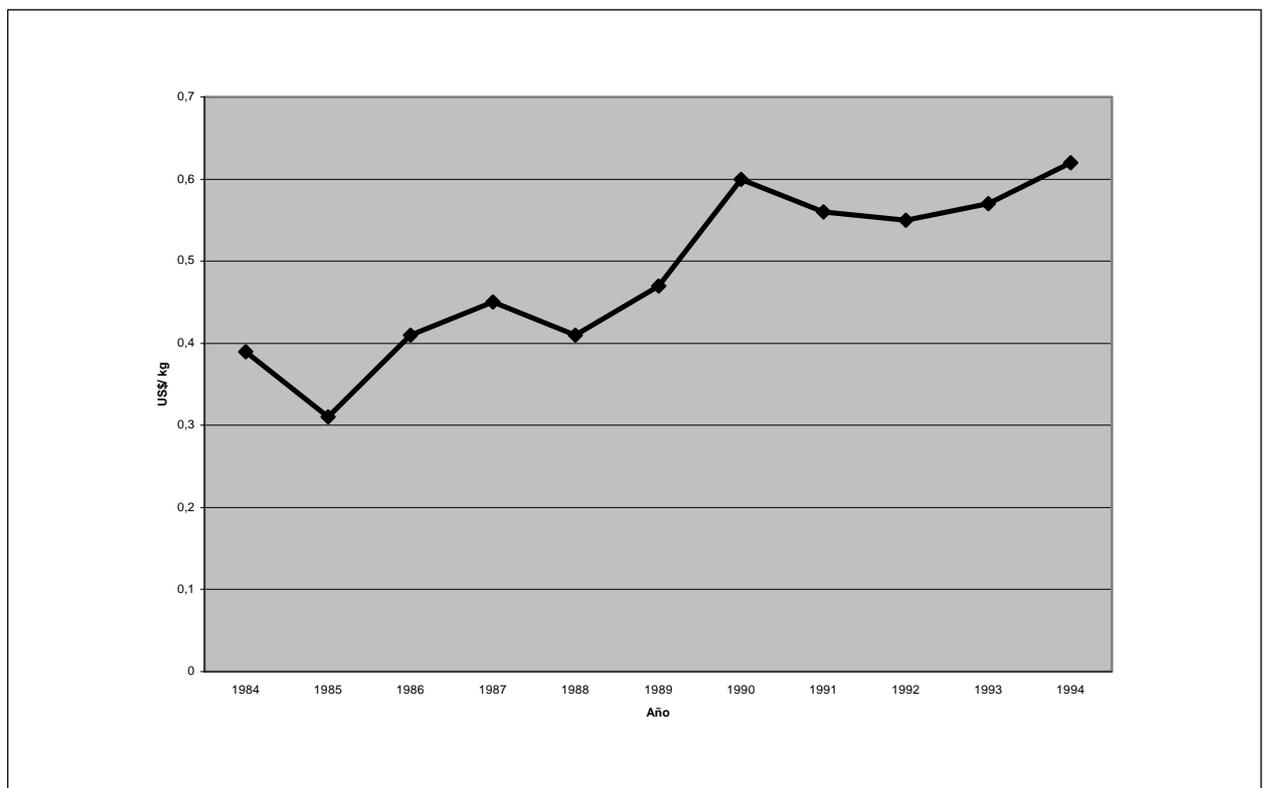
SET 6: ESTANCIA TATANE: ESTADISTICA DE PRECIOS DE CARNE (NOVILLOS) 1984 - 1994

Precios en Gs/ kg



*Fuente: Estadística ganadera
Subsecretaría de estado de Ganadería*

Precios en US\$/ kg



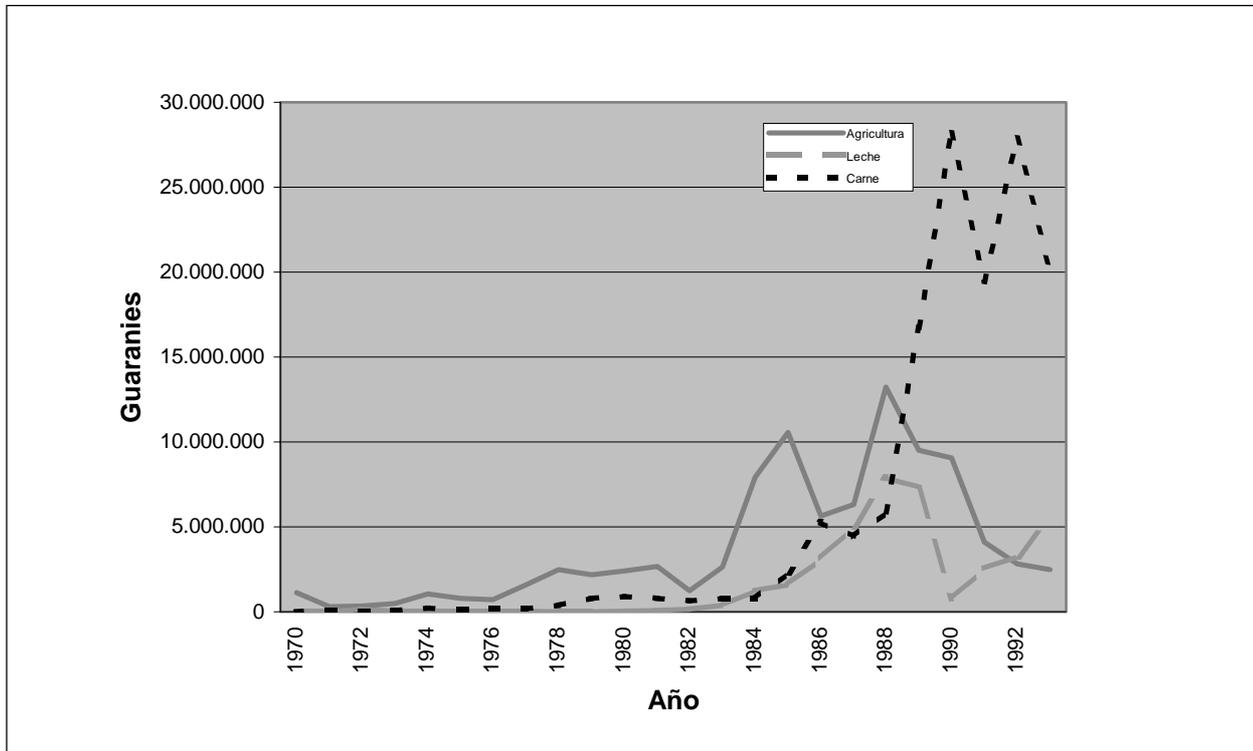
Asentamiento Neufeld

**Relación de datos económicos
1965/ 1970 - 1993
(Set 1 - 2)**

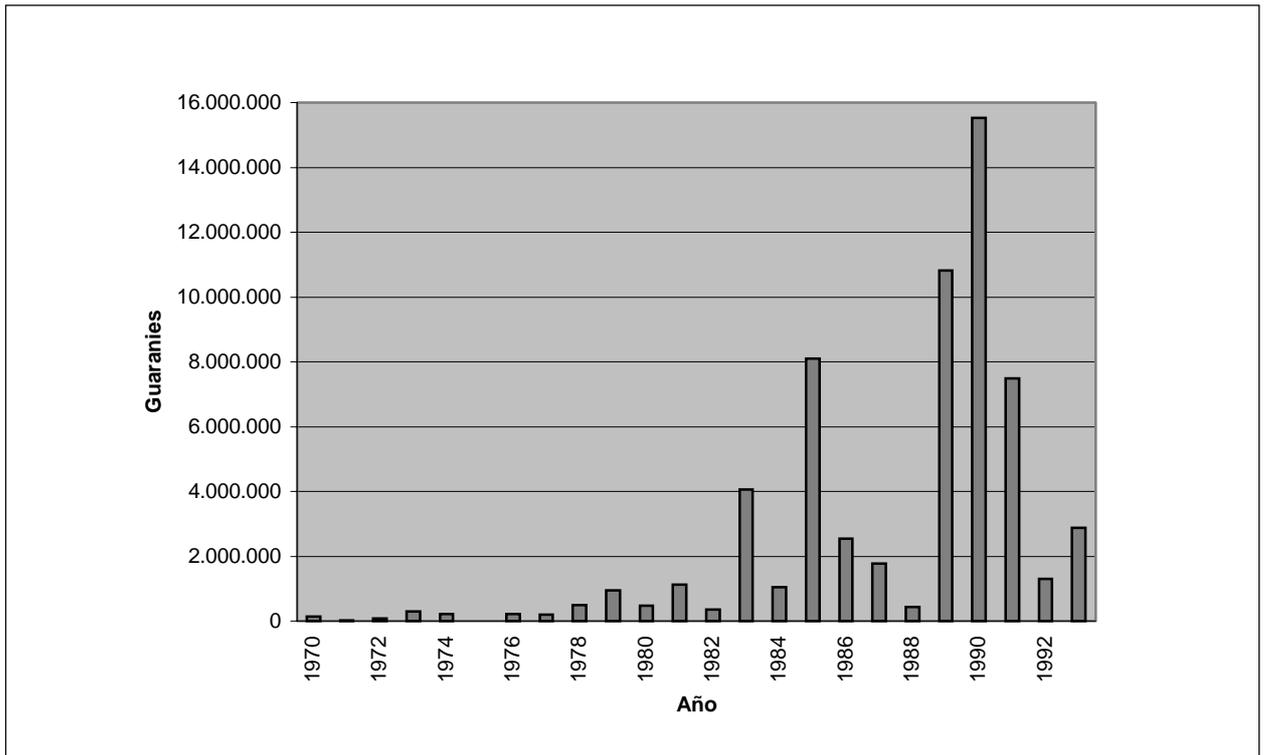
SET 1: ASENTAMIENTO NEUFELD: DATOS ECONOMICOS CONTABLES (ORIGINALES) 1970 - 1993

| Año | Créditos | Int/ Dev/ Div | Agricultura | Leche | Carne |
|------|------------|---------------|-------------|-----------|------------|
| 1970 | 128.960 | 227.833 | 1.129.624 | 12.940 | 16.270 |
| 1971 | 26.550 | 83.648 | 291.559 | 5.154 | 82.405 |
| 1972 | 74.735 | 48.546 | 341.153 | 132.940 | 44.443 |
| 1973 | 300.000 | 211.882 | 507.484 | 31.419 | 73.815 |
| 1974 | 217.500 | 18.877 | 1.034.899 | 25.252 | 214.343 |
| 1975 | 0 | 174.292 | 799.925 | 27.083 | 159.563 |
| 1976 | 214.000 | 427.460 | 719.455 | 42.647 | 199.721 |
| 1977 | 200.000 | 693.180 | 1.593.273 | 29.454 | 197.028 |
| 1978 | 500.000 | 924.698 | 2.487.691 | 14.847 | 357.159 |
| 1979 | 937.720 | 787.328 | 2.170.068 | 11.967 | 804.987 |
| 1980 | 479.810 | 1.096.918 | 2.396.668 | 25.575 | 908.260 |
| 1981 | 1.115.230 | 922.428 | 2.687.693 | 67.039 | 788.800 |
| 1982 | 349.738 | 997.841 | 1.236.460 | 153.204 | 649.256 |
| 1983 | 4.060.245 | 1.702.312 | 2.627.596 | 366.649 | 780.918 |
| 1984 | 1.052.875 | 1.211.652 | 7.944.990 | 1.221.975 | 805.774 |
| 1985 | 8.090.520 | 2.288.285 | 10.570.732 | 1.628.937 | 2.284.571 |
| 1986 | 2.547.000 | 4.717.224 | 5.626.267 | 3.154.474 | 5.247.554 |
| 1987 | 1.768.876 | 5.378.438 | 6.317.769 | 5.015.902 | 4.443.039 |
| 1988 | 440.000 | 5.814.404 | 13.221.887 | 7.890.056 | 5.867.530 |
| 1989 | 10.819.825 | 5.433.641 | 9.494.777 | 7.321.947 | 16.720.698 |
| 1990 | 15.534.500 | 5.153.038 | 9.074.595 | 765.497 | 28.207.506 |
| 1991 | 7.496.000 | 38.577.370 | 4.096.650 | 2.549.354 | 19.417.745 |
| 1992 | 1.300.000 | 10.974.398 | 2.806.756 | 3.222.008 | 27.884.910 |
| 1993 | 2.877.000 | 10.445.284 | 2.498.010 | 5.505.614 | 20.026.275 |

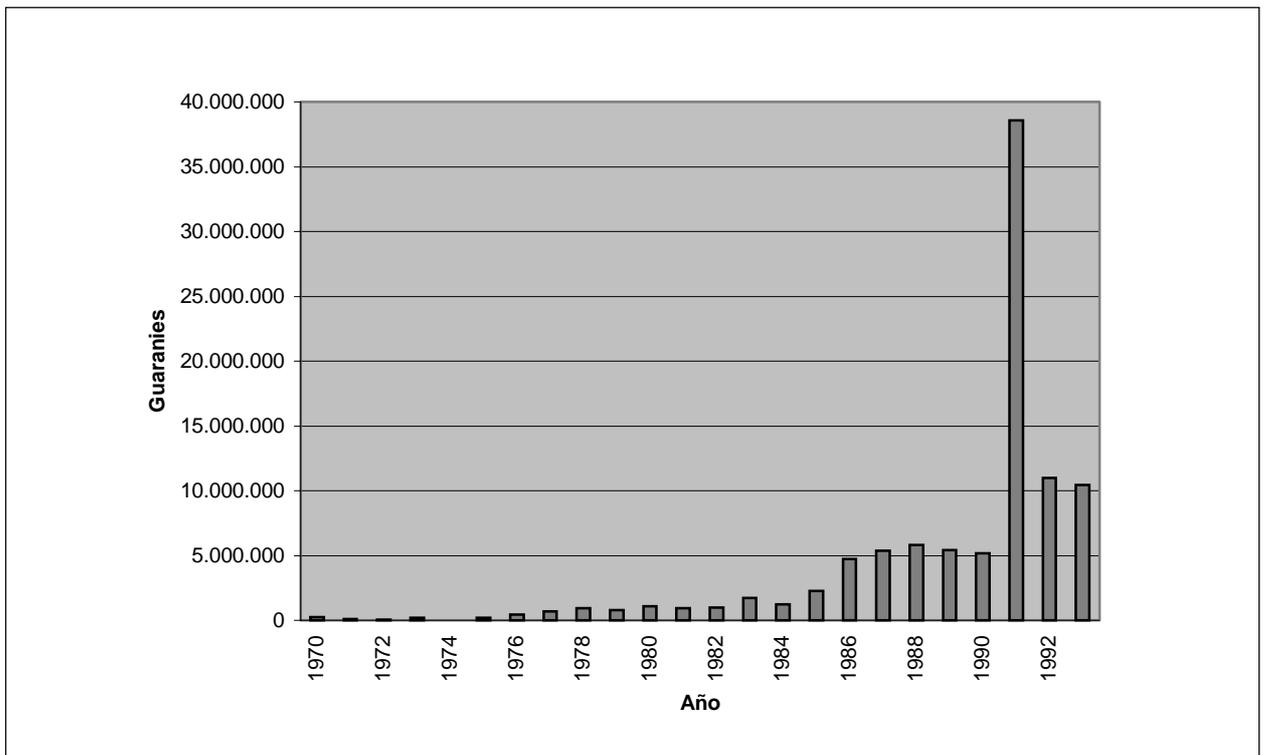
Asentamiento Neufeld: Relación de producción agrícola, producción láctea y producción de carne 1965/ 1970 - 1993



Asentamiento Neufeld: Relación de créditos otorgados 1965/ 1970 - 1993



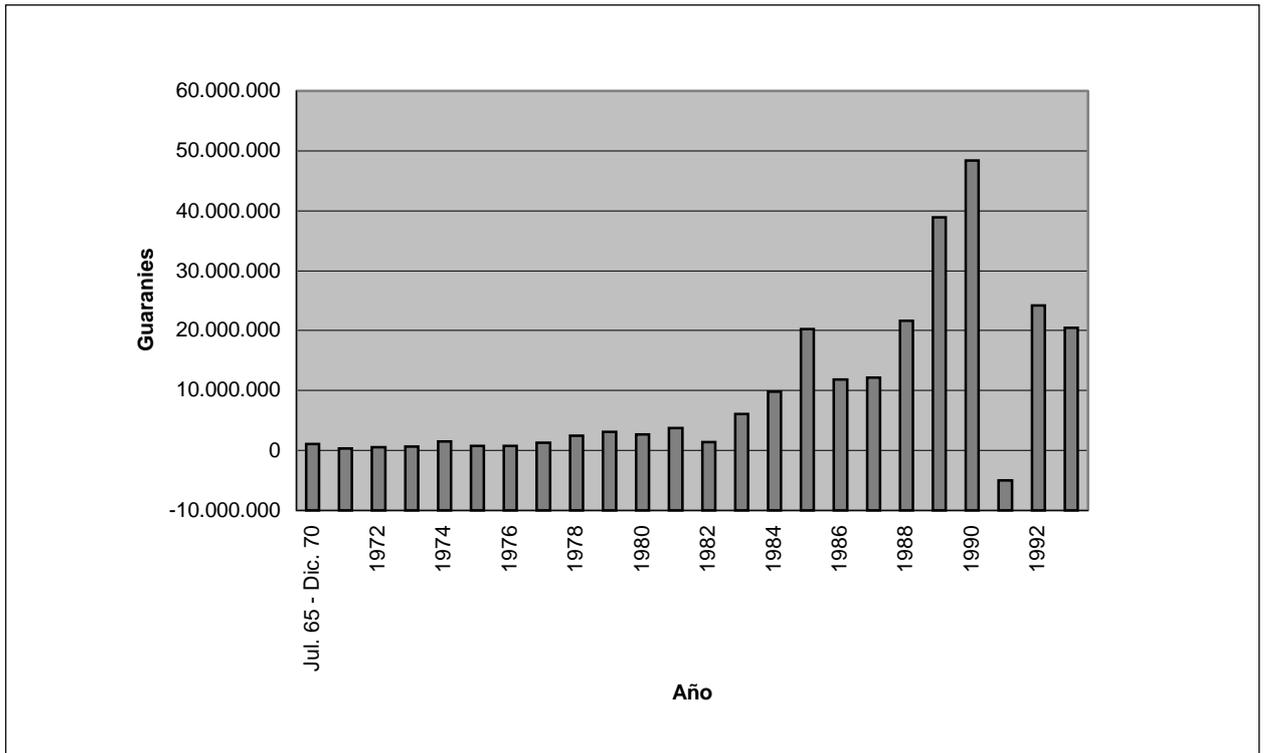
Asentamiento Neufeld: Relación de intereses y devoluciones pagados 1965/ 1970 - 1993



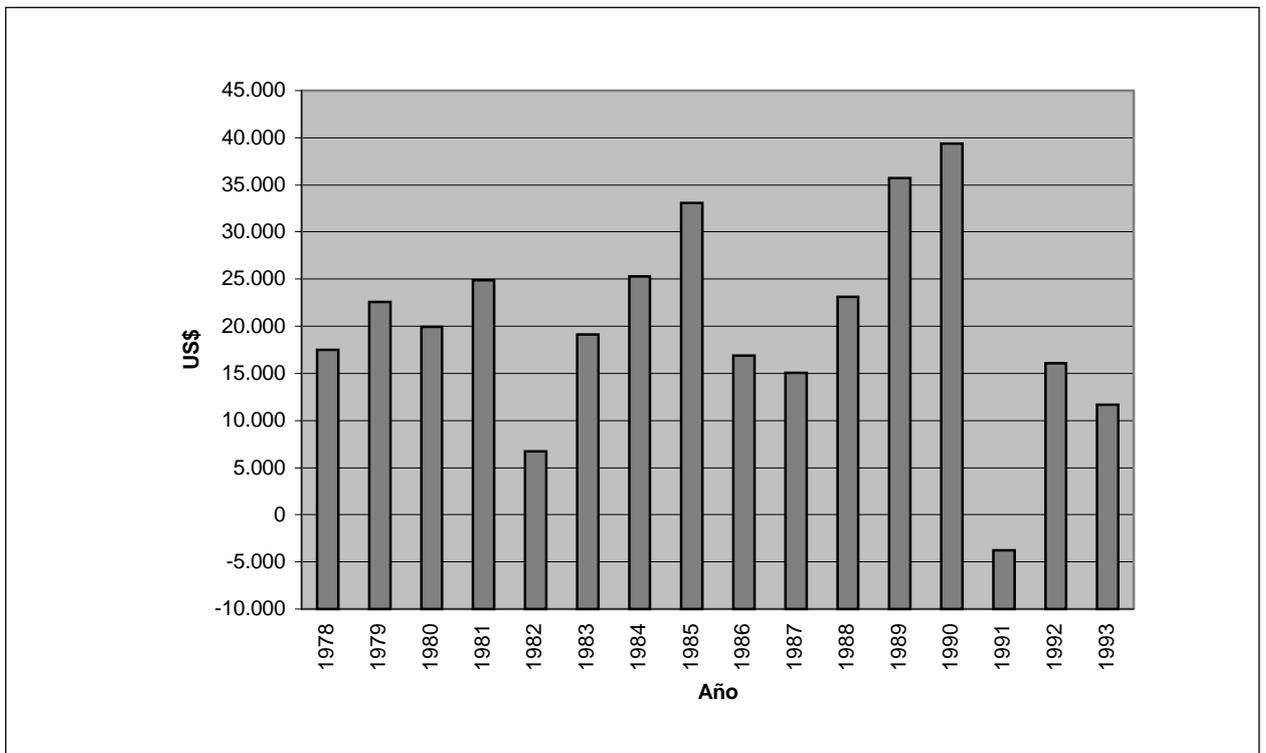
**SET 2: ASENTAMIENTO NEUFELD: BALANCE DE RENTABILIDAD ECONOMICA (AJUSTADO)
1965/ 1970 - 1993**

| Año | Finanzas | Producción | Saldo Gs. | Saldo US\$ |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| Jul. 65 - Dic. 70 | -98.873 | 1.158.834 | 1.059.961 | |
| 1971 | -57.098 | 379.118 | 322.020 | |
| 1972 | 26.189 | 518.536 | 544.725 | |
| 1973 | 88.118 | 612.718 | 700.836 | |
| 1974 | 198.623 | 1.274.494 | 1.473.117 | |
| 1975 | -174.292 | 986.571 | 812.279 | |
| 1976 | -213.460 | 961.823 | 748.363 | |
| 1977 | -493.180 | 1.819.755 | 1.326.575 | |
| 1978 | -424.698 | 2.859.697 | 2.434.999 | 17.518 |
| 1979 | 150.392 | 2.987.022 | 3.137.414 | 22.571 |
| 1980 | -617.108 | 3.330.503 | 2.713.395 | 19.951 |
| 1981 | 192.802 | 3.543.532 | 3.736.334 | 24.909 |
| 1982 | -648.103 | 2.038.920 | 1.390.817 | 6.752 |
| 1983 | 2.357.933 | 3.775.163 | 6.133.096 | 19.106 |
| 1984 | -158.777 | 9.972.739 | 9.813.962 | 25.294 |
| 1985 | 5.802.235 | 14.484.240 | 20.286.475 | 33.094 |
| 1986 | -2.170.224 | 14.028.295 | 11.858.071 | 16.868 |
| 1987 | -3.609.562 | 15.776.710 | 12.167.148 | 15.076 |
| 1988 | -5.374.404 | 26.979.473 | 21.605.069 | 23.132 |
| 1989 | 5.386.184 | 33.537.422 | 38.923.606 | 35.741 |
| 1990 | 10.381.462 | 38.047.598 | 48.429.060 | 39.373 |
| 1991 | -31.081.370 | 26.063.749 | -5.017.621 | -3.781 |
| 1992 | -9.674.398 | 33.913.674 | 24.239.276 | 16.053 |
| 1993 | -7.568.284 | 28.029.899 | 20.461.615 | 11.679 |

**Asentamiento Neufeld: Balance de rentabilidad económica
1965/ 1970 - 1993**



**Asentamiento Neufeld: Balance de rentabilidad económica
en US\$ 1965/ 1970 - 1993**



**Propuesta para el Mapeo de Unidades de
Relevancia Hidroeconómica
en el Chaco Central**

por
Hans Bender

INDICE

| | | |
|---------------|---|------------|
| 1 | Comisión y Realización | 141 |
| 2 | Resultados | 141 |
| 2.1 | Resultados del proyecto hidrogeológico | 141 |
| 2.1.1 | Creación de la infraestructura del proyecto | 141 |
| 2.1.2 | Planificación del trabajo en el proyecto | 141 |
| 2.1.3 | Instrucción a la contraparte en problemas relacionados al agua subterránea | 142 |
| 2.2 | Resultados del Proyecto "Sistema Ambiental del Chaco" | 142 |
| 2.2.1 | Planificación general de la división hidrogeológica del proyecto de medio ambiente | 142 |
| 3 | Propuesta para el Mapeo de Unidades de Relevancia Hidroeconómica en el Chaco Central con la Aplicación de Métodos de Sensores Remotos | 142 |
| 4 | Bibliografía | 143 |
| ANEXOS | | 144 |
| 1 | Plan de operaciones de campo para la primera fase del proyecto: «Exploración y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos del Chaco en Filadelfia». | 144 |
| 2 | Posibilidades para la utilización de métodos de Sensores Remotos para la determinación del potencial de agua subterránea en el Chaco Central. | 145 |
| 3 | Propuesta para el mapeo de unidades de relevancia hidroeconómica en el Chaco Central con la aplicación de métodos de sensores remotos. | 146 |
| 4 | Significado hidroeconómico de unidades geomorfológicas en el Chaco Central del Paraguay | 150 |
| 5 | Desarrollo del viaje | 151 |

| | |
|---------------------|--|
| Comitente | Ministerio para la Cooperación Económica (BMZ) |
| Autor del Informe | Dr. H. Bender |
| Número del Proyecto | 91.2036.1 y 90.2056.1 |
| Número del Archivo | 110 018 |
| Número del Diario | 1149/92 |
| Fecha | 31.07.1992 |

1 COMISION Y REALIZACION

En el contexto de la Cooperación Técnica Alemana con el Paraguay y por encargo oficial de fecha 14.04.1992, el autor del informe (Dr. H. Bender) fue enviado para asesorar a los proyectos:

1. Explotación y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos BMZ 132 - T 2080 - PAR 4/91 del 11.06.1991PN 90.2056.1
2. Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección de los Espacios Naturales en la Región Occidental BMZ 132 - T 2080 - PAR - 8/91 del 26.07.1991PN 90.2056.1

En detalle se presentaron las siguientes tareas:

- Realización, en Filadelfia y en Asunción, de la presentación y discusión del trabajo ejecutado por la BGR en relación al proyecto «Recursos del Agua Subterránea» con el Departamento de Agua para el Chaco (DACH), y con el grupo de trabajo de la BGR en el proyecto «Sistema Ambiental del Chaco».
- Concertación de las actividades a ser realizadas por el experto de la BGR, en base a los objetivos del proyecto, hasta la llegada del coordinador alemán del proyecto de agua subterránea. Introducción del coordinador a la problemática del proyecto.
- Introducción de los especialistas de la contraparte (DACH y de la Dirección de Medio Ambiente) en el campo en problemas relacionados al agua subterránea en el Chaco.

Por orden B 2.2/1.12 - 6077/92 - Fdh./He de la BGR, la duración del viaje fue ampliada a dos semanas para tratar el siguiente objetivo:

En el contexto del proyecto «Sistema Ambiental del Chaco»:

- Elaboración de una metodología para el mapeo y la evaluación hidrológica de los paleosistemas fluviales y del régimen actual del sistema hídrico superficial en el Chaco Central.

2 RESULTADOS

2.1 Resultados del proyecto hidrogeológico

2.1.1 Creación de la infraestructura del proyecto

Oficinas

En el momento de la llegada del autor del informe (Dr. H. Bender), las obras de refacción y construcción de las oficinas y del laboratorio de la DACH en

Filadelfia se encontraban suspendidas a causa de una falta de recursos económicos. Poco después se hizo posible la adquisición de los fondos necesarios en la institución contraparte, para luego terminar en poco tiempo la construcción de las oficinas, inclusive, la construcción de un depósito de mayor capacidad para guardar y estacionar los equipos del proyecto.

Muebles de oficina fueron adquiridos por intermedio de la contraparte.

Liberación aduanera del equipo del proyecto

En el momento del viaje del autor del presente informe todo el equipo estaba liberado de impuestos, con excepción de los vehículos enviados desde Alemania. Las formalidades aduaneras se realizaron a través de un despachante del Ministerio de Defensa Nacional; los costos obligatorios del citado despachante, sin embargo, debió anticipar el proyecto. La contraparte fue informada en forma verbal y escrita sobre el reembolso de los gastos.

Completar el «parque de perforadoras»

Para este objetivo se previó la suma de DM 880.000.- en la planificación del proyecto. Originalmente se tenía que financiar con esta suma la compra de dos equipos de perforación, uno de tamaño mediano y uno más grande.

Durante una visita al «parque de perforadoras» y conversaciones mantenidas con respecto a este tema, se manifestaron cambios relacionadas con las prioridades de saneamiento del «parque de perforadoras». El fondo se utilizará ahora como sigue:

- Reparación de un equipo de barrena espiral (auger a caracol) el cual se necesitaría durante los trabajos de inicio y seguimiento del proyecto (2.1.2);
- Compra de un camión pesado para el transporte de barras de perforación y de revestimiento;
- Compra de una perforadora mediana.

2.1.2 Planificación del trabajo en el proyecto

Para la fase de inicios y orientación se elaboró un plan de trabajo detallado (Anexo I); éste fue sincronizado con la contraparte

El plan abarca esencialmente los siguientes objetivos de trabajo:

- Estructuración del laboratorio hidroquímico en Filadelfia;
- Mapeo de la contaminación del agua subterránea en los centros poblacionales de Filadelfia y Loma Plata;
- Preparación de un sistema de monitoreo para la instalación de un sistema para el enriquecimiento artificial del agua subterránea en Filadelfia.

2.1.3 Instrucción a la contraparte en problemas relacionados al agua subterránea

A través de una charla (Anexo II) y salidas al campo, los funcionarios de la contraparte del DACH y del proyecto «Sistema Ambiental del Chaco», recibieron una introducción a la importancia hidro-económica que tienen los elementos geomorfológicos del Chaco Central.

2.2 Resultados del proyecto «Sistema Ambiental del Chaco»

2.2.1 Planificación general de la división hidrogeológica del proyecto de medio ambiente

Durante la realización de los trabajos del proyecto se tiene que enfocar los siguientes objetivos:

- a) Monitoreo de zonas con yacimientos de agua dulce de formación natural;
- b) Monitoreo de zonas con posibilidades de conservación de agua a través de captación de aguas superficiales en tajamares de agua superficial ó tanques australianos;
- c) Monitoreo de zonas con posibilidades de recarga artificial a través de instalaciones de tajamares de infiltración;
- d) Mapeo de zonas con agua subterránea generalmente salobre.

Para el logro de los citados objetivos son necesarios los siguientes trabajos en:

a) Yacimientos de agua dulce natural

- Mapeo de los meandros del Río Paraguay por medio de imágenes satelitarias.
- Muestreo de la calidad del agua subterránea en la región de los meandros a través de perforaciones de poca profundidad.
- Mapeo y evaluación de los paleosistemas fluviales en el Chaco Central (ver Anexo III para mayor detalle).

b) Tajamares de agua superficial

- Registro de los caudales de los riachos.
- Estudio del nivel freático y calidad del agua subterránea en las áreas de monte del Bajo Chaco.
- Mapeo y evaluación de los paleosistemas fluviales en el Chaco Central (Anexo 3).

c) Tajamares de infiltración

- Mapeo y evaluación de los paleosistemas fluviales en el Chaco Central (Anexo III).
- Estudio de posibilidades de enriquecimiento artificial de agua subterránea en los cauces secos, en dirección septentrional y occidental de las colonias mennonitas.

d) Regiones/zonas con agua subterránea generalmente salobre

- Mapeo del nivel freático crítico en los márgenes orientales y sureños de las colonias mennonitas (Anexo III).

3 PROPUESTA PARA EL MAPEO DE UNIDADES DE RELEVANCIA HIDROECONOMICA EN EL CHACO CENTRAL CON LA APLICACION DE METODOS DE SENSORES REMOTOS.

La metodología del mapeo fue elaborada en una zona de ejemplo (colonias mennonitas) y es descrita detalladamente en el Anexo III.

Fundamentalmente, el procedimiento recomendado está basando en:

- Los descubrimientos obtenidos durante trabajos y estudios anteriores en la Pampa argentina y en el Chaco paraguayo, con respecto a los contextos entre la morfología, el nivel freático y la calidad del agua subterránea.
- El mapeo anterior de las unidades geomorfológicas en el Chaco Central a través de H. Bender (1970) y A. Menthe (1973).
- Las observaciones del autor del informe durante el viaje técnico.

4 BIBLIOGRAFIA

BENDER, F., FLATHE, H. & LÜDERS, H., 1960, Ergebnisse der hydrogeologisch-geophysikalisch-bodenkundlichen Untersuchungen im Chaco Boreal, Paraguay. - Informe no publicado, BGR, Hannover.

BENDER, H. & REPSOLD, H., 1970, Hydrogeologische und geophysikalische Untersuchungen zur Grundwassererschließung für das Schlachthofprojekt in den Mennonitenkolonien im zentralen Chaco (Paraguay). Informe no publicado, BGR, Hannover.

PNUD (1978): Investigación y desarrollo de agua subterránea en el Chaco.

ANEXO 1

Plan de operaciones de campo para la primera fase del proyecto «exploración y aprovechamiento de los recursos hídricos del chaco en Filadelfia»

Trabajos básicos

- Mapeo geomorfológico según informaciones obtenidas a través de sensores remotos (fotos aéreas e imágenes satelitarias).
- Reinterpretación de la geología de los estratos superficiales o poco profundos según los resultados del mapeo geomorfológico.
- Construcción de perfiles geológicos usando datos de las perforaciones existentes.
- Mejoramiento de los mapas temáticos (p.e. distribución de los sedimentos finos y gruesos, espesores, etc.).
- Completar el plano de nivelación en Filadelfia y Loma Plata.
- Funcionamiento de la perforadora AUGER (a caracol).
- Realización de un censo de todos los pozos existentes en las áreas de las ciudades de Filadelfia y Loma Plata.

Tareas específicas

Tarea 1: Preparación de un sistema de monitoreo de pozos de infiltración (tajamares) en Filadelfia; área «Parque Industrial».

- Evaluación y censo de los sistemas de recarga artificial existentes.
- Perforación y entubamiento de pozos de observación (diámetro mínimo interno = 4 pulgadas).
- Instalación de piezómetros automáticos.
- Instalación de un medidor de salida de agua en el sistema de extracción de agua para consumo.
- Instalación de un jalón de agrimensor en los tajamares.
- Determinación de la capacidad de los tajamares.
- Instalación de un pluviómetro y un tanque de medición de evaporación, dentro del área de los tajamares de recarga artificial.
- Realización de ensayos de bombeo en la cercanía de los tajamares, para la determinación de los parámetros hidráulicos. (Instalación de un pozo

de bombeo, pozos de observación; con un caudal mínimo de la bomba de 2 m³/h; duración del ensayo: 48 horas).

- Determinación del área de la cuenca de los tajamares.
- Desarrollo de un plan de monitoreo de las unidades de recarga artificial (mediciones de las fluctuaciones de agua subterránea en la cercanía de los tajamares, de las cantidades de recarga y extracción de agua, de la calidad de las aguas: agua de lluvia, agua de tajar, agua subterránea, agua de extracción).
- Desarrollo de un modelo matemático para el manejo óptimo del sistema.

Tarea 2: Mapeo de la contaminación del agua subterránea en las poblaciones de Filadelfia y Loma Plata.

- Instalación y funcionamiento de un laboratorio hidroquímico en Filadelfia.
- Identificación de las posibles fuentes de contaminación (p.e. el parque industrial, el barrio habitacional de los chulupíes, estaciones de servicio, vertederos de basuras y aguas servidas, corrales de animales).
- Identificación de las localidades de toma de agua.
- Realización de perforaciones poco profundas, con la perforadora AUGER, de acuerdo a una red que sería determinada por la distribución de las tomas del agua y según los conocimientos que se han obtenido a través de los estudios geomorfológicos y geológicos mencionados más arriba (resultados de los trabajos básicos).
- Trabajos relacionados con perforaciones específicas para estudios de contaminación:
- Descripción del perfil litológico.
- Muestreo del agua existente para análisis químico y biológico.
- Realización de estos análisis en el laboratorio hidroquímico.
- Realización de análisis granulométricos de muestras seleccionadas de perforación.
- Medición de niveles estáticos del agua subterránea en las perforaciones poco profundas.

Tarea 3: Preparación de un sistema de monitoreo regional para medir las fluctuaciones del nivel de agua subterránea.

- Seleccionar puntos de observación, según los resultados obtenidos en el mapeo geomorfológico, en el área comprendida entre Filadelfia y Loma Plata.
- Perforar pozos de observación e instalar piezómetros automáticos.

Conclusiones, informes y publicación

- Sacar conclusiones de los resultados obtenidos en el contexto de las tareas 1 y 2 tomando en cuenta todos los aspectos de la geomorfología, de la geología y de la hidrogeología.
- Elaborar los informes técnicos correspondientes.
- Dar a conocer los resultados finales a la población local (p.e. por noticias en los diarios o por conferencias públicas).

ANEXO 2

Posibilidades para la utilización de métodos de sensores remotos para la determinación del potencial de los recursos de agua subterránea en el chaco central

En general, existen las siguientes posibilidades para la captación de agua en el Chaco Central:

- pozos de poca profundidad (cavados o perforados)
- tajamares de agua superficial que retienen el agua y no dejan infiltrarla
- tajamares de infiltración con pozos de bombeo (métodos de conservación del agua)

Las posibilidades de uso o del aprovechamiento del agua dependen generalmente de dos parámetros:

- de la permeabilidad del subsuelo y
- de la profundidad del agua subterránea

Alta permeabilidad

- apto para pozos
- apto para tajamares de infiltración (de la recarga artificial)
- inapto para tajamares de agua superficial

Agua subterránea a mucha profundidad significativa

- que el agua subterránea está fuera de la influencia directa de la evapotranspiración

Agua subterránea a poca profundidad significa

- que la evapotranspiración influye directamente sobre el agua subterránea

Cuanto más alta es la cantidad del agua perdida por la evapotranspiración, más alta sería la salinidad del agua subterránea, porque se evapora solamente agua pura quedando la sal; de este modo va aumentando el contenido salino.

Los movimientos del agua en el subsuelo son determinados en detalle por las formas geomorfológicas en esa zona. Se puede diferenciar entre:

- Ríos antiguos
- Paleocauces
- Lagunas
- Monte
- Riachos

Ríos antiguos: Sedimentos arenosos, pertenecientes a estos ríos, alcanzan unos kilómetros de ancho, cruzando el paisaje con meandros suavemente pronunciados.

Paleocauces: Son depresiones mas o menos rectas y normalmente relacionados a los ríos antiguos; pueden estar dentro del río pero en la mayoría de los casos están en el borde del río antiguo.

Lagunas: También son paleocauces pero con presencia de meandros estrechos dentro del monte.

Monte: Son áreas con sedimentos muy finos (arcilla).

Riachos: Son zanjas de erosión que se encuentran en los sedimentos de monte.

Explicamos brevemente el sentido hidrogeológico de las diferentes formas geomorfológicas.

- Los ríos antiguos tienen una alta permeabilidad, explicado por su alto contenido de arena, ofrecen posibilidades para la construcción de pozos y la construcción de tajamares de recarga artificial.
- Los paleocauces dentro y especialmente en el margen de los ríos antiguos almacenan agua de lluvia que se acumula en las depresiones y, a través de este proceso, se forman lentes de agua subterránea dulce en las áreas de los paleocauces.
- Al lado de las lagunas también se pueden formar lentes de agua dulce por infiltración indirecta pero éstos son de menor tamaño que los de los campos de arena.
- La baja profundidad del agua subterránea causa alta evapotranspiración, resultando solamente agua subterránea salada.
- Los riachos son líneas de drenaje, tienen su origen en la zona de monte y conducen en el período de sequía solamente agua salada.

Como se puede ver, el mapeo de las áreas de arena es muy importante en la determinación del potencial del agua. El mapeo de los ríos antiguos no es muy difícil, se realiza con la ayuda de fotografías aéreas y también con imágenes satelitarias.

El mapeo de los paleocauces, de la zona de monte y de los riachos tampoco presenta grandes problemas.

El problema se relaciona con la diferenciación entre zonas de lagunas con arena y aquellas sin arena, porque las características que se observan en las fotos aéreas son las mismas. La diferenciación es importante, ya que los potenciales de ambas zonas son diferentes. Para la solución del problema nos ayuda el siguiente proceso:

Por la diferencia en la compactación de los sedimentos gruesos (p.ej. arena) y de los sedimentos finos (p.ej. arcilla) hay una inversión del relieve: las áreas anteriormente bajas (ríos) ahora son altas (zonas de arena) y viceversa (zonas de limo). En este sentido, la profundidad del agua subterránea podría ser un indicador para conocer el contenido de arena en el subsuelo.

ANEXO 3

Propuesta para el mapeo de unidades de relevancia hidroeconómica en el Chaco Central con la aplicación de métodos de sensores remotos

1 *Objetivo de los estudios*

Comprobación de regiones:

- con mayor potencial de yacimientos naturales de agua subterránea dulce,
- con posibilidades de recarga artificial de agua subterránea,
- con posibilidades de construcción de tajamares de agua superficial,
- con menor potencial de agua

2 *Fundamentos teóricos*

En el Chaco Central, una zona con energía de relieve extremadamente baja y generalmente menor nivel freático del agua subterránea (pocos decímetros hasta max. casi 10 m en la región observada), la característica hídrica de los estratos superiores se determina en gran parte a través de dos parámetros:

- Conductividad hidráulica (permeabilidad),
- Nivel freático del agua subterránea.

El comportamiento hidráulico depende naturalmente de la distribución granulométrica del acuífero (arena = permeabilidad relativamente alta, limo/arcilla = permeabilidad relativamente baja).

Esto significa para el aprovechamiento hidro-económico de la región observada por ej.:

- Afloramientos de arena: posibilidades para la construcción de pozos y de tajamares para la recarga artificial de agua subterránea, pero no de tajamares de agua superficial.
- Zonas arcillosas: posibilidades para la construcción de tajamares de aguas superficiales (si el nivel freático del agua subterránea y la distancia al agua salobre no es demasiado corta, ver abajo), no hay ninguna posibilidad de extracción de agua subterránea y de enriquecimiento del agua subterránea.

El nivel freático (N.F.) determina a grandes rasgos el volumen de la evapotranspiración del agua subterránea, y así también la salinización del agua subterránea (Nivel Freático mayor = poca influencia de la evapotranspiración = poca acumulación de sales en el agua subterránea; Nivel Freático menor = mayor influencia de la evapotranspiración = mayor acumulación de sales en el agua subterránea).

Como está descrito más adelante, los dos parámetros: permeabilidad y nivel freático están relacionados en un contexto causal.

Para las siguientes consideraciones fueron adoptadas (aunque con ciertas limitaciones) las denominaciones del paisaje introducidas por los colonos menonitas, adoptadas primero por F. Bender et al (1960) y posteriormente por H. Bender y H. Repsold (1970) en sus informes.

Estas denominaciones corresponden a unidades geomorfológicas con relevancia hidrogeológica e hidroeconómica.

Se distinguen los siguientes tipos de paisaje:

- Campo
- Monte
- Laguna
- Riachos

La importancia hidrogeológica de los tipos de paisaje fue descrito en detalle por H. Bender en 1970 y por esta razón se lo repite en el presente informe en forma comprimida.

Campo: Se caracteriza por depósitos arenosos de una generación fluvial más antigua, los cuales presentan meandros suavemente distribuidos en el paisaje. El nivel freático del agua subterránea es relativamente mayor (4 m en el este, hasta 10 m en el oeste en las cercanías de Filadelfia). La conductividad eléctrica varía, pero en pocos casos excede 3000 uS/cm. Se observa en los márgenes de los campos agua subterránea dulce que está restringida a canales dentro del sistema fluvial, originada obviamente a través de recarga indirecta del agua subterránea (ver H. Bender: «El Impacto de la Recarga Artificial»). Se aprecia, actualmente, elevaciones causadas por inversión de relieve por compactación heterogénea, (aproximadamente hasta 1-2 m superior al nivel general).

Monte: Se encuentran depósitos limosos, arcillosos con poco contenido de arena, loess o posiblemente barro de inundación. El nivel freático es claramente menor en comparación con los campos, y el agua subterránea es altamente salina.

Lagunas: Presenta un sistema fluvial pronunciadamente meandriforme, meandros angostos compuestos por canales de casi 100 m de ancho y cortándose hasta 2 - 3 m en los sedimentos de monte. Relacionados con los canales se tiene yacimientos de agua subterránea dulce de pequeña dimensión en el subsuelo, los cuales se formaron por infiltración indirecta igual que las lentes de agua dulce en los campos.

Riachos: Al Este de las colonias menonitas, o mejor dicho, en el margen de los depósitos arenosos y en a la altura del nivel freático crítico, se producen las zanjas de erosión (hasta 5 m de profundidad); estas zanjas de erosión se forman a través de lagunas y conducen exclusivamente agua subterránea salobre durante las épocas de sequía.

El nivel freático se estima como aquel nivel de agua subterránea que marca la efectividad de la evapotranspiración, o mejor dicho a partir de ahí se puede esperar generalmente sólo agua subterránea salobre en dirección río abajo. Según observaciones, se puede estimar el límite entre la evapotranspiración «menor» y «completa», generalmente a 3 m del nivel freático. Se pone a consideración lo siguiente:

La profundidad de penetración de la evapotranspiración depende de:

- la permeabilidad de los sedimentos (en sustrato arenoso = penetración menor, en sustrato arcilloso = penetración mayor),
- la vegetación (la densidad de la vegetación y la profundidad de las raíces tienen cierta importancia).

3 Actividades realizadas

3.1 Salidas al campo

Tour: *Filadelfia - Buena Vista - Laguna Isla Poí - Laguna Capitán - Weidenfeld - Loma Plata - Filadelfia*

Observaciones

En la región de las lagunas, las depresiones morfológicas se encuentran colmatadas de agua debido a las precipitaciones relativamente altas en los últimos tiempos. Los suelos en el área de las lagunas son arcillosos sin porcentajes arenosos observados.

Todas las regiones de campo atravesadas se destacan topográficamente por ser altas y por sus características arenosas. La mayoría de los campos cuenta con canales marginales bien identificados.

Tour: *Filadelfia - Friedensfeld - Filadelfia*

Observaciones

Este viaje fue realizado porque la región atravesada pertenece, según muestran las fotografías aéreas, a la zona de los canales fuertemente meandriformes («lagunas») (ver mapa); sin embargo según otras observaciones ya no pertenecería a ésta zona (4.2.).

A lo largo de la ruta, los suelos están intercambiando a poca distancia entre arcillosos y arenosos. Los tajamares en la sección arenosa estuvieron vacíos, a pesar de abundantes precipitaciones recientes sin embargo los tajamares en secciones arcillosas estuvieron llenos.

En este lugar se puede observar también el principio de la inversión de relieve en «pequeña escala»: zonas arenosas = altas, zonas arcillosas = más bajas.

Tour: Filadelfia - Orloff - Blumenort - Chacra experimental - Filadelfia

Observaciones

El objetivo de este viaje fue el mismo que el mencionado en el capítulo 3.1.2.1. Las observaciones condujeron a un resultado similar.

Tour: Filadelfia - Neuhalbstadt - Neuwestland - Filadelfia

Observaciones

El objetivo del viaje solamente enfocó a los tipos de paisaje «monte» y «campo». Las observaciones realizadas equivalen a las mencionadas anteriormente.

3.2 Mapeo en base a fotografías aéreas

Para este trabajo estuvieron a disposición los siguientes materiales:

- Fotoíndices del año 1968 (lastimosamente no las fotografías aéreas),
- El mapeo en base a fotografías aéreas de H. Bender, H. Repsold, 1970, realizado durante el desarrollo del proyecto «Schlachthof».
- La carta de fotografías aéreas, elaborada por el proyecto de UNDP «Investigaciones y Desarrollo de Agua Subterránea en el Chaco», 1978.

Con ayuda del material disponible fueron representados los tipos de paisaje mapeados, basándose en el mapa base del proyecto UNDP.

3.3 Mapeo en base a imágenes satelitarias

En forma experimental se representaron los tipos de paisaje de relevancia utilizando la imagen satelitaria (escala 1:100.000) de una zona ubicada al Sur de la ruta Transchaco, entre los puntos de referencia Cruce de los Pioneros, Campo León, Neuwestland, y La Esperanza.

3.4 Mapeo del nivel freático

Con ayuda del material disponible en el Departamento de Abastecimiento de Agua para el Chaco (DACH) se elaboró una carta de isolíneas del nivel freático de la región para el mapa de UNDP (3.2) (distancia de las isolíneas: 3 m).

3.5 Mapeo de la conductividad eléctrica (EC) del agua subterránea en estratos someros

Este trabajo también fue realizado en base a datos obtenidos de materiales del DACH. La distribución

espacial de los valores de la conductividad eléctrica no permite una representación en forma de isolíneas, especialmente por la alta variación de los valores. Por esto fue representada en forma puntual con la siguiente clasificación (valores en micro S/cm):

| | |
|---------|-------|
| < | 800 |
| 801 - | 1.500 |
| 1.500 - | 3.000 |
| > | 3.000 |

4 Resultados

4.1 Indicaciones de Sensores Remotos y resultados del ground - check

La distribución de la arena en estratos someros es mapeable, con suficiente detalle, con ayuda de materiales de sensores remotos (fotografías aéreas ca 1:60.000 e imágenes satelitarias 1:100.000). En las fotografías aéreas los campos arenosos se caracterizan como fajas en tonalidades claras, las cuales se distinguen por los tonos más oscuros del monte que tienen sedimentos arcillosos.

Las imágenes satelitarias también son apropiadas para el mapeo de los campos arenosos, pero es importante elegir una buena reproducción. La presente imagen de «Filadelfia» no es apta para este objetivo, mientras a la imagen de «Neuhalbstadt» se la puede utilizar muy bien. Canales relacionados con los depósitos de la formación fluvial más antigua (F. Bender et. al.) también se identifica en ambas imágenes. Su orientación indica aparentemente el espesor de los campos:

- relativamente recto = mayor espesor de arena (se caracteriza por la diferencia del nivel de campo en comparación al monte),
- orientación de los meandros = menor espesor de la arena = mayor contenido de arcilla dentro del campo = relieve variado, de pequeña escala dentro del campo.

El significado de «paisaje de lagunas» (cauces fluviales meandriformes, de la generación fluvial «mediana», cortándose en sedimentos arcillosos, con muy poco contenido de arena) como introdujo H. Bender 1970, se tiene que modificar. Las observaciones (3.1.2.; 3.1.3) demostraron que sólo los canales meandriformes no bastan como indicadores de suelos arcilloso. Un comportamiento parecido puede producirse también en zonas con un porcentaje de arena relativamente alto.

En la faja ubicada en la Carta 1, caracterizada como zona de canales meandriformes, el contenido de arena aumenta en forma continua entre Laguna Capitán y Friedensfeld. es decir, de Este a Oeste.

También se puede constatar que los campos de arena bien identificados del Este se están transformando en zonas de canales meandriformes en donde existe un nivel freático crítico.

Según las observaciones hechas se deduce el siguiente modelo teórico de los mecanismos de deposición en el Chaco Central, lo cual podría llegar a un cierto significado práctico.

La zona pertenece a un paleodelta interior, de lo cual existe hasta hoy solamente el Río Pilcomayo. Canales deltaicos, llegando desde el Oeste, depositaron su carga arenosa en zonas de menos relieve; en zonas con menos relieve aún se formaron meandros. El volumen de la carga arenosa (ó la componente del material clástico más gruesa) disminuye en dirección de la corriente. Como consecuencia de la inversión del relieve, causada por compactación diferenciada, se formaron canales deltaicos, de menor edad, entre los existentes y, finalmente, fueron desplazados hacia el borde del delta, es decir al extremo del delta (Pilcomayo reciente).

Para la realización del mapeo con ayuda del material de sensores remotos se presentó el problema de la diferenciación entre las zonas de los canales meandriformes con contenido y aquellos sin contenido significativo de arena. El nivel freático puede contribuir para facilitar esta diferenciación en forma determinativa (4.2).

4.2 *Relaciones entre el nivel freático del agua subterránea y el contenido arenoso de los sedimentos deltaicos*

En general, el nivel freático del agua subterránea asciende de Este a Oeste. Sin embargo resulta que el curso de las líneas de igual nivel freático depende de las unidades geomorfológicas (tipos de paisaje) (mapa 1):

- La línea de 3 m (nivel freático crítico) está atravesando el margen oriental de los campos. Sin embargo, en la zona de los canales meandriformes, la línea se traslada en forma abrupta «río arriba» por aproximadamente 30 km. Esta zona pertenece a los canales meandriformes sin contenidos importantes de arenas.
- La línea de 6 m ya no presenta este comportamiento. Está cruzando la zona de los canales meandriformes sin migrar hacia el Oeste. Esto se puede observar en la zona de los canales meandriformes con contenido arenoso - comprobado claramente durante el ground - check. El mismo comportamiento presenta la línea de 6 m en la zona de Orloff, Grünfeld y Chacra experimental, la cual fue descrita originalmente como

zona de lagunas (según indicaciones de fotografías aéreas) (H. Bender, 1970).

Muy evidente es la relación entre el contenido arenoso cerca de la superficie y del nivel freático en el alcance de los campos arenosos en la zona de Hochfeld - Ebenfeld, donde la línea de 6 m pasa lejos hacia el Este.

- La línea de 9 m. demuestra también una dirección pronunciada hacia el Este, en especial en los extensos campos arenosos de Auhagen, Filadelfia y Neuhalsstadt.

Según estas observaciones se puede estimar que el trayecto de líneas de igual nivel freático del agua subterránea (sobre todo en la zona de las colonias mennonitas) servirá como indicador para el espesor de arena en el alcance superficial.

5 *Propuesta para trabajos adicionales en el Chaco Central*

5.1 *Mapeo de unidades con relevancia hidroeconómica*

Como se ha mencionado, la distribución de arena en las cercanías de la superficie en general puede ser descripta como factor determinativo para el único parámetro importante que es la «permeabilidad». Para mapear la distribución de arenas se utilizó materiales de sensores remotos (fotografías aéreas, escala 1:60.000; imágenes satelitarias preferiblemente con escala 1:100.000). La escala apropiada para el trabajo es 1:100.000.

Se recomienda con énfasis la combinación de interpretaciones de fotografías aéreas con las imágenes satelitarias, porque la identificación y, por tanto la delimitación de afloramientos de arena no siempre son claros en las imágenes satelitarias.

Como material de trabajo para la interpretación de imágenes satelitarias se recomienda la selección de una reproducción similar a la imagen usada (LANDSAT TM, escena 228-076, bandas 1 ó 2/4/7).

Generalmente las imágenes satelitarias tomadas al final de la época de sequía son apropiadas para la realización del mapeo de los afloramientos de arena.

Los registros del nivel freático del agua subterránea de una parte de la zona estudiada pueden ser adquiridos en el archivo de la DACH. En el mapa (3.4) fueron aplicados exclusivamente valores procedentes de los mapeos hidrogeológicos H. Bender (1970) y UNDP (1972). Los datos de todos los nuevos pozos perforados también fueron archivados en la DACH, que pueden ser utilizados. Es necesario la elaboración de curvas de variación de los niveles del agua subte-

rránea que se puede realizar con material del archivo de la DACH. Se recomienda una comparación de las curvas de variación del agua subterránea con los datos de precipitación pluvial.

Si el material existente no es suficiente, sería necesario la realización de perforaciones poco profundas para completar las informaciones.

Se estima, que el mapeo de la zona entre Campo Aroma en el Norte y el margen de la Colonia Neuland en el Sur, entre Filadelfia en el Oeste y Campo León en el Este, según sus unidades de importancia económica, será posible con los métodos bosquejados anteriormente en el texto. Fuera de esta zona no existen condiciones parecidas ; además existen otros problemas hidrogeológicos que todavía tienen que ser investigadas.

5.2 Descripción de los Resultados

La relevancia hidroeconómica de las unidades geomorfológicas fue resumida en la tabla 1; dichas unidades son las siguientes:

- campo arenoso (Campo Alto)
- áreas de canales con presencia de meandros con mayor parte de arena
- con poca arena
- monte

El mapa 2 puede servir como ejemplo de la representación gráfica de los resultados.

ANEXO 4

Significado hidroeconomico de unidades geomorfologicas en el Chaco Central Paraguayo

| Unidad Geomorfológica | Yacimientos de agua subterránea dulce | Posibilidades de enriquecimiento artificial de agua subterránea | Posibilidades de construcción de tajamares de aguas superficiales |
|--|--|---|---|
| Campo arenoso (Campo Alto) | grande ¹⁾ | grande ²⁾ | muy insignificante |
| Zona de canales meandriformes con arena, sin arena | grande ⁵⁾ muy insignificante | mediano ³⁾ muy insignificante | grande ⁴⁾ grande ⁴⁾ |
| Arbusto | muy insignificante ⁵⁾ | extremadamente insignificante | mediano ^{4) 6)} |

Potencial hidroeconómico de

Observaciones:

- 1) Lentes de agua dulce por debajo de canales en el campo y sobre todo en canales marginales
- 2) Sobre todo en canales marginales, con lentes de agua dulce debajo ya existente
- 3) Buenas posibilidades de infiltración, pero poco espesor de arena estimado
- 4) Exclusivamente con mayor nivel freático
- 5) Solamente con existencia de depósitos de arena en depresiones y con mayor nivel freático
- 6) Buenas posibilidades en depresiones y cuencas

ANEXO 5

Desarrollo del viaje

| | | | |
|-------------|---|----------------|---|
| | | 25.05.92 | Correspondencia con la BGR |
| | | 26.-27.05.92 | Elaboración de un plan de trabajo general para la parte hidrogeológica del proyecto «Medio Ambiente» (en colaboración con el Dr. W. Kruck) |
| 04.05.92 | Viaje Hannover - Frankfurt con el ferrocarril (por huelga); salida para Asunción (vía aérea) | 28.05.-6.06.92 | Mapeamiento del modelo de unidades morfológicas con relevancia hidro-económica en el Chaco Central, basándose en fotografías aéreas; varias conversaciones con el Dr. Echeverría |
| 05.05.92 | Llegada a Asunción | | |
| 06.05.92 | Primera conversación con el Dr. Sergio Echeverría, Director del Departamento de Abastecimiento de Agua para el Chaco (DACH, institución contraparte) | 7.06.92 | Viaje a Filadelfia |
| 07.05.92 | Visita a la Embajada, presentación al embajador Dr. Heinz Schnepfen; visita al servicio administrativo de la GTZ | 8.-13.06.92 | Salidas al campo en la región de las colonias mennonitas (groundcheck para el mapeamiento mencionado en el texto), elaboración de mapas del nivel freático y de la salobridad del agua subterránea con datos del archivo de la DACH |
| 08.05.92 | Realización de transferencias en el banco, visitas en la embajada y GTZ | | |
| 09.05.92 | Conversación con el Dr. Echeverría sobre equipamientos y perfección del equipo de perforación en la DACH | 14.06.92 | Regreso a Asunción |
| 10.05.92 | Domingo | 15.-16.06.92 | Conversaciones con Dr. W. Kruck sobre la metodología a utilizarse para el mapeamiento de unidades geomorfológicas con relevancia en hidro-económica en el Chaco Central |
| 11.05.92 | Viaje: Asunción - Filadelfia (Chaco, Sede de la DACH) | | |
| 12.05.92 | Visita de los tres «Oberschulzen» (encargados) de las colonias mennonitas (Fernheim, Menno, Neuland), presentación de los objetivos de los dos proyectos de la BGR en el Chaco (Agua subterránea: H. Bender, Medio Ambiente: W. Kruck) | 17.-19.06.92 | Mapeamiento de las unidades utilizando imágenes satelitarias. |
| 13-5.05.92 | Visita a las instalaciones de la oficina y del laboratorio (especialmente de la construcción nueva para el grupo de trabajo de la BGR), como también del taller y del equipo de perforación de la DACH; conversaciones con el personal de la contraparte | 20.-21.06.92 | Fin de semana |
| | | 22.-24.06.92 | Elaboración del informe sobre la metodología del mapeamiento de las unidades mencionadas arriba, presentación del Dr. S. Keller (llegada 23.06.92) a la institución contraparte (Dr. Echeverría) y oficina del GTZ |
| | | 25.06.92 | Viaje a Filadelfia |
| 16.05.92 | Regreso a Asunción | 26.06.92 | Presentación del Dr. S. Keller en el DACH, en Filadelfia |
| 17.05.92 | Domingo | 27.06.92 | Charla técnica para especialistas de las instituciones contrapartes de los dos proyectos («Hidrogeología y Medio Ambiente») sobre la hidrogeología del Chaco Central; salidas al campo para profundización del tema |
| 18-22.05.92 | Elaboración de un plan de trabajo detallado para la primera fase del proyecto, conversaciones con el Dr. Echeverría con respecto al plan de trabajo, condiciones de la institución contraparte. Adquisición del equipo de perforación; realización de pagos especiales (premios etc.) | 28.06.92 | Salida al campo, regreso a Asunción |
| | | 29.-30.06.92 | Elaboración del informe, conversaciones finales con el Dr. S. Echeverría, Dr. S. Keller y Dr. W. Kruck |
| | | 1.07.92 | Partida en avión de Asunción |
| 23-24.05.92 | Fin de semana | 2.07.92 | Llegada a Hannover |

**Estudios Geocronologicos
y Ensayos Isotopos
Aplicados a la Hidrogeologia**
por
Mebus Geyh

INDICE

| | | |
|---------------|---|------------|
| 1 | Objetivo del Viaje Técnico | 155 |
| 2 | Area que Abarca el Proyecto y a las Muestras | 155 |
| 2.1 | Muestras TI/OSL y ^{14}C de la región del Chaco | 155 |
| 2.2 | Contribución de ensayos isotópicos aplicados a la hidrología | 161 |
| 2.2.1 | Almacenamiento de aguas subterráneas en Filadelfia | 161 |
| 2.2.2 | Contaminación antropogénica del agua subterránea en Filadelfia | 161 |
| 2.2.3 | Origen de los diferentes tipos de aguas subterráneas en el Chaco | 162 |
| 2.2.4 | Balance espacial de los recursos hídricos del Chaco | 162 |
| 2.2.5 | Recomendaciones para el muestreo de ^{14}C en aguas subterráneas | 163 |
| 3 | Agradecimiento | 163 |
| 4 | Bibliografía | 164 |
| ANEXOS | | 165 |
| 1 | Desarrollo del viaje técnico | 165 |
| 2 | Lista de muestras para el laboratorio TI en Heidelberg | 168 |

Autor del informe Prof. Dr. Mebus A. Geyh
Profesor y Director en el NIfB

Encargo Ministerio para Cooperación Económica
(BMZ)

Número del Proyecto 91.2036.1

Número del archivo 111 404

Fecha 14.08.1993

1 OBJETIVO DEL VIAJE TECNICO

En el marco del viaje técnico para el proyecto «Sistema Ambiental del Chaco en el Paraguay» se planificó, para el periodo comprendido entre el 30.07 y 15.08.1993, la realización de los siguientes objetivos:

- Muestreo de sedimentos en dunas, loess, y sedimentos fluviales redepositados para determinaciones geocronológicas de carácter termoluminiscente (TL) y luminescente estimulado (OSL) en el Instituto Max Planck para Física Nuclear en Heidelberg (Prof.Dr. G. A. Wagner y Dr. L. Zöller),
- Aclaración de los conceptos usados en geocronología que serían aplicables en el estudio de la región del Chaco, con los responsables del proyecto Sistema Ambiental del Chaco en el Paraguay.
- Evaluación de posibilidades de aplicación de ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología para la solución de problemas hidrogeológicos, con los hidrogeólogos en Filadelfia.

2 AREA QUE ABARCA EL PROYECTO Y A LAS MUESTRAS

El área de trabajo del Proyecto «Sistema Ambiental del Chaco» abarca unos 80 km. a ambos lados de la ruta Transchaco (NW - SE). El objetivo principal de la colaboración Paraguay - Alemana se enfoca al desarrollo sostenible del Chaco por la agrupación humana proveniente del Paraguay Oriental en los próximos decenios, especialmente con respecto a impactos ambientales predecibles y posibilidades de evitar consecuencias negativas.

El Chaco Paraguayo abarca geográficamente 2/3 de todo el territorio del país, pero solamente el 2% de la población total habita esta región. El área constituye una planicie, aumentando su elevación desde el Río Paraguay hacia el Oeste hasta la frontera boliviana a una distancia aproximada de 500 km por 300 m.

El Chaco se divide en tres grandes zonas (Fig.1) : En el sureste se encuentra la zona baja inundable, aprovechada generalmente como pastura natural; palmares aislados e islas de bosques remanentes que están distribuidas en el paisaje. La región ocupada por los menonitas está ubicada en el Chaco Central; esta región fue explotada comenzando en los campos naturales. Estos depósitos arenosos de extenso espesor, originalmente estuvieron cubiertos de Bittergras (pasto natural) y casualmente con los árboles nativos.

Con la introducción de la economía de pastoreo, los menonitas extendieron sus actividades hacia el terreno ocupado por arbustos con suelos arcillosos, extendidos entre los campos.

El Chaco Noroccidental era la zona de acumulación de los sedimentos del Río Parapití, que en épocas pasadas dirigió su cauce hacia esta zona; su desagüe actualmente se localiza más al Norte, en otra zona. El mismo transporta grandes cantidades de sedimentos - arena y arcilla- de los Andes y los deposita en esta zona. Debido a la erosión eólica de los sedimentos depositados por el Río Parapití, migraron dunas hacia el delta del Río Pilcomayo al Sur, lo cual forma - según imágenes satelitarias y perfiles perforados - un abanico de paleocauces con espesas acumulaciones arenosas, con campos y con un área inundable formada de loess y arcillas fluviales reubicadas. El afloramiento en los campos de las arenas finas a medianas, bien clasificadas, defiende la hipótesis que ellas fueron acumuladas en aguas fluviales relativamente bajas y claras. En las zonas ribereñas e inundables, se depositaron limos y arcillas que actualmente están alimentando la vegetación formada por arbustos.

El área de trabajo del Proyecto Hidrológico de la BGR comprende la zona colonizada, alrededor de Filadelfia, y analiza la situación hidrogeológica de la misma y de la región muy poco explorada, en el Norte. En Filadelfia el objetivo del estudio se concentra en la problemática de la carencia del agua y de la contaminación de la misma. En el Norte, el estudio se orienta en la exploración y el balance del agua subterránea profunda. Los depósitos de arena y arcilla de centenas de metros de espesor en los alrededores de la frontera boliviana contienen aguas frescas. Más hacia el Sur se encuentra agua salobre en el acuífero superior y agua dulce en el inferior. En la región del Chaco Central se transforma en aguas altamente mineralizadas con afloramientos aislados, muy limitados, de aguas dulces.

2.1 Muestras TL/OSL y ¹⁴C de la región del Chaco

El grupo de profesionales del Proyecto ha logrado, a pesar de la brevedad de su trabajo, obtener una cantidad de datos a través de observaciones en el campo. Con los mismos, fue posible la composición de un mosaico geológico, lo cual facilita entender el desarrollo del Chaco hasta la actualidad, sobre todo su morfología y vegetación. No obstante, todavía falta el resultado cronológico. Las formaciones de dunas y loess arremolinados, sedimentos fluviales depositados y redepositados han remodelado constantemente el sistema del delta del Río Pilcomayo, inhibiendo la formación del suelo en grandes extensiones.

Basándose en el trabajo más reciente de IRIONDO y GARCIA (1993) sobre la historia climática de la pampa argentina, W. Kruck ha desarrollado en innumerables conversaciones una hipótesis geocronológica del área de trabajo. El estaba consciente de que los datos

citados en la publicación no fueron suficientes ni cualitativa ni cuantitativamente, para lograr un resultado confiable :

En el período de clima moderado y seco, entre los años 18.000 y 8.500 anteriores al presente (a.p.), se desarrolló una enorme generación de dunas en el Chaco septentrional que en la actualidad están estacionadas. El loess ha sido redepositado. El período posterior, con clima húmedo subtropical que duró hasta 3.500 años atrás, facilitó el desarrollo de innumerables meandros del Río Pilcomayo, con acumulaciones de arena - los así denominados «campos» - y loess redepositados por acción fluvial, con arcillas y barro en las zonas inundables, las cuales presentan actualmente vegetación de monte (Fig. 2). Horizontes de suelo no han sido desarrollados en el delta cambiante, o han sido erosionados. Basándose en la teoría de RODENBURG sobre el origen de los cauces fluviales morfológicamente elevados, los campos se podrían haber originado más temprano en el «Glacial Superior».

Los siguientes 2.500 años fueron de clima más secos, subtropical, y han sido dominados otra vez por la dinámica eólica. Arenas podrían haberse depositado encima de las dunas más antiguas. La elevada morfología de los campos en relación al monte se discutirá en forma controvertida. Lo más probable es que los brazos fluviales del delta se estancaron y esto causó acumulaciones de arena en las zonas ribereñas. La menor compactación de los sedimentos más gruesos en comparación con los más finos es la principal causa del relieve actual. Otra reflexión se basa en la mayor erosión eólica en los campos en épocas de sequía, cuando en zonas inundables el agua se limitó al cauce arenoso del río.

Los años 1.000 a.p. y el breve período glacial alrededor de 1.600 - 1.850 a.p. al parecer tuvieron un clima similar al actual: subtropical y húmedo en el Este y seco en el Oeste. Durante el breve período glacial predominó la actividad eólica.

El afloramiento de dos horizontes descalcificados superpuestos en los sedimentos fluviales redepositados, representa por lo menos dos periodos pluviales, en los cuales los sedimentos no han sido redepositados pero posiblemente se ha formado agua subterránea nueva. En la actualidad ya no se forma agua subterránea.

En períodos secos posiblemente no existió el Río Pilcomayo. Los ríos originados en el Oeste, posiblemente terminaban en lagos ubicados en la zona del delta del Río Pilcomayo, del cual se abastecían. Una estimación (información pers. W. Kruck) demuestra que el Río Paraguay se secaría con una reducción de precipitaciones de 200 mm/a.

El desarrollo climático descrito por IRIONDO y GARCÍA (1993) se parece mucho al del Cinturón árido del hemisferio norte, el cual se extiende desde la región mediterránea hacia India del norte. Sorprendente, pero no imposible, sería el desarrollo climático paralelo del hemisferio Sur. Los pocos datos de los argentinos, presentados por IRIONDO y GARCÍA (1993), precisan de un apoyo, el cual se pretende realizar a través de los datos cronológicos del proyecto. Para las determinaciones cronológicas ^{14}C se muestrearon dos formaciones de suelos intercaladas en arenas, las cuales se originaron posiblemente entre los años 8.500 y 3.500 a.p.

Las arenas de las dunas para la datación Tl podrían datar de entre 18.000 y 8.500 a.p. o entre 3.500 y 1.000 a.p. Posiblemente existen también dos generaciones superpuestas (Fig. 3).

No se puede excluir tampoco la posibilidad de que estas arenas tendrían un origen mucho más antiguo. La posición cero del «reloj Tl» tiene que ser calibrada a través de dataciones de las arenas con sus intercalaciones de horizontes de suelos con el método ^{14}C . Serían factible las dataciones Tl o OSL de los sedimentos loésicos y de las arenas finas (campo) redepositadas, si su deposición se realizó en aguas fluviales bajas y claras. La toma de muestra sin exposición a la luz no siempre fue fácil debido al fuerte endurecimiento de los sedimentos. Las latas tenían que ser martilladas hacia los afloramientos abiertos (Fig. 3) y sufrieron recalación a través de los golpes. Si las muestras demuestran mayores evidencias de deformación, se tendría que eliminar a lo menos 3 - 5 cm de los testigos sedimentarios, de ambos lados.

En el futuro existe el problema de que si las arenas muestreadas con perforaciones de expulsión serían aptas para la datación Tl, siempre y cuando fueran tomadas sin exposición a la luz. El objetivo de la datación de esas muestras sería la estimación de la velocidad de deposición sedimentaria del Río Parapití y del sistema del Río Pilcomayo.

Las muestras complementarias tomadas en envases de películas (el envase de la muestra Tl 3 se llenó solamente hasta la mitad, y para las muestras Tl 15 - 18 no fueron tomadas), son destinadas sobre todo para la determinación de las fracciones. Las muestras tomadas durante el período seco, de las dunas y el campo, contienen seguramente una fracción de la humedad obtenida durante la época de lluvia. Solamente para las arcillas y los sedimentos depositados en ambientes fluviales recientes se sabe que la humedad del suelo prácticamente no cambia en dependencia de las estaciones. En épocas pasadas probablemente no siempre fue así, porque según los dos estratos descalcificados habían existido a lo menos dos períodos húmedos con formación de agua subterránea. En



Fig. 1: Regiones del Chaco: dunas, delta y campo, y localidades de las muestras sedimentarias paramuestras T1/OSL

el pasado, la humedad del suelo tenía que haber sido mayor comparándola con la actualidad.

Las siguientes muestras fueron tomadas en el Chaco (Fig. 1):

T1: 04.08.1993, a las 14:00 horas, se realizó el primer intento de la toma de muestra, aprox. 6 km antes de llegar a la Estancia La Patria, en la ruta entre Mariscal Estigarribia y Nueva Asun-

ción (S 21°26'26" W 61°23'17") (Fig. 4). Resultaron dos muestras ligeramente perturbadas. El día 05.08.1993, a las 12:00 horas tuvimos éxito. El loess aluvional endurecido, de color pardo claro, proviene de un paleosistema fluvial, de aproximadamente 1 m de profundidad. Fueron excavados 40 cm de la superficie aflorante. La formación de la muestra data posiblemente del período húmedo entre 8.500 y 3.500 a.d.h.

Tl 2: El día 04.08.1993, a las 16:30 horas, se muestreó un depósito sedimentario de 15 m de altura en el área de las dunas, cerca del cruce del camino localizado a 25 km de la entrada principal del Parque Nacional del Chaco Tte. Enciso y de la pista entre Mariscal Estigarribia y Nueva Asunción (S 20°56' W 60°31'). La duna se presenta en la actualidad completamente cubierta por arbustos y árboles. La muestra fue tomada de una excavación de 50 cm de profundidad, presentando perturbación por la presencia de raíces gruesas. La muestra está compuesta por arenas sueltas, de color pardo - ro-



Fig. 2: Vegetación típica de monte en la parte inundable del Chaco

jizo. Como período de formación se estima los períodos secos entre 18.000 y 9.500 a.p., o, de 3.500 hasta 1.000 a.p. Probablemente la duna dejó de migrar al final de uno de los dos períodos secos. Otra posibilidad sería la disminución paulatina de la actividad eólica durante uno de los períodos áridos y que la migración de la duna ya cesó antes del final del período árido.

Tl 3: 05.08.1993, a las 08:00 horas, fue tomada una muestra de la excavación de 1 m de profundidad en la cresta de una duna de 20 m de altura, localizada en la pista de Nueva Asunción hacia la frontera boliviana, 650 m septentrional a la entrada de la Estancia de César Calvet (S 20°40'32" W 61°58'40"). La muestra está compuesta de arena suelta de color pardo claro.

Tl 4, 5, 6: De regreso, en dirección a Tte. Enciso (S 20°55'18" W 61°49'51"), se encuentra un afloramiento en la última de las tres dunas altas, del lado derecho. El perfil de 3 m de altura consiste en tres estratos compuestos por arenas de tres colores diferentes. Los contactos son abruptos, pero no continuos. La arena del estrato superior tiene un espesor de aproximadamente 50 cm, un color pardo grisáceo, con intercalaciones de lentes de color amarillento claro. Por debajo se depositan arenas bien estratificadas de color pardo grisáceo. Las muestras de este corte fueron tomadas el día 05.08.1993 entre las 10:30 y 12:00 horas.

Tl 4: Estrato arenoso, ligeramente endurecido, de color pardo claro a gris. Profundidad: 45 - 55 cm.

Tl 5: Arena amarilla con mayor compactación de carácter lenticular, con un espesor aproximado de 20 cm; por debajo de Tl 4.

Tl 6: Arena de color pardo - grisáceo, prácticamente suelta, con estratificación fina. Ubicación 75 cm por debajo de la superficie y por debajo de Tl 5.

Tl 7: El día 05.08.1993, a las 16:00 horas, fue muestreado un sedimento de color grisáceo - pardo, muy bien endurecido, arenoso. La muestra fue tomada en una excavación (pozo) de 60 cm de profundidad, en un campo de la Estancia San Juan, aproximadamente a 6 km al sur de Tte. Picco, en la pista camino a Mariscal Estigarribia (S 21°03'20" W 60°31'45"). La muestra se encuentra muy perturbada de ambos lados como consecuencia de la caída de la tapa del recipiente de Nestlé, durante el muestreo. Con una lata de fruta de tamaño pequeño se pudo obtener una muestra sin perturbación. La edad

podría ser determinada como mitad de la primera o de la segunda fase árida.

Tl 8: El día 06.08.1993 a las 17:00 horas, se tomó una muestra sedimentaria de color pardo - rojizo de arena fina hasta limosa, muy endurecida («cocinada»). La ubicación de la muestra se determinó a 120 km de distancia de la primera localidad (S 21° 25'40 W 59°52'20") en una excavación por debajo de un horizonte de raíces, a 60 cm de profundidad. La muestra podría datar del final del último período pluvial entre 8.500 y 3.500 a.p..

Tl 9: El día 07.08.1993 a las 12:00 horas, se muestreó una excavación (pozo) en un campo típico, ubicado al lado de la pista entre Pozo Colorado y General Díaz. Se muestreó un pozo de 60 cm de profundidad. El sedimento de color gris

claro está endurecido y es de carácter arenoso - limoso, pertenece al delta del Pilcomayo y podría haberse depositado durante el último período fluvial entre los años 3.500 a.p.

- TL 10: El día 07.08.1993 a las 17:00 horas, se tomó una muestra sedimentaria de una excavación de 60 cm de profundidad, muy suelta, apenas endurecida, arenosa, de color pardo - grisáceo. Su ubicación se encuentra al lado de una pista entre Filadelfia y la Colonia Neuland (S 22°34'57" W 60°05'37") en el Parque Valle Natural de los menonitas, en un campo natural con vegetación de pasto alto (Bittergras) y algunos árboles aislados, cerca de un edificio antiguo de la granja. La edad es como TL 9.
- TL 11: El día 08.08.1993 a las 10:30 horas se muestreó un sedimento arenoso, ligeramente endurecido, de color pardo - rojizo. Se ubica en el SE de la Colonia Neuland (S 22°52'39" W 60°00'12") en un campo y la excavación llegó a una profundidad de 60 cm.
- TL 12: El día 08.08.1993 a las 1:30 horas se tomó una muestra al costado de la ruta Trans-chaco, a unos kilómetros al norte del primer cruce camino a Filadelfia. Se trata de una muestra de carácter loésico aluvional, de color pardo -

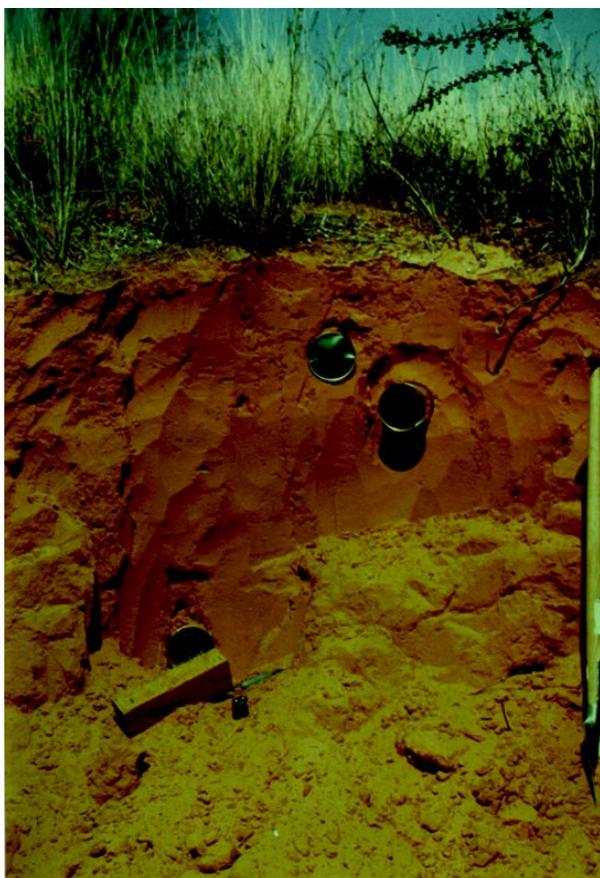


Fig. 3a: Perfil de arena de duna (muestras TL 4, 5, 6) con posiblemente dos generaciones de dunas, y tres lugares de toma de muestras en las arenas ligeramente endurecidas



Fig.3b: Excavación para la toma de muestra en los sedimentos fuertemente endurecidos.

amarillento, muy endurecido y friable con inclusiones oscuras en los poros. La muestra fue tomada excavando hasta una profundidad de 30 cm en una cantera de préstamo para la construcción de la ruta, y pertenece a un horizonte ubicado a 1 m de profundidad.

- TL 13: El Fig. 4: Situación típica de los sitios de toma de muestra en las zonas inundables y aspecto de los sedimentos expuestos, fuertemente endurecidos. día 08.08.1993 a las 13:00 horas se muestreó otro afloramiento de una cantera de préstamo para la construcción de rutas, ubicado al costado de la ruta Transchaco, a 5,4 km septentrional de la Colonia indígena Laguna Negra (S 22°11'15" W 60°28'07"). El perfil se encontró descalcificado en los 60 cm superiores. La muestra fue tomada a 2 m de profundidad presentando un carácter calcáreo, de color pardo - rojizo y friable.
- TL 14: El día 08.08.1993 a las 19:15 horas, se pudo tomar, mediante una lata, una muestra sedimentaria de color grisáceo muy arenosa y endurecida. (¡Esta muestra se tomó sin perturbaciones marginales!). Su ubicación se encuentra a aprox. 20 km de distancia de Filadelfia al costado de la pista, cerca de Campo Aroma (S 22°10'21" W60°04'12"), en un campo bien de-

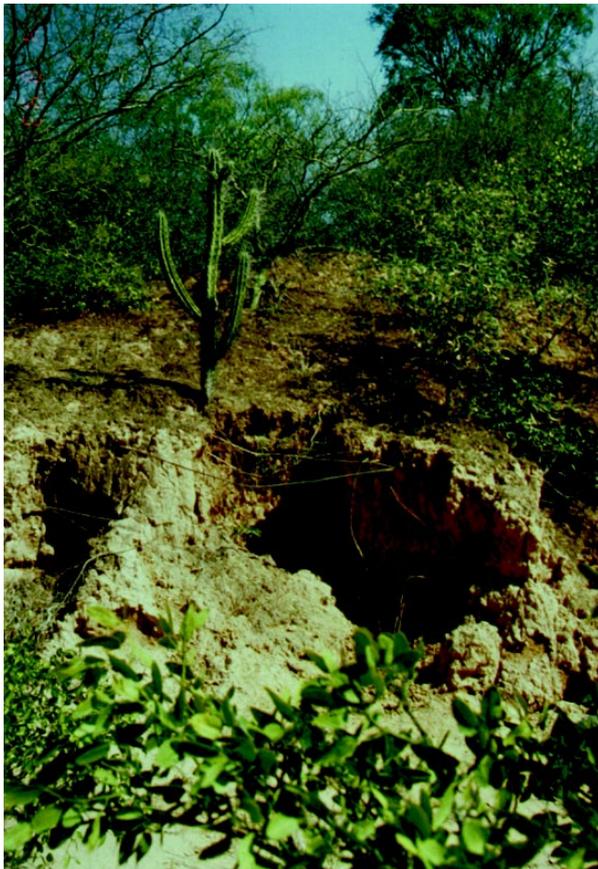


Fig. 4a+b: Situación típica de los sitios de toma de muestra en las zonas inundables y aspecto de los sedimentos expuestos, fuertemente endurecidos.

sarrollado. La muestra fue extraída de un pozo de 55 cm de profundidad, durante la noche y en absoluta obscuridad.

- Tl 15: El día 10.08.1993 a las 10:00 horas se llegó a excavar un pozo de 2 m, presentando el siguiente perfil: los 20 cm superiores descalcificados, hasta 50 cm calcáreos, hasta 95 cm descalcificados y por debajo, sin alteraciones y calcáreo. La localidad se encuentra en la cercanía del puesto militar Tte. Montaña (S 22°03'03" W 59°49'34") en dirección a la Estancia Campo López. La muestra Tl 15 proviene de 45 cm de profundidad y está compuesta de sedimento de color pardo ligeramente endurecido. ¡Faltan las muestras de los envases de película!
- Tl 16: En el mismo perfil se tomó una muestra en 90 cm de profundidad, con una consistencia parecida a la de la muestra Tl 15, pero descalcificado. Consecuentemente es de mayor edad en relación al Tl 15. ¡Faltan las muestras de los envases de película!
- Tl 17: En el mismo perfil se muestreó a 115 cm de profundidad un sedimento muy suelto, calcáreo, de la misma edad de Tl 16. ¡Faltan las muestras de los envases de película!
- Tl 18: El día 10.08.1993 a las 12:00 horas, se tomó

una muestra arenosa para la datación Tl, ubicándose directamente por encima de la muestra ^{14}C C 1, en el nuevo tajamar, al lado de la calle Miller en Filadelfia (S 22°20'44" W 60°01'50"). Esta muestra se analizará solamente si la datación ^{14}C resulta exitosa. En este caso se puede verificar la posición cero del «reloj» Tl para sedimentos fluviales redepositados. ¡Fal-



tan las muestras de los envases de película!

- C 1: El día 08.08.1993 a las 17:00 horas se extrajo una muestra en el nuevo tajamar al lado de la calle Miller en Filadelfia (coordenadas como Tl 18), la cual estaba situada por debajo de casi 3 m de barro fluvial y 200 cm de arena (5,90 m con 35°) en un estrato con raíces, fuertemente pardo y consiste de un estrato de 5 cm de espesor encima de arenas finas.
- C 2: El día 10.08.1993 a las 12:15 horas se perforaron pequeños nódulos de cal, que servirán para dataciones ^{14}C . Las muestras se ubican en el camino a Mariscal Estigarribia, directamente lindante al Aeropuerto de Filadelfia y fueron tomadas a una profundidad de 1.25 m correspondiente al nivel freático. Tanto la edad como la génesis son poco conocidos aún. Las coordenadas son las mismas que las de la muestra Tl 18.
- C 3: El día 10.08.1993 a las 12:45 horas, se muestreó un estrato de color pardo y presencia de raíces, a una profundidad aproximada de 5 m y 10 cm de espesor. La muestra es muy parecida a C 1. Su ubicación se encuentra en el nuevo tajamar, al lado de la calle Boreal en Filadelfia. La deposición arcillosa encima de este estrato es mucho más gruesa que en el sitio de C 1. Las coordenadas son las mismas que la muestra Tl 18.

2.2 Contribución de ensayos isotópicos aplicados a la Hidrología

El Ing. Godoy presentó los cinco objetivos y campos de acción mas importantes de la Cooperación Paraguayo - Alemana en el campo de la hidrogeología. Algunos de los problemas presentes se tendrán que resolver posiblemente con los ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología.:

2.2.1 Almacenamiento de aguas subterráneas en Filadelfia

En Filadelfia se están construyendo p. ej. dos nuevos tajamares para el mejoramiento del abastecimiento del agua potable. De acuerdo al proyecto, los tajamares se tendrían que llenar por primera vez durante la próxima época de lluvia. Se planifica la evaluación cuantitativa de la formación de aguas subterráneas recientes, a través de constantes mediciones de la conductibilidad eléctrica y modelaje de los procesos. A través de los análisis $d^{18}O$ y d^2H (muestras de 50 ml) se puede esperar una buena evaluación de la variación temporal del ratio de la evaporación con ayuda del diagrama $d^{18}O / d^2H$ (Fig. 5), el cual entra en el modelaje como parámetro importante. De acuerdo a la disolución temporal se tiene que elegir las distancias adecuadas del muestreo (días, semanas, meses). Las mediciones isotópicas son aun más importantes, cuando se debe considerar el modelo de tajamar a desarrollarse teniendo en cuenta la presencia de lentes de agua dulce por debajo de campos aislados. En estos lugares, la extensión de las depresiones en las cuales se formaría el agua subterránea nuevamente, se conoce solamente a grandes rasgos y otros parámetros hidrológicos de importancia tampoco son determinables con suficiente grado de exactitud. A través de mediciones $d^{18}O$ y d^2H de largo plazo se tendría que deducir los ratios de evaporación y de su composición, como también datos con respecto al promedio de la permanencia del agua.

Como complemento a este proyecto parcial se propone un estudio con respecto a la subida del nivel del agua subterránea por más de 3 m y el endulzamiento notable de las aguas saladas acompañantes. La causa podría fundamentarse, como actual-

mente se plantea, en las precipitaciones pluviales anormales durante las últimas décadas (Tab.1). De consecuencias mucho más impactantes sería otro proceso: la disminución de la evaporación por causa de las deforestaciones extensivas y masivas de la vegetación boscosa durante las últimas décadas.

En Australia también se pudo observar la subida del nivel del agua subterránea posterior a la deforestación extensiva, seguida por el endulzamiento de las aguas, y a continuación una rápida salinización de los suelos cuando el agua subterránea comenzó a evaporarse por causa del nivel freático elevado de la misma. La región perdió su capacidad de desarrollar cualquier tipo de vegetación en pocas décadas.

Los análisis de los isótopos estables de oxígeno e hidrógeno, pero también de Tritium, tendrían que apoyar el reconocimiento precoz de un desarrollo parecido.

2.2.2 Contaminación antropógena del agua subterránea en Filadelfia

Los ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología no pueden ayudar a encontrar una solución a la problemática local de la contaminación de las aguas subterráneas en Filadelfia.

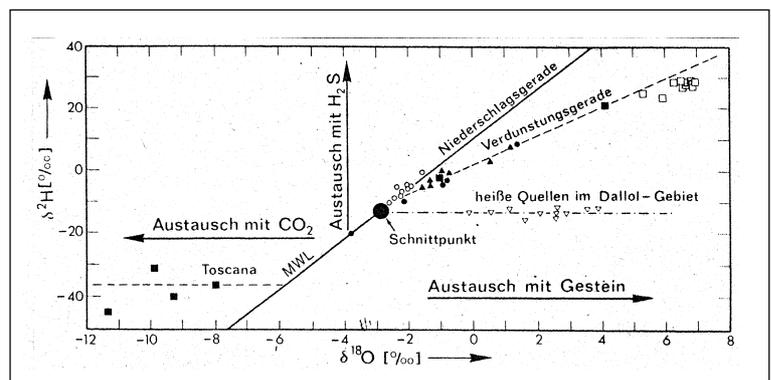


Fig. 5: Diagrama $d^{18}O / d^2H$ de diferentes aguas. Los valores para aguas subterráneas meteorológicas se encuentran en la línea "meteoric waterline" (MWL) con una pendiente de 8. Aguas periódicamente evaporadas, demuestran resultados con una pendiente de 4 para la recta de evaporación. Aguas compuestas forman rectas compuestas con otras pendientes. Según la posición de los valores $d^{18}O / d^2H$ se puede concluir, si las aguas subterráneas se formaron en grandes alturas o en depresiones, en épocas frías (moderadas) o calurosas.

| | 1082 | 1083 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mm/a | 1343 | 1429 | 1251 | 913 | 1091 | 868 | 973 | 1243 | 1168 | 920 | 1621 |

Tab.: Precipitaciones pluviales en Filadelfia a partir de 1982, con un promedio de 800 mm (según valores de largos años) y hasta 1.800 mm. La relación de evaporación total se estima en 1400 mm/a. Desde 1982 se han registrado precipitaciones muy por encima del promedio.

2.2.3 Origen de los diferentes tipos de aguas subterráneas del Chaco

En el Chaco Central predominan aguas saladas, las cuales son menos saladas hacia el Oeste. En la zona transicional agua salobre está sobrepuesto por agua dulce. En la extensa área con aguas saladas se presenta, en forma aislada, agua dulce.

Se pueden solucionar con ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología los siguientes problemas:

- Origen de las lentes de agua dulce (^{14}C , ^3H , d^{18}O : formación local reciente, aguas pluviales remanentes o confluencia a través de corrientes desde el Oeste).
- Origen del agua subterránea profunda (d^{18}O , d^2H , Cl : agua marina, disolución de sales, contaminación con soluciones salinas o evaporación).
- Origen de las aguas salobres o altamente saladas del Chaco (realización de análisis d^{18}O extensivos por razones del efecto continental¹).
- Origen de las aguas dulces en el Chaco (realización de análisis extensivos d^{18}O y determinaciones cronológicas ^{14}C para la verificación del afluente y de la velocidad del agua subterránea).

2.2.4 Balance - Espacial de los recursos hídricos del Chaco

El balance espacial de los recursos de las aguas subterráneas en el Chaco con su clima semiárido exige dataciones cronológicas del agua subterránea (FRÖHLICH ET AL. 1987; VERHAGEN ET AL. 1991). Según IRIONDO y GARCÍA (1993) se puede constatar para las condiciones climáticas de la pampa argentina, que la mayoría de las aguas dulces del Chaco Septentrional y Central fueron formadas durante periodos pluviales anteriores. Las aguas subterráneas saladas podrían haberse originado en periodos secos. Si este modelo es correcto, lo que es muy probable, el balance espacial de los recursos de las aguas subterráneas señalado tendría que considerar las condiciones no estacionarias. Para este objetivo se necesita conocimientos detallados respecto a las condiciones paleo-hidrológicas.

Para obtener las informaciones necesarias, también de importancia transregional para la historia de sedimentación en el Chaco, se tendría que empezar lo mas pronto posible con dataciones cronológicas ^{14}C de las aguas subterráneas profundas accesibles.

Para el comienzo no se puede garantizar indicaciones precisas con respecto a la construcción de los pozos y su situación hidrogeológica. La distribución estadística de las edades acuáticas ^{14}C siempre facilita un

esquema paleohidrológico, o mejor dicho, paleoclimático, porque en los 200 - 300 m superiores de un acuífero raras veces se encuentra una gradación cronológica (WALLICK & TOTH, 1978). Los límites entre aguas pertenecientes a diferentes fases pluviales siempre se conservan. La situación en el Chaco se representa en Fig. 6 con ayuda de los resultados de IRIONDO y GARCIA (1993). A través de la reconstrucción de la situación real en el Chaco, se podrían determinar con más precisión las ubicaciones de nuevos pozos.

La etapa hidrogeológica actual del proyecto se enfoca a las aguas subterráneas cerca de la superficie (aguas freáticas) en el Chaco; sin embargo, el grupo de trabajo del Proyecto de Medio Ambiente no puede esperar los resultados de la datación cronológica ^{14}C de las aguas profundas. Por esta razón el Dr. Kruck y su grupo de contrapartida empezarán con este trabajo.

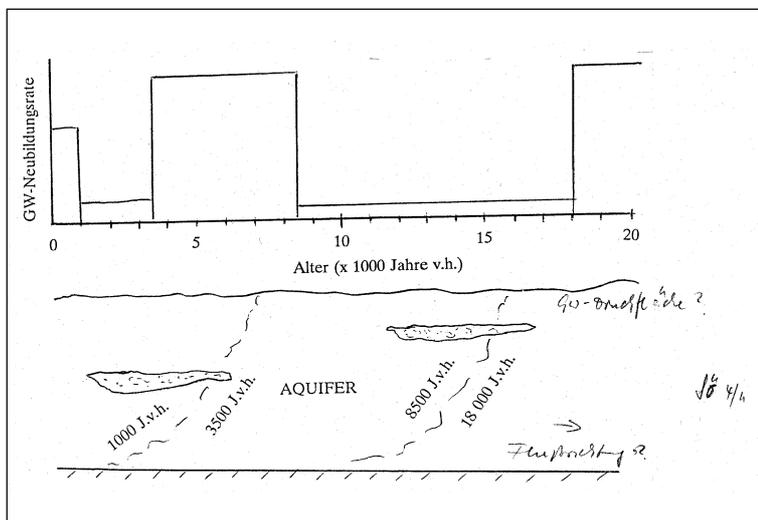


Fig. 6: Posible situación paleo-hidrológica en el Chaco, según estudios de Iriondo y García (1993):

a) Histograma simulado de las edades ^{14}C de las aguas;

b) Corte W - O de las edades de las aguas en el acuífero del Chaco

¹ El «efecto de alturas» permite evaluar, si aguas subterráneas fueron formadas localmente o en áreas lejanas. El enriquecimiento isotópico de las precipitaciones en el traspaso de las nubes sobre el continente son la base metodológica. En el Chaco se podría decidir, si las aguas subterráneas se originaron en los Andes o si fueron formadas localmente en el Chaco durante periodos pluviales anteriores con clima mas moderado.

2.2.5 *Recomendaciones para el muestreo de ^{14}C en aguas subterráneas*

Las dataciones cronológicas ^{14}C son necesarias, en especial en aguas subterráneas altamente mineralizadas; la metodología exige una instalación adicional para la extracción de hidróxido de carbono a . Además, se necesitarán cápsulas para las botellas de agua existentes.

.Para el desarrollo eficiente de los trabajos en el laboratorio se tendría que informar a Hannover sobre el total de los análisis a esperar - una vez que se conozca la cantidad - para garantizar la capacidad precisada en el laboratorio. Como existe dificultad en las mediciones de contadores pequeños, las cuales se manejan con sólo 25 mg de carbono (equivalente casi a 2 litros de agua con 150 mg/l HCO_3), se tendría que precipitar el máximo posible de las muestras de ^{14}C en 50 - 60 litros de agua.

El muestreo se tiene que realizar después del bombeo hasta que se haya eliminado tres veces la columna de agua en el pozo. Además, se tiene que asegurar que los valores Ph y EC se hayan estabilizado. En casos excepcionales, cuando las condiciones del campo o un nivel de agua subterránea profundo impiden la aplicación de bombas, está permitido tomar las muestras de la parte más profunda del pozo.

3 AGRADecIMIENTOS

A los Señores Dr. Wolfgang Kruck y Dr. Hartmut Mollat quiero agradecerles por la excelente preparación y el desarrollo del programa de muestreo en la región del Chaco, y por las incontables discusiones que fueron científicamente fructíferas sobre la geocronología de la región del Chaco, las cuales son de gran valor para la realización de las dataciones de termoluminiscencia. El Señor Dr. R. Hoffmann ha integrado sus conocimientos de pedología en la ampliación coherente del espectro de las muestras para la datación cronológica Tl. El Señor G. Köhler apoyó con sus conocimientos técnicos y locales y ayudó a superar las dificultades durante la toma de muestras sedimentarias endurecidas.

Los Señores Ing. Geol. Godoy y el Dr. von Hoyer han contribuido con informaciones valiosas y necesarias para una posible aplicación de ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología. El Dr. S. Keller ayudó de manera muy constructiva y facilitó un comienzo rápido de los ensayos isotópicos aplicados a la hidrogeología. El gran interés y el esfuerzo realizado por parte del director G. Raidán de la Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA) merece una mención especial; por haberse informado siempre sobre los trabajos planificados y por su acompañamiento y apoyo durante la expedición al Chaco.

14 de Agosto de 1993

Prof. Dr. Mebus A. Geyh

4 BIBLIOGRAFIA

FRÖHLICH, K., GEYH, M.A., VERHAGEN, B.TH., WIRTH, K., 1987 : Isotopenhydrologische Methoden zur Begutachtung von Grundwasser in Trockengebieten. Entwicklung eines Instrumentariums für die Beurteilung gefährdeter Vorkommen. Forschungsberichte des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit, Band 85 : 179 S.; Weltforum-Verlag Köln.

IRIONDO, M.H., GARCIA, N.O. , 1993 : Climatic variations in the Argentine plains during the last 18.000 years.- Palaeogeogr., Palaeoclimatology, Palaeoecology 101 : 209 - 220.

VERHAGEN, B.TH., GEYH, M.A., FRÖHLICH, K., WIRTH, K., 1991, Isotope Hydrological Methods

for the Quantitative Evaluation of Ground Water Resources in Arid and Semi - arid Areas. Development of a Methodology.- 164 S.; Ministry of Economic Cooperation (revised and translated publication Nr. 132).

WALLICK, E.I. U. TOTH, J., 1978 : Methods of regional ground water flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes.- In : Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology : 37 - 64; Wien (IAEA).

ZÖLLER, L., WAGNER, G., 1992 : Tl dating of loess - recent developments.- Quaternary International 7 (8) : 119 - 128.

ANEXO 1

Desarrollo del viaje tecnico

- 31.07.1993 Salida de Bannetze para ir al aeropuerto de Hannover para viajar con el vuelo 095 de LH a las 18:30 horas a Frankfurt y a las 22:50 horas con LH, vuelo 504 a Saõ Paulo.
- 01.08.1993 Llegada a las 08:20 horas a Saõ Paulo y salida a las 09:45 horas en el vuelo 907 de AA; arribo a Asunción a las 10:50 horas, recibimiento por parte del Dr. Kruck y el Dr. Mollat. Reunión para conversar respecto al contenido y a la realización del objetivo del proyecto desde las 14:00 hasta las 21:00 horas; pernoctación en Asunción.
- 02.08.1993 Desde las 07:15 hasta las 16:00 horas visita a la contraparte para la presentación y las respectivas conversaciones. Elaboración de una lista de materiales indispensables para el muestreo de sedimentos en el Chaco, que luego fueron suministradas. Primeras conversaciones con el Dr. Kruck y el Dr. Mollat respecto al procedimiento de datación de las muestras a ser tomadas que se basa en un nuevo modelo geocronológico relacionado con el origen y formación del Chaco actual. Pernoctación en Asunción.
- 03.08.1993 07:00 horas : Encuentro con el personal de la contraparte y preparación del equipo para el viaje al Chaco; la salida fue a las 12:30 horas, llegando aproximadamente a las 18:00 horas a Filadelfia. Hasta las 19:00 horas conversación preliminar y acuerdo de términos de referencia con el Sr. G. Köhler y Dr. von Hoyer con respecto a posibles actividades hidrológicas con énfasis a los isótopos; interrupción. 20:00 - 21:00 conversación con el Ing. Godoy sobre enfoques hidrogeológicos del proyecto Paraguay - Alemán. Pernoctación en Filadelfia.
- 04.08.1993 Preparaciones para el viaje y compra de los demás materiales para el muestreo en el Chaco. La salida de Filadelfia fue a las 08:30 hacia Nueva Asunción. Aproximadamente a 60 km. pasando de Filadelfia y 10 km de la salida de la ruta, primeros intentos -aunque en vano- de muestreo en una cantera de préstamo para la construcción de rutas. El sedimento ha resultado demasiado duro para las latas disponibles; continuación del viaje en dirección a la Estancia La Patria, pasando Mariscal Estigarribia. Primer muestreo de sedimentos de orilla. Las dificultades anteriores fueron superadas a través de la excavación de un monolito en el sedimento (Tl 1a y 1b); prosiguiendo el viaje en dirección al parque nacional Tte. Enciso se realizó el primer muestreo sin complicaciones en el campo de dunas sudoriental en la zona del delta del Río Pilcomayo (Tl 2); continuando el viaje y pasando Nueva Asunción, se llegó a la Estancia de César Calvet en donde se pasó la noche.
- 05.08.1993 07:15 horas : salida en dirección a la frontera boliviana y toma de muestra de la duna Tl 3. Regreso en dirección a la Estancia La Patria y toma de tres muestras de una duna al costado de la ruta, (Tl4, Tl 5 y Tl 6). Retorno a la localidad de muestreo Tl 1 y toma de muestra sin perturbación, con una lata reforzada (Tl 1c). Continuación del viaje a la Estancia La Patria camino a Tte. Picco. Pasando 6 km en dirección a Mariscal Estigarribia, toma de muestra de un sedimento muy endurecido en el campo de la Estancia San Juan (Tl 7). Regreso a Filadelfia pasando por Mariscal Estigarribia, a las 21:00 horas; pernoctación en Filadelfia.
- 06.08.1993 06:45 horas : Reunión de trabajo; organización de materiales para el viaje necesarios para la toma de muestra; reparación de la camioneta; registro de las localidades de la toma de muestra y comienzo de la descripción del viaje; cerca de las 10:00 horas reunión con el Ing. Godoy, Dr. von Hoyer, Dr. Kruck y Dr. Mollat

- referente a a la situación hidrogeológica del Chaco, posibilidades de la aplicación de métodos hidrológicos con énfasis a los isótopos y las expectativas relacionadas con los mismos; presentación resumida de los fundamentos de los métodos hidrológicos con énfasis a los isótopos y los efectos de las temperaturas dependiendo de las estaciones y alturas, efecto continental, interpretaciones del diagrama $d^{18}O / d^2H$: mezcla de aguas subterráneas, origen de diferentes aguas subterráneas y efectos de evaporación. Inicio del viaje a las 12:30 horas en dirección a Madrejón; pasando 20 km se realizó la toma de muestra del sedimento Tl 8 en uno de los campos más Nororientales del Chaco; vuelta a las 18:45 horas al hotel y pernoctación en Filadelfia.
- 07.08.1993 Comienzo de la toma de muestra a las 07:30 horas; viaje a uno de los campos más Surorientales del Río Pilcomayo, al costado de la ruta, entre el Fortín Avalos Sánchez y General Díaz; toma de muestra alrededor de las 12:00 horas (Tl 9); continuando el viaje al parque Valle Natural (Neuland) de los mennonitas para la toma de muestra en un campo natural (Tl 10); regreso a Filadelfia a las 18:00 horas; pernoctación en Filadelfia.
- 08.08.1993 Cerca de las 09:00 horas viaje a un campo en el SE de la colonia Neuland y toma de muestra de sedimentos (Tl 11); continuación del viaje hacia la Transchaco y toma de dos muestras de loess de aluvión (Tl 12 y Tl 13) en una cantera de préstamo para la construcción de rutas al costado de la ruta en dirección a Mariscal Estigarribia; a la tarde viaje a la Estancia Campo Aroma a 20 km de distancia de Filadelfia y preparación de una toma de muestras nocturna; muestreo de C1 para la determinación cronológica ^{14}C en el nuevo tajamar de la calle Miller en Filadelfia; regreso al hotel cerca de las 17:30 horas. Toma de muestras nocturna de Tl 14 desde las 18:30 horas hasta 20:00 horas. Discusión sobre toma de muestras adicionales con Dr. R. Hoffmann, para el día martes; pernoctación en Filadelfia.
- 09.08.1993 A las 07:00 horas el Dr. Kruck entregó los equipos de muestreo y reunión con G. Köhler para preparar otros trabajos; conversación con el Dr. von Hoyer sobre detalles de posibles áreas de trabajo con los métodos hidrológicos con énfasis a los isótopos en la región del Chaco y en los alrededores de Filadelfia, en el marco de los proyectos de Hidrología y Medio Ambiente con especial consideración de los objetivos de la institución de la contraparte; a la tarde continuación del trabajo en el informe y descripción de las localidades de toma de muestras; pernoctación en Filadelfia.
- 10.08.1993 A las 07:30 horas salida con el Dr. R. Hoffmann, pasando la Estancia Campo Aroma en dirección a Mayor López, y toma de tres muestras de sedimentos (Tl 15, Tl 16, Tl 17) de dos estratos superpuestos de descalcificación, para la prueba de la aplicabilidad del método Tl a sedimentos de origen fluvial y también para la reconstrucción de procesos paleoclimáticos determinantes en el Chaco; vuelta a Filadelfia y toma de muestra de arena (Tl 18) ubicada directamente por encima del horizonte del suelo en el nuevo tajamar de la calle Miller; muestreo de otro horizonte de suelo en el nuevo tajamar de la calle Boreal (C3) para determinaciones cronológicas ^{14}C ; en las cercanías del aeropuerto, selección de concreciones calcáreas a partir del material de perforación del acuífero de 11,5 m de profundidad (C2). A las 13:10 horas regreso a Asunción con la camioneta oficial del proyecto. Llegada a las 18:30 horas; pernoctación en Asunción.
- 11.08.1993 A las 07:00 horas continuación de las tareas relacionadas con el informe profesional; pernoctación en Asunción.
- 12.08.1993 A las 07:00 horas codificación y empaque de las muestras para el transporte final a Alemania; preparación de los documentos para el instituto

| | | | |
|------------|---|------------|--|
| | TI/OSL en Heidelberg; primeras conversaciones sobre el informe profesional con el Dr. Kruck. A las 18:00 horas reunión con Dr. S. Keller en Asunción, informe sobre las conversaciones con respecto a la planificación de aplicaciones de los métodos isótopo/hidrológico, y coordinación de las siguientes acciones; pernoctación en Asunción. | 14.08.1993 | Elaboración de una carta de ubicación de las muestras; libre; pernoctación en Asunción. |
| | | 15.08.1993 | Preparación de valijas y salida al aeropuerto de Asunción; salida con el vuelo de AA 956 a las 17:45 horas destino a Saõ Paulo; interrupción del viaje técnico para continuación de actividades en Saõ Paulo. |
| 13.08.1993 | A partir de las 07:00 horas, últimas correcciones de las descripciones de las muestras, de la parte profesional del informe del viaje y del programa de trabajo de la parte isótopo/hidrológico según conversaciones con Dr. Kruck y Dr. Mollat. Envío de muestras; pernoctación en Asunción. | 27.08.1993 | Continuación del vuelo con LH 501 a las 20:00 horas de Saõ Paulo a Frankfurt. |
| | | 28.08.1993 | Llegada a las 12:25 horas y continuación del vuelo con LH 080 a las 13:15 horas a Hannover. Posterior a la llegada a las 14:10 horas partida con el coche privado a Bannetze. A las 15:15 horas fin del viaje técnico. |

ANEXO 2

Lista de muestras para el laboratorio TI en Heidelberg

| TI-Nr. | Material | Coordenadas | Prioridad | Aptitud | Observaciones |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|---|
| 1 | Loess Aluvional | S 21°26'26" W 61°23'17" | 1 | incierto | |
| 2 | Arena de dunas | S 20°56'00" W 60°31'00" | 1 | bueno | |
| 3 | Arena de dunas | S 20°40'32" W 61°58'40" | 1 | bueno | falta la segunda muestra adicional |
| 4 | Arena de dunas | S 20°55'18" W 61°49'51" | 2 | bueno | |
| 5 | Arena de dunas | S 20°55'18" W 61°49'51" | 2 | bueno | |
| 6 | Arena de dunas | S 20°55'18" W 61°49'51" | 1 | bueno | |
| 7 | Arena de campo | S 21°03'20" W 60°31'45" | 1 | moderado | expuestos en ambos lados |
| 8 | Arena de campo | S 21°25'40" W 59°52'20" | 2 | moderado | mayor parte de márgenes es inadmisibles |
| 9 | Arena de campo | S 23°38'42" W 60°04'44" | 1 | moderado | |
| 10 | Arena de campo | S 22°34'57" W 60°05'37" | 1 | moderado | |
| 11 | Arena de campo | S 22°52'39" W 60°00'12" | 2 | moderado | |
| 12 | Loess Aluvional | S 22°26'35" W 60°08'00" | 1 | incierto | |
| 13 | Loess Aluvional | S 22°11'15" W 60°28'07" | 2 | incierto | |
| 14 | Arena de campo | S 22°10'21" W 60°04'12" | 1 | moderado | muestreo nocturno, sin exposición |
| 15 | Arena Aluvional | S 22°03'03" W 59°49'34" | 1 | moderado? | calcáreo, faltan muestras adicionales |
| 16 | Arena Aluvional | S 22°03'03" W 59°49'34" | 2 | moderado? | faltan muestras adicionales |
| 17 | Arena Aluvional | S 22°03'03" W 59°49'34" | 1 | moderado? | |
| 18 | Arena de campo | S 22°20'40" W 60°01'50" | 3 | moderado | |
| ¹⁴ C-Nr. | | | | | |
| 1 | Suelo? | S 22°20'40" W 60°01'50" | 1 | moderado | |
| 2 | Nódulo de cal | S 22°20'40" W 60°01'50" | 1 | incierto | perforación |
| 3 | Suelo? | S 22°20'40" W 60°01'50" | 1 | moderado | |

Abastecimiento de Agua Subterránea en la Región Occidental del Paraguay

por

Hans Bender

INDICE

| | | |
|---------------|---|------------|
| 1 | Objetivo | 171 |
| 2 | Resultados | 171 |
| 2.1 | Abastecimiento de agua potable de los asentamientos indígenas | 171 |
| 2.2 | Aptitud del sistema de observación desarrollado para la recarga artificial de aguas subterráneas | 172 |
| 2.2.1 | Factibilidad del sistema de observación elaborado para la recarga artificial del agua potable | 172 |
| 2.3 | Intento de aplicación del modelo de dos fases | 172 |
| 2.3.1 | Aplicación experimental del modelo bifásico | 172 |
| 2.3.2 | Capítulo hidrogeológico del informe "Estatus" del proyecto "Inventario del Potencial Natural" | 172 |
| ANEXOS | | 173 |
| 1 | Un año de monitoreo de la recarga artificial en Filadelfia; observaciones y consideraciones | 173 |
| 1 | La Intención - El Ensayo | |
| 2 | Actividades Realizadas | 173 |
| 3 | Observaciones | 180 |
| 3.1 | Observaciones respecto a los impactos causados por las instalaciones de pozos de monitoreo | 180 |
| 3.2 | Observaciones con respecto a la reacción de la distribución vertical de la salinidad de aguas subterráneas como resultado de una recarga artificial | 180 |
| 3.2.1 | Observaciones en el tajamar «Serenidad» (450) | 180 |
| 3.2.2 | Observaciones en los tajamares 217 y 310 | 181 |
| 4 | Conclusiones y Recomendaciones | 181 |
| 4.1 | Conclusiones generales con respecto a la utilidad de la recarga artificial | 181 |
| 4.2 | Conclusiones y recomendaciones con respecto al método de monitoreo y de instalación aplicados en pozos de monitoreo | 181 |
| 2 | Salinización | 182 |

Autor del informe Dr. Hans Bender

Proyectos N° PN91.2035
PN91.2036.1

Archivo N° (BGR) 112 623

Fecha Agosto 1994

1 OBJETIVO

- a) Control profesional del desarrollo del proyecto
 - ❑ Evaluación de la probabilidad de áreas de explotación elegidas para el abastecimiento de agua potable de los asentamientos indígenas,
 - ❑ Control del sistema de observación elaborado para la recarga artificial del agua subterránea a través de los resultados de las mediciones periódicas del nivel de las aguas subterráneas y de su salinidad, con el objetivo de comprobar su factibilidad con respecto a las condiciones hidrogeológicas reales.
 - ❑ Ensayo (test) del modelo bifásico, desarrollado por H. P. BRUMKE, con el fin de simular un lente de agua dulce por encima de un cuerpo de agua salada.
 - ❑ Participación de los contrapartes y flujo de información en todas las actividades,
 - ❑ Preparación de la presentación del proyecto durante la evaluación prevista a través del BMZ (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit)
- b) Lectura y discusión del capítulo hidrogeológico del informe "Estatus" del proyecto "Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección de los Espacios Naturales en la Región Occidental"

2 RESULTADOS

2.1 Abastecimiento de agua potable de los asentamientos indígenas

Santa Teresita (1500 E), Campo Loa (500 E), Jorba (Asentamiento planificado por 500 paraguayos sin tierra), Diez Leguas (100 E), La Piedad (300 E) y Casanillo (1000 E); E = habitante, números; localidad: (Fig. 1)

Por causa del tiempo limitado se pudo visitar solamente las zonas de Campo Loa y Casanillo.

En el área de Campo Loa se presentan buenas posibilidades para una explotación de agua subterránea dulce. El asentamiento se encuentra en los bordes de un "campo" arenoso, atravesado por un cauce largo y bien visible; por debajo existiría, según las estimaciones, una lente de agua dulce. En este lugar se van a realizar investigaciones geofísicas.

La zona de Casanillo presenta pocas posibilidades para una explotación de agua subterránea dulce. Sin embargo, es un buen ejemplo para la flexibilidad exigida a los planificadores en un área tan difícil. Los trabajos ahí se están realizando por el jefe de proyecto Dr. S.

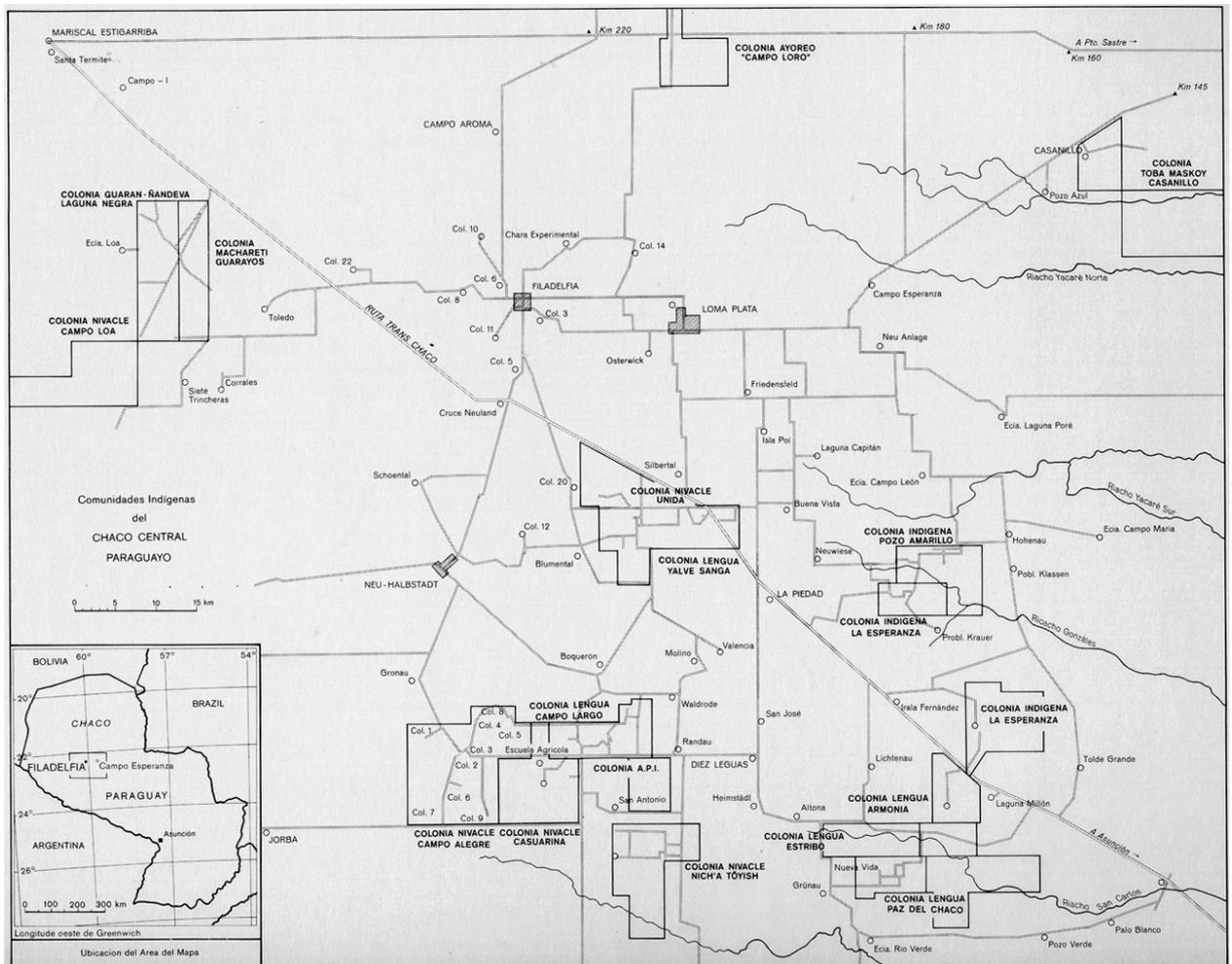


Fig. 1: Ubicación de los asentamientos indígenas en el Chaco Central

Keller y un experto menonita en asuntos indígenas. El área se ha dividido en varios asentamientos individuales; su abastecimiento se diseñará en el siguiente texto para mostrar las dificultades y posibilidades.

Dos Palmas:

Ningunas posibilidades para una exploración de aguas subterráneas, construcción de un tajamar (laguna artificial para almacenamiento de aguas pluviales); filtración a través de arena, bomba de "molino de viento" y tubería (para agua corriente).

General Díaz:

Ubicado en el borde de una laguna de agua dulce, el pozo existente con bomba manual con defectos, se reparará.

Campo Aroma:

El techo de zinc de la escuela (o iglesia) se usa para la colección de aguas pluviales. El bombeo del agua se realiza con energía eólica. Se construyeron un aljibe, un tajamar y un tanque australiano.

Capiatá:

Está previsto la construcción de un tajamar y un tanque de agua «alto»; el bombeo de agua se realizará utilizando energía eólica.

Casanillo:

Existe un tajamar grande, sin embargo el agua se encuentra en peligro de contaminarse. Estaba previsto la perforación de un pozo en los márgenes del tajamar, un día antes de comenzar los trabajos el Cacique se retrajo de su compromiso de cooperación; no se conocen las razones.

Se exige una cooperación intensiva por parte de los futuros usuarios en relación a todas las actividades, esto es necesario para crear una mentalidad de propietario, con esto se facilita, en el futuro, el mantenimiento de las instalaciones y además se logra un manejo sostenible.

2.2 Aptitud del sistema de observación desarrollado para la recarga artificial de aguas subterráneas

2.2.1 Factibilidad del sistema de observación elaborado para la recarga artificial del agua potable

Las observaciones y deducciones respecto a este tema se pueden apreciar en el Anexo. Seguidamente, se presentan sólo los puntos más importantes:

- En razón de que se había aplicado una metodología de perforación poco apropiada para la terminación de un pozo de observación, utilizando un

sistema de rotación con expulsión. Resultó en consecuencia, por un lado, que el agua dulce estaría moviéndose hacia los alrededores del pozo, y por el otro lado es posible que el agua salada de zonas inferiores sea transportada por efectos del «Air-lift» durante la limpieza posterior y a través del efecto «upconing» hacia los alrededores superiores del pozo. El efecto es la contaminación del punto de muestreo por el problema de la permanencia prolongada de la materia contaminante por razones del pequeño gradiente del nivel superior del agua subterránea y por la relativa impermeabilidad del acuífero que resultan en un flujo regional muy lento de las aguas subterráneas. Con una velocidad del flujo del agua subterránea aproximado de 1,5 m/año este proceso lleva aproximadamente medio año (comparar con las Figs. 3, 5 y 7 del Anexo 1). Debido a este proceso se ha perdido casi medio año de tiempo útil para realizar observaciones.

- Una serie de pozos no se han perforados hasta el nivel de las aguas saladas, así que no se puede determinar los espesores totales del agua dulce acumulada por recarga artificial. Estos pozos de observación se tendría que profundizar más.

2.3 Intento de aplicación del modelo de dos fases

2.3.1 Aplicación experimental del modelo bifásico

Durante la primera mitad del año, no se han podido realizar observaciones; por ello, a partir del comienzo de las mediciones, no parecía muy apropiado la aplicación de este modelo.

2.3.2 Capítulo hidrogeológico del informe «Estatus» del proyecto "Inventario del Potencial Natural"

Este capítulo del informe se ha leído críticamente para luego discutirlo con el encargado del proyecto, Dr. Wolfgang Kruck.

Uno de los objetivos principales del Dr. Kruck respecto al informe ESTATUS consiste en la presentación de las interrelaciones naturales en el sistema del Chaco, ecológicamente frágil, de manera interdisciplinaria, para resaltar especialmente los enfoques del peligro potencial para el sistema causados por impactos antrópicos.

Como ejemplo se ha elaborado una presentación del enfoque «salinización» (Anexo II).

Firma: Hans Bender

ANEXO 1

Un año de monitoreo de la recarga artificial en Filadelfia: Observaciones y consideraciones

1 LA INTENCION - EL ENSAYO

La conservación de aguas pluviales aplicando el método de recarga artificial ya tiene historia en las colonias mennonitas en el Chaco paraguayo.

Ya en el año 1948 se había realizado la construcción de un tajamar en el complejo industrial de Filadelfia (Colonia Fernheim), con el mismo objetivo. La obtención de aguas subterráneas por recarga artificial a través de una serie de pozos ubicados alrededor del tajamar de recarga artificial alcanza entre 190 - 210 m³/día como promedio. No causa impactos a su alrededor, como p.ej. aumento de la salinidad por un efecto «upconing» del agua subterránea salada, ubicado por debajo del lente de agua dulce aprovechado para recarga.

Al comienzo de la Cooperación Paraguaya - Alemana (Mayo 1992) parecía muy atractivo el estudio de las posibilidades de una recarga artificial como medio para el mejoramiento del abastecimiento de agua para el Chaco Central Paraguayo, una región relativamente poco poblada con una demanda relativamente alta de agua dulce y pocas posibilidades de utilización de reservas de aguas naturales.

El objetivo del estudio era la cuantificación de la recarga, obtenida por métodos artificiales y el estudio aplicado respecto a la utilidad de este método para un mejoramiento del abastecimiento de agua en esta zona. Sabiendo que el gradiente (g) en el área de Filadelfia alcanza

$$g = 0.5/1000 \text{ (m/m)}$$

y asumiendo que

$$K = 1 \cdot 10E-5 \text{ (m/s)}$$

[permeabilidad]

$$en = 0.1$$

[porosidad efectiva]

siguiendo con esta ecuación

$$v = K \cdot g / en$$

[velocidad del flujo]

resulta que $v = 1.6 \text{ (m/a)}$

Asumiendo además que la influencia del impacto causada por las actividades de instalación alcanzan:

$$r = 0.5 \text{ (m)}$$

se puede concluir que el flujo del agua subterránea tarda cuatro meses en limpiar el pozo de todas las contaminaciones causadas por las actividades de ins-

talación. Las representaciones gráficas del tiempo/ EC (conductividad eléctrica) (Figs. 4, 6 y 8) demuestran extremadamente bien que, en general, las consideraciones mencionadas arriba son válidas.

En consecuencia de este hecho resulta que, por supuesto, no se pueden usar los datos del monitoreo realizado en la primera mitad del año para las interpretaciones.

2 ACTIVIDADES REALIZADAS

Un número total de 16 pozos de monitoreo se han instalados en cuatro tajamares, comenzando en el medio del año 1993.

La mayoría de los pozos de monitoreo han sido perforados a una profundidad entre 20-30 m. Los pozos estaban equipados con filtros que abarcaron todo el rango de la columna de agua subterránea con excepción de los estratos de permeabilidad baja (p.ej. arcilla). Las perforaciones se realizaron con un equipo tipo "rotary", aplicando licuido de perforación.

Después de terminar los pozos y del "casing", se procedió a limpiar los pozos con el método "air lift". Poco después de terminar los pozos se comenzaron el monitoreo de los niveles de agua y la distribución de la salinidad. Medidas se tomaron por lo menos una vez por mes, primero con un salinómetro prestado del Servicio Geológico de Baja Sajonia, posteriormente con un equipo del proyecto. Lamentablemente, existe una época sin monitoreo, entre el 1° de setiembre y el 1° de diciembre de 1993; en este período de tiempo se procuró la instalación del nuevo equipo de mediciones.

Durante esta misión del autor, los datos obtenidos hasta el 1° de julio en las estaciones de monitoreo de los tajamares "Serenidad" (415), tajamar No. 117 y tajamar no. 310 han sido procesados de la siguiente manera:

- diseño de distribuciones de EC (conductividades eléctricas) contra gráficos considerando el tiempo (Fig. 4, 6, 8)
- diseño de una sección vertical en el tajamar "Serenidad", demostrando la distribución de la EC (conductividad eléctrica) vertical de las últimas medidas tomadas el día 1° de julio, 1994 (Fig. 9).

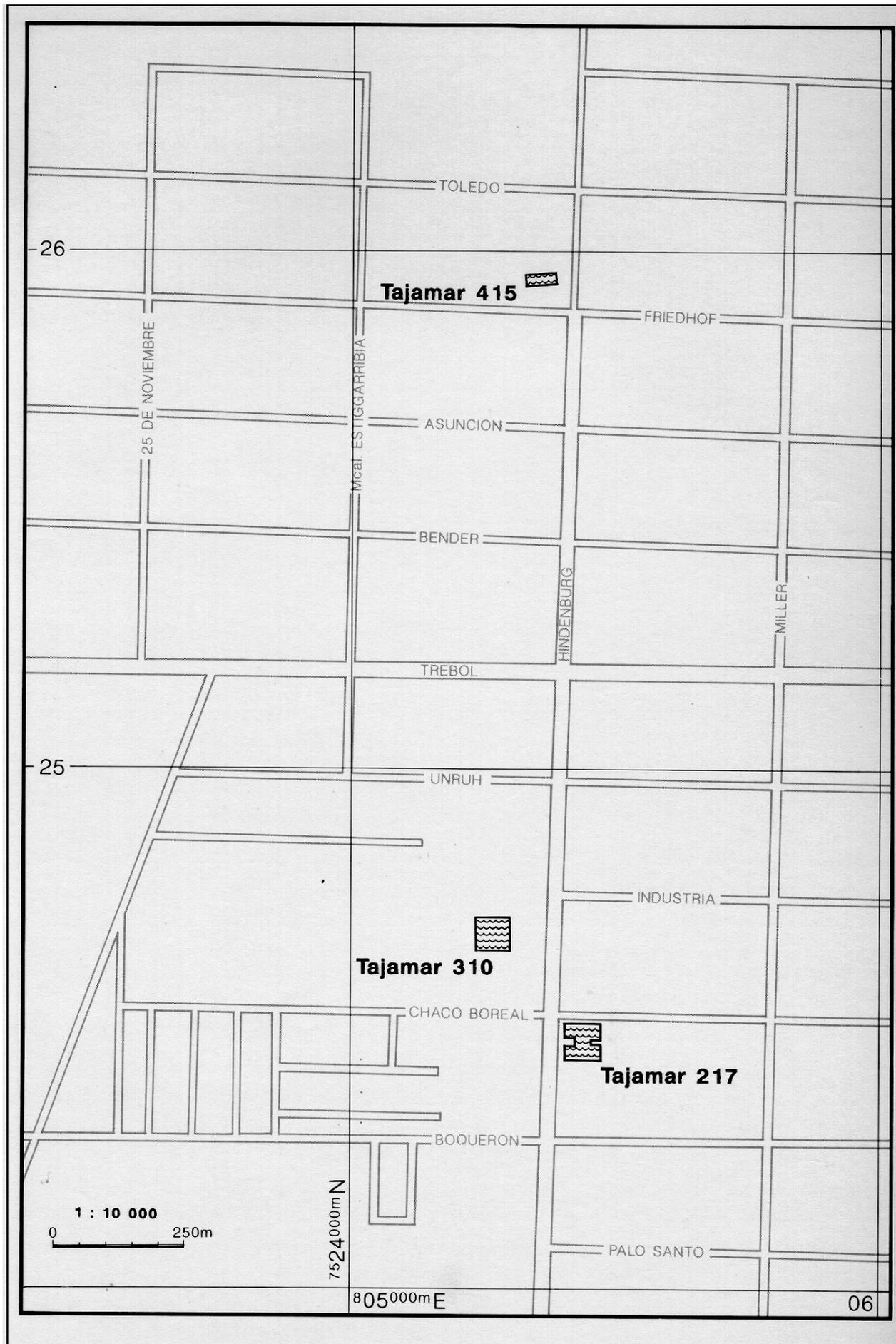


Fig. 2: Mapa de ubicación de los tajamares con datos de recarga artificial

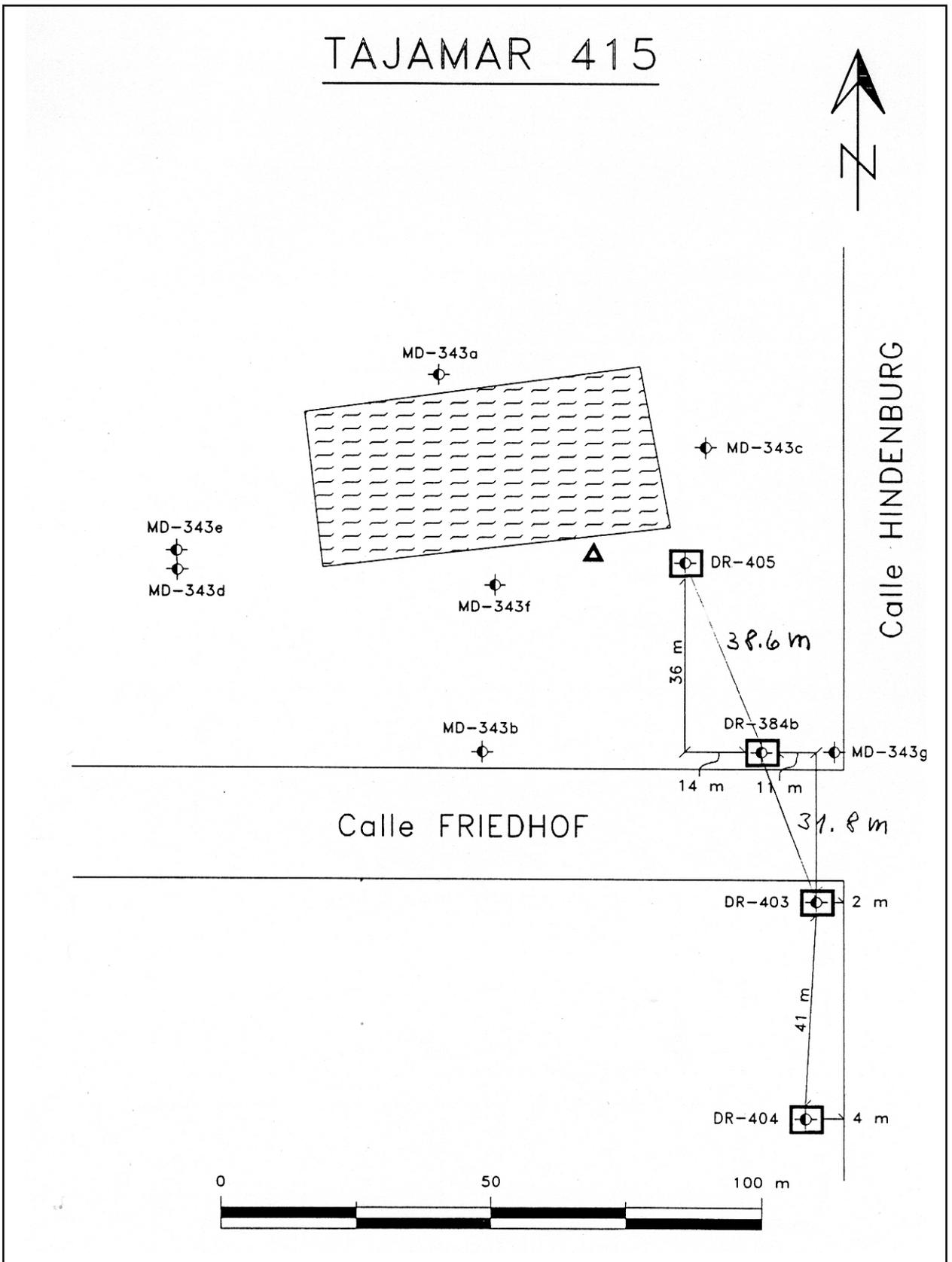


Fig. 3: Mapa de ubicación del sistema de monitoreo en el tajamar «Serenidad» (415)

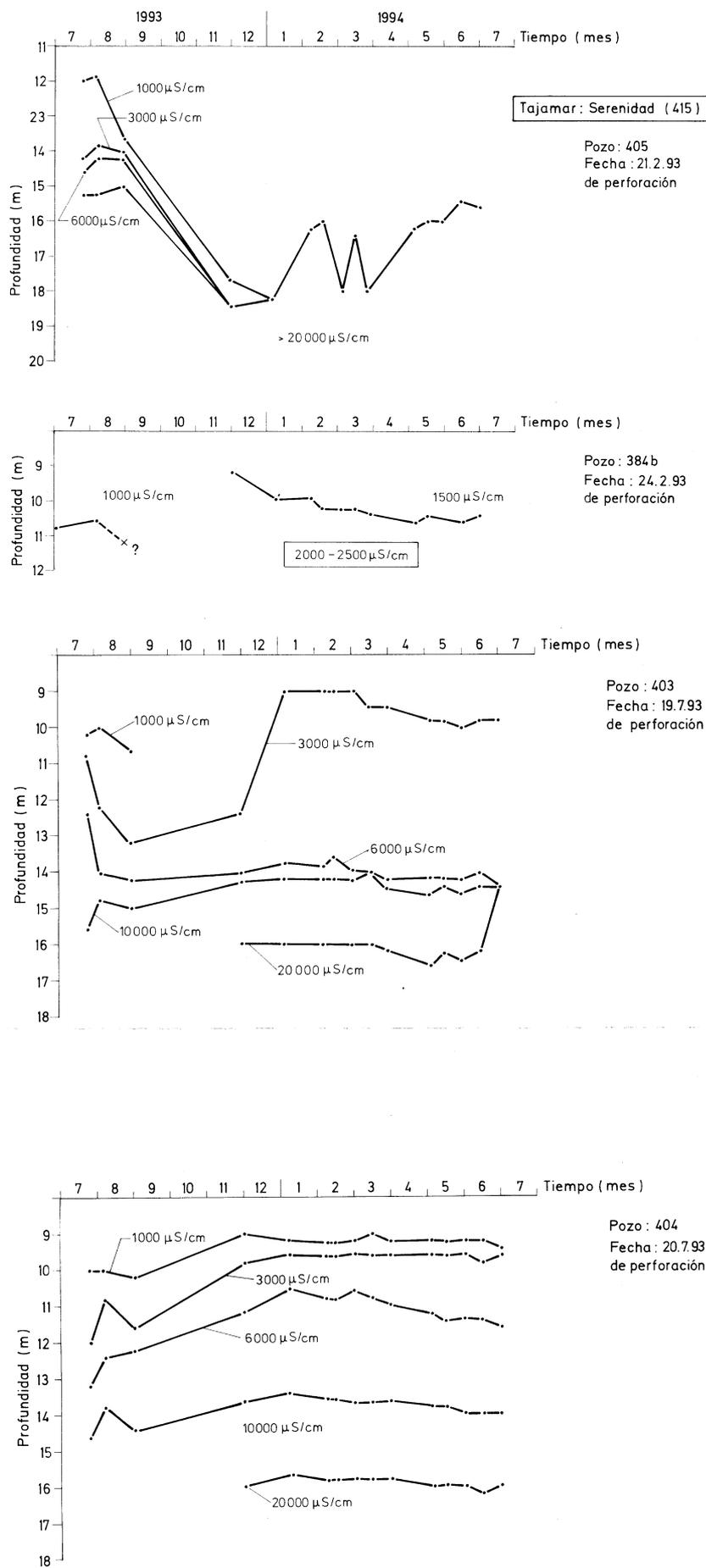


Fig. 4: Distribución vertical de la EC (conductividad eléctrica) contra tiempo en los pozos de monitoreo ubicados en el tajar 415

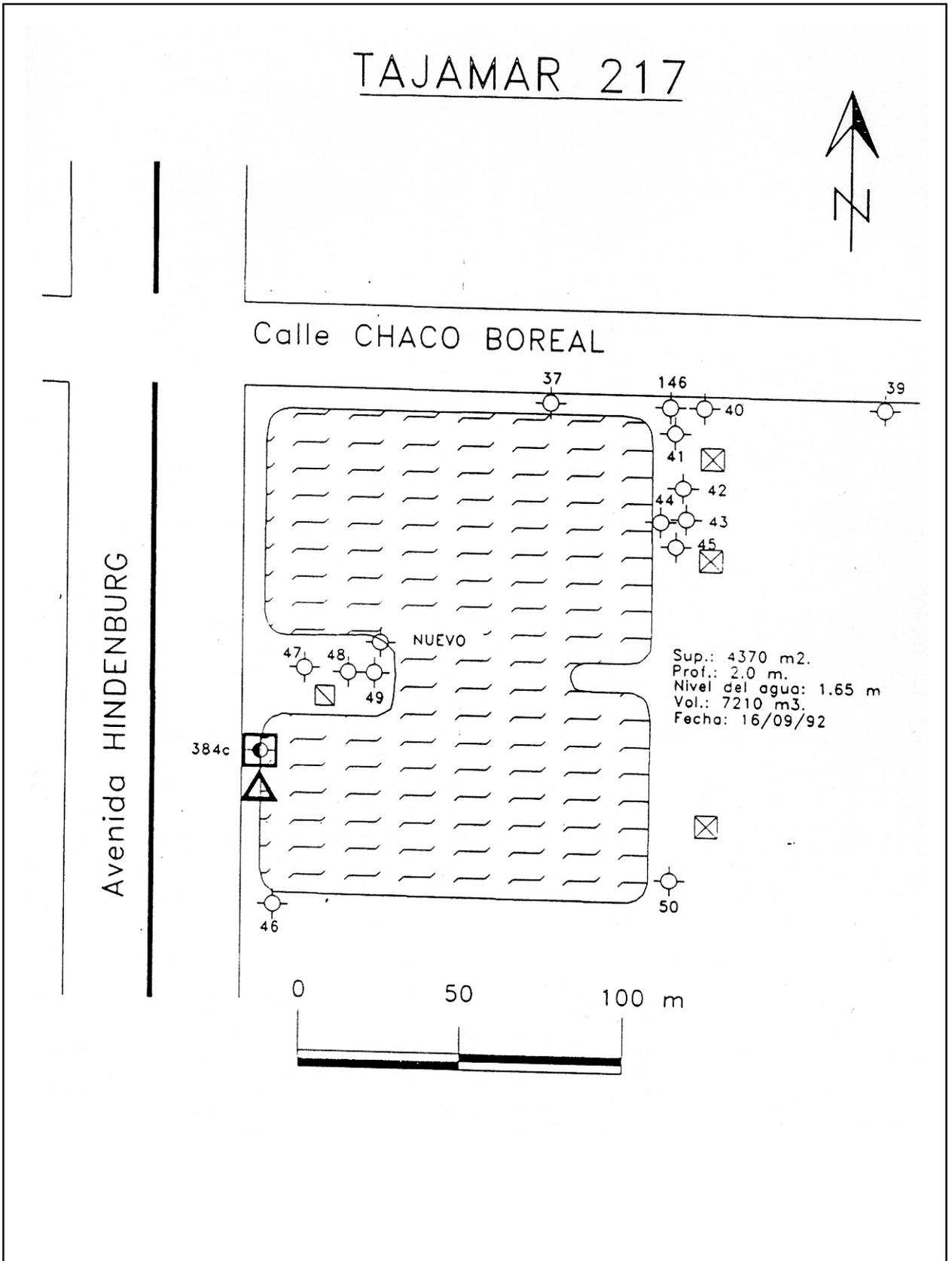
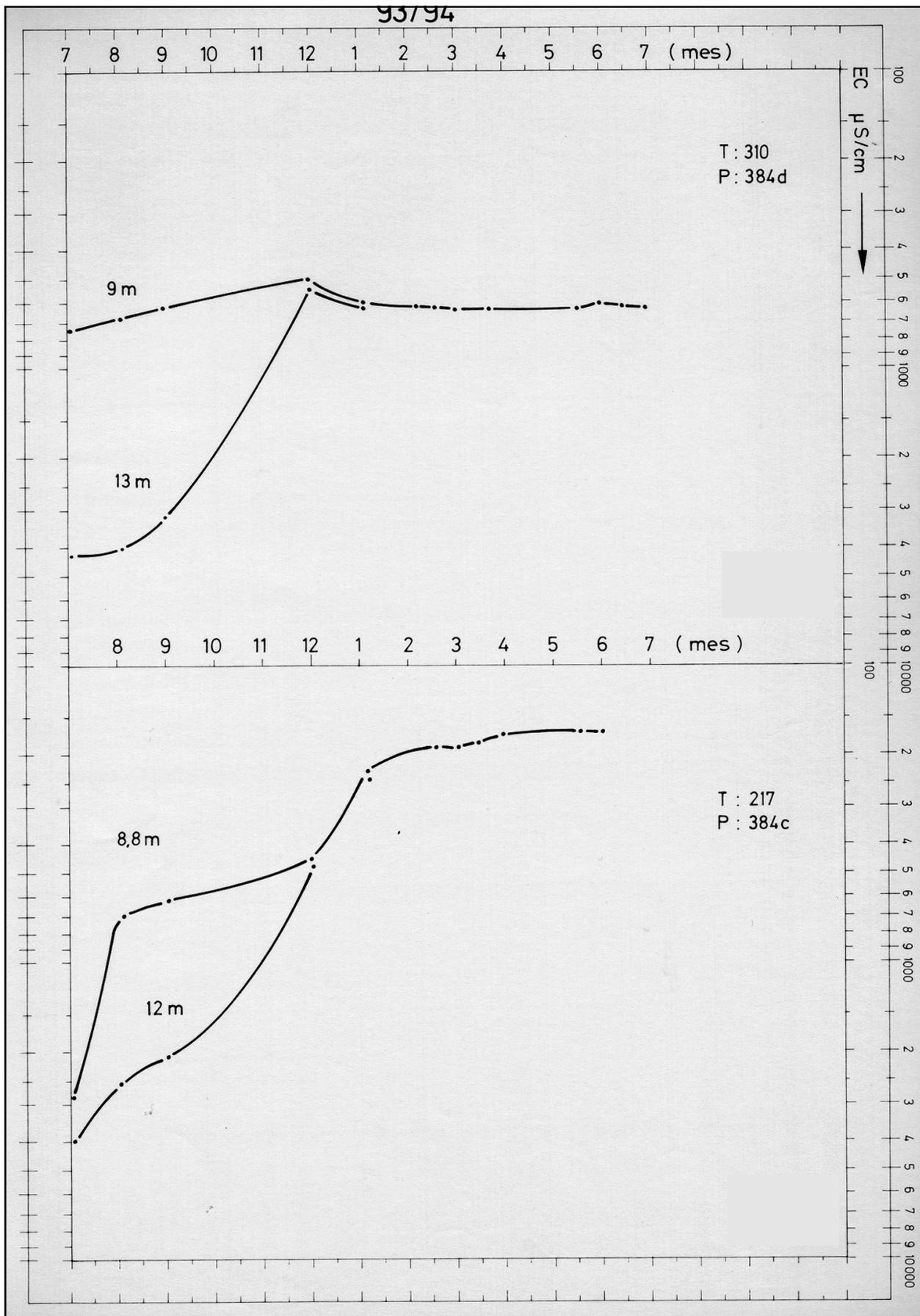


Fig. 5: Mapa de ubicación del sistema de monitoreo en el tajamar 217



Figs. 6 y 8: Distribución vertical de la EC (conductividad eléctrica) contra tiempo en los pozos de monitoreo ubicados en el tajamar 384c (Fig. 6) y en el tajamar 384d (Fig. 8)

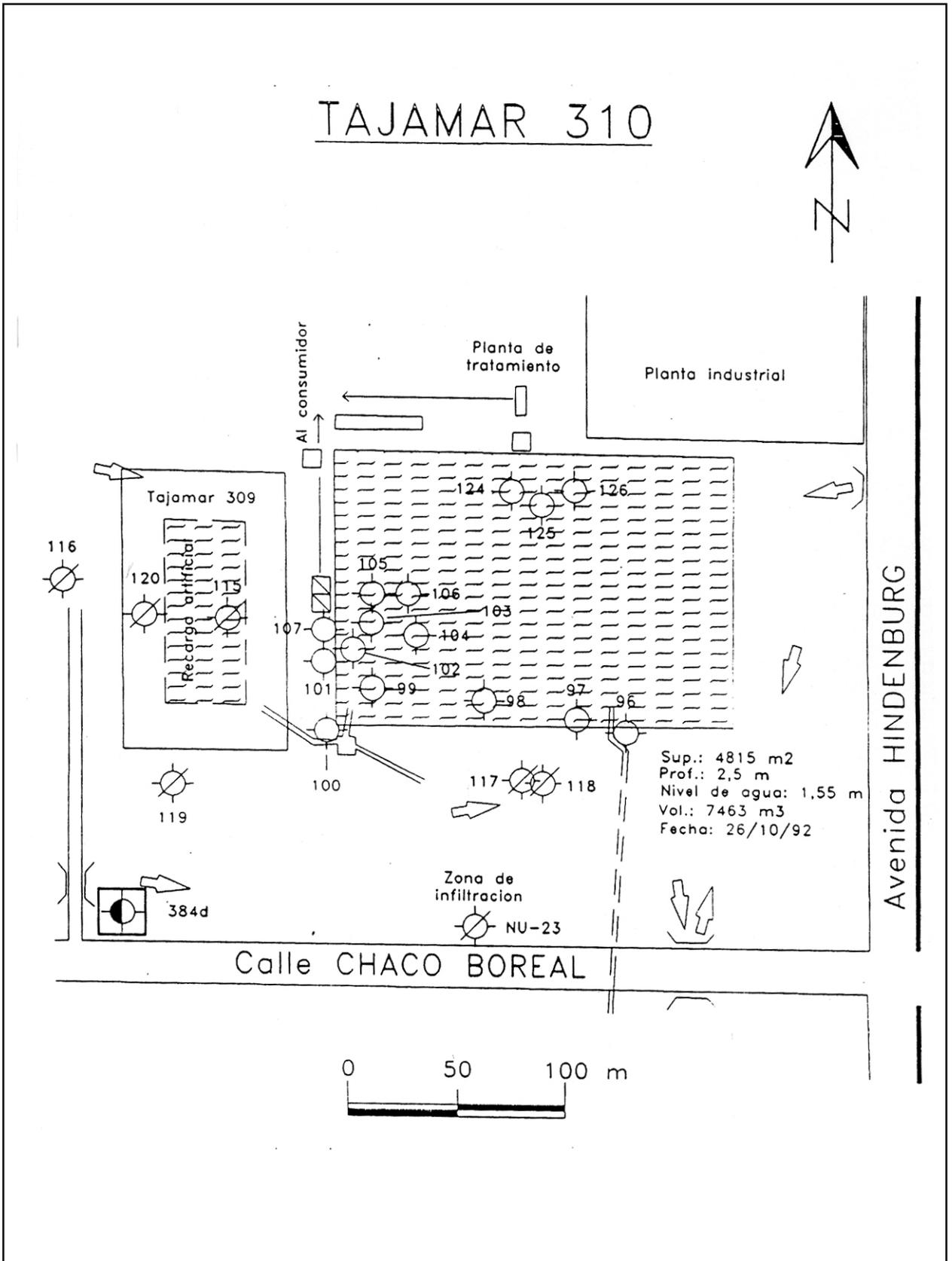


Fig. 7: Mapa de ubicación del sistema de monitoreo en el tajamar 310

3 OBSERVACIONES

3.1 Observaciones con respecto a los impactos causados por las instalaciones de pozos de monitoreo

Ya al comienzo de las operaciones del monitoreo de la recarga artificial, existía una conciencia con respecto a los impactos considerables causadas por la instalación de los pozos de monitoreo en la distribución natural de la salinidad de las aguas subterráneas. Su magnitud no se podía prever.

En general se esperaron dos procesos mayores a ocurrir durante las perforaciones mediante el equipo tipo "rotary", causando alteraciones en la distribución de la salinidad en los alrededores de los pozos de monitoreo:

- introducción de agua "ajena", a través de los fluidos de perforación, porque se tomaría por supuesto, agua del tajamar más cercano.
- succión de agua salina provenientes de horizontes inferiores durante la limpieza del pozo de monitoreo a través del método "air lift" (upcoming effect).

En la actualidad (mientras tanto) la red de agua subterránea y dirección de su flujo es conocido para el área de Filadelfia y los parámetros de los acuíferos pueden ser estimados fácilmente.

Sabiendo que el gradiente (g) para el área de Filadelfia alcanza

$$g = 0.5/1.000 \text{ (m/m)}$$

y asumiendo que

$$K = 1 \cdot 10E-5 \text{ (m/s)}$$

[permeabilidad]

$$en = 0.1$$

[porosidad efectiva]

y, siguiendo la relación

$$v = K \cdot g / ne$$

[velocidad de flujo]

resulta que $v = 1.6 \text{ (m/a)}$

Asumiendo, además, que la influencia de los impactos ocurridos durante las actividades de instalación alcanzan

$$r = 0.5 \text{ (m)}$$

se puede concluir que se necesitan alrededor de 4 meses para el flujo del agua subterránea regional para "limpiar" el pozo de todos los efectos de polución

ocurridos durante las actividades de instalación. Los gráficos EC-tiempo (Fig. 4, 6, 8) muestran muy bien que las consideraciones mencionadas arriba son justificadas.

En consecuencia de este hecho se puede concluir que el monitoreo realizado durante la primera mitad del año no puede ser incluido para las interpretaciones.

3.2 Observaciones con respecto a la reacción de la distribución vertical de la salinidad de aguas subterráneas como resultado de la recarga artificial

3.2.1 Observaciones en el tajamar «Serenidad» (450)

El efecto más impresionante de la recarga artificial puede ser observado en el tajamar «Serenidad». De acuerdo a informaciones verbales, antes de comenzar la construcción de este tajamar no se había encontrado agua fresca en este sitio. El tajamar ha sido construido 13 años atrás.

El agua del tajamar se aprovecha, en parte, para el riego de jardines; aún no se ha usado el agua subterránea en sus alrededores.

Durante todo el periodo de observación el tajamar nunca quedó sin agua.

El lugar de monitoreo consta de cuatro pozos, uno de ellos se encuentra cerca del tajamar en cuestión y los otros están a igual distancia de uno al otro, que es aproximadamente 40 m (Figs. 3 y 9).

Los pozos 403 y 404 no parecen estar afectados por la recarga artificial. Aparentemente demuestran la zonación normal de la calidad del agua subterránea de esta región.

La parte superior está saturada de agua con una conductividad eléctrica alrededor de 3.000 y 230 μ/cm ?. Este estrato tiene un espesor de solo unos pocos metros.

Por debajo, sigue una zona de un espesor de alrededor de 5m con una salinidad creciente y con una profundidad entre 3.000 y 10.000 μ/cm .

El cambio de 10.000 a 20.000 μ/cm ocurre abruptamente. Esta zona de transición presenta un espesor de sólo un metro. Más hacia abajo existe un aumento lento con respecto a la salinidad y llega hasta alrededor de 30.000 μ/cm .

Las condiciones en el pozo 405, el pozo más cercano al tajamar, son completamente diferente:

Aquí, se ha formado un estrato de agua fresca con una conductividad eléctrica de menos que 1.000 μ/cm

cm el cual, en su parte inferior, está seguido de agua con más de 10.000 μ /cm. La zonación encontrada en los dos pozos de observación ubicados en la parte

más sureña no se ha encontrado en este pozo. El contacto entre agua subterránea fresca y salina es, al contrario, abrupto.

Lastimosamente, el pozo 386 b, ubicándose aprox. 50m de distancia del tajamar, llega a solo 1,5 m del agua subterránea. La conductividad eléctrica de solo 1.500 μ /cm demuestra que la zona de influencia con respecto a la recarga artificial que ocurre en el tajamar, llega por lo menos hasta ahí.

Cabe resaltar la observación que en el pozo 405, el cual se encuentra más cerca al tajamar, el nivel del agua subterránea pasa por más que 0,6m al nivel de agua en las zonas lindantes. Este es, generalmente, de acuerdo con la ley de Ghyben-Herzberg, pero con cerca de medio metro de agua fresca por encima del agua salada con una densidad que se acerca a los valores de agua marina. La explicación de esta discrepancia se halla seguramente en la existencia de un estrato arcilloso de aprox. 5m de espesor por debajo del extremo inferior de la lente de agua dulce, lo que previene a la lente de extenderse hacia abajo. El agua fresca, en consecuencia, podría moverse hacia el sur, dónde el estrato de arcilla ya no existe.

3.2.2 Observaciones en los tajamares 217 y 310

Ambos tajamares existen desde 1948 y 1950 respectivamente. Al contrario al tajamar «Serenidad» el agua subterránea fresca almacenado por recarga artificial se produce en varios pozos para distintos objetivos.

El monitoreo del comportamiento de la salinidad del tajamar 217 se realiza a través del pozo 384c, el cual se ubica directamente en el borde occidental del tajamar (Fig. 6).

Al comienzo de las actividades del monitoreo de la EC (conductividad eléctrica) en el año 1993, el pozo demuestra valores de salinidad relativamente altas, en el rango de 3.000 hasta 4.000 μ S/cm. Esto se debe aparentemente a un efecto de las actividades de instalación porque las mediciones siguientes demuestran un constante decrecimiento de salinidad, alcanzando valores alrededor de 400 μ S/cm en diciembre 1993 y luego de valores alrededor de 200 hasta 300 μ S/cm.

El mismo efecto se observa en el pozo 384 d, monitoreando la salinidad del tajamar 310. Aquí los valores de la EC (conductividad eléctrica) cambian entre julio 1993 y Diciembre 1994 de 4.000 hasta 600 μ S/cm (Fig. 8). Este pozo de monitoreo se ubica en una distancia de 50m del tajamar.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones generales con respecto a la utilidad de la recarga artificial

Las observaciones realizadas en el tajamar Serenidad permiten unas conclusiones generales con respecto a la cantidad de agua recargada artificialmente en un periodo de tiempo de cuatro años.

Simplificando la forma de un lente de agua dulce aproximándola a la forma de un cono, se puede constatar:

$$r = 50 \text{ (m)}$$

[radio del lente]

$$h = 7 \text{ (m)}$$

[espesor de agua dulce]

$$ne = 0,1$$

[porosidad]

$$v = r^2 \cdot h \cdot ne / 3$$

[volumen de agua dulce en el cono]

$$v = 1.800 \text{ (m}^3\text{)}$$

Esto, por cierto, no es una figura muy impresionante, pero se tiene que considerar que el tajamar de infiltración es relativamente reciente y además, que en épocas de sequías extremas esta cantidad serviría como reserva de consideración.

De cualquier manera, la experiencia obtenida con los tajamares más antiguos, como 217, 310, y aquel ubicado en el complejo industrial, apoya la idea de continuar los estudios de cuantificación de agua subterránea recargada artificialmente, de manera de alcanzar un nivel de conocimiento que facilite a nosotros de aconsejar y asesorar a planificadores y economistas de esta región.

4.2 Conclusiones y recomendaciones con respecto al método de monitoreo y de instalación aplicados en pozos de monitoreo

- el método para instalación de pozos de monitoreo con perforación a rotación con expulsión de licuido ha comprobado de causar impactos no deseados en el subsuelo, llegando a pérdidas de tiempo de observación de hasta varios meses.
- Se recomienda, para la instalación de pozos de monitoreo adicionales, la aplicación de un método «más suave», p.ej. la perforación con el espiral hasta alcanzar el nivel de agua subterránea, y posteriormente, continuar con el bailer.

- el método recomendado presenta la ventaja, al lado de causar menos impactos no deseados en el subsuelo, de posibilitar un control continuo de la salinidad del agua subterránea en cuestión durante la perforación del pozo.
- un número de pozos de monitoreo, estratégicamente importantes, resultaron de ser demasiado someros (p.ej.: 384 b, 384 c, 384 d), porque ellos no alcanzan el contacto entre el agua dulce y salado.
- se recomienda la perforación de pozos de monitoreo adicionales directamente al lado de estos pozos someros hasta alcanzar el contacto, aplicando el método de perforación descrito arriba. El monitoreo de salinidad se tendría que realizar durante un periodo sensato en ambos pozos vecinos, para controlar la adaptación a condiciones normales dentro de estos pozos recientemente perforados.
- las mediciones de la EC (conductividad eléctrica) del medio del año pasado demuestran que los cambios de salinidad ocurren posterior a la eliminación de los impactos no deseados, pero lentamente; por esto se recomienda reducir el número de monitoreo a una campaña de mediciones por mes.

ANEXO 2

SALINIZACION

Causas naturales

- poca energía de relieve
- menor permeabilidad
- alto volumen de precipitación pluvial
- alta tasa de evaporación

Consecuencias:

- Migración vertical del agua subterránea > efluente horizontal del agua subterránea
- Permanencia prolongada del agua subterránea
- Alta tasa de incorporación de sal al sistema (a través de lluvia/ríos [influent rivers])
- Baja tasa de extracción de sal del sistema (baja acción migratoria del agua subterránea, falta de efluente superficial)
- Poca distancia a la superficie terrestre desde el nivel superior del agua subterránea
- Aumento general de las concentraciones salinas en el sistema global, en función del tiempo (en suelos y en el agua subterránea).

Factores estabilizantes (retardantes)

- Bajas permeabilidades verticales en suelos naturales
- Arbolado
- Riachos (extracción del sal del sistema)

Impactos antrópicos

- Deforestación (disminución/destrucción de los árboles)
- Aradura (aumento de la permeabilidad vertical de los suelos)
- Represión de riachos, lagunas (también sin intención por construcción de caminos, rutas)

Consecuencias del impacto antrópico

- Eliminación del descenso del nivel superior del agua subterránea natural, causado por los árboles
- Aumento de infiltración (consecuencia de la aradura)
- Ascenso del nivel del agua subterránea (disminución del nivel superior del agua subterránea)
- Aumento de la evaporación a través del agua subterránea
- Aumento de salinidad en el agua subterránea
- Salinización de los suelos
- Disminución de la extracción salina del sistema
- Aumento del contenido total de sal en el sistema.

Determinación del Aforo de los Ríos Chaqueños

por
Rüdiger Wagner

INDICE

| | | |
|---------------|--|------------|
| 1 | Situación y Planteamiento | 185 |
| 2 | Documentos y Equipos Disponibles en el Proyecto | 185 |
| 3 | Viajes al Campo y Resultados | 185 |
| 4 | Métodos de Medición a ser Aplicados | 186 |
| 4.1 | Método de observación de un río en un puente | 186 |
| 4.2 | Método de medición de dos puntos | 186 |
| 5 | Propuestas | 186 |
| 5.1 | Para el futuro procedimiento | 186 |
| 5.2 | Para la evaluación | 187 |
| 5.3 | La instalación de un fluviómetro | 187 |
| 6 | Interpretación de los Resultados de Medición | 187 |
| 7 | Formación de la Contraparte | 187 |
| 8 | Bibliografía y Referencias | 188 |
| ANEXOS | | 189 |
| 1 | Formulario para observaciones de un río desde un puente, con instrucciones dibujadas | 189 |
| 2 | Posibilidades para medir la velocidad del agua en un río | 190 |
| 3 | El metodo de dos puntos | 191 |
| 4 | Formulario para la medición del aforo con molinete | 193 |
| 5 | Ejemplo de una medición del aforo en el Río Negro | 194 |
| 6 | Curva de aforo del Río Negro | 195 |
| 7 | Fotos de puentes y de las mediciones con molinete | 196 |
| 8 | Módulos de la hidrografía y de la meteorología para un banco de datos, preferiblemente HYDAT de la sección Hidrogeología de la BGR | 198 |
| 9 | Mapa hidrográfico de la Región Occidental del Chaco | 199 |
| 10 | Transcurso del viaje | 200 |

| | |
|-------------------|--|
| Autor del informe | Dipl. Ing. Rüdiger Wagner |
| Comitente | Ministerio Federal para Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) |
| Proyecto No. | 90.2056.1 |
| Archivo No. | 113551 |
| Diario No. | 10837/95 |
| Fecha | 30 de Junio de 1995 |

1 SITUACION Y PLANTEAMIENTO

Mediante orden de trabajo BZ 1.1-40 - diario No. 265/95, de fecha 27.01.1995, fui encargado para realizar los siguientes trabajos en el Proyecto Sistema Ambiental del Chaco, SACH, del 26.03. al 08.04.1995:

- asesoramiento para realizar medidas de estimación del aforo de los ríos chaqueños con métodos simples;
- instrucción del personal de la contraparte (CP) en métodos de medición y cálculos.

Sin embargo, una vez en el país, el planteamiento de las tareas resultó ser mucho más complejo, de manera que los términos de referencia necesariamente fueron ampliados como sigue:

- desarrollo de un método para la estimación de agua en estos ríos para consumo humano y animal;
- desarrollo de un método para la determinación de la característica y distribución de sales de acuerdo a la estación del año;
- verificación de las posibilidades de instalación de estaciones de monitoreo permanentes para la medición continua del nivel de los ríos y su conductividad eléctrica.

Debido a la brevedad del tiempo, se ha puesto énfasis, en primer lugar en la formación de la contraparte y, en segundo lugar, una recolección sistemática de datos.

Los dos primeros términos de referencia serán resueltos desde Alemania o deberán ser atendidos por un hidrogeólogo.

El transcurso del viaje se describe en el Anexo 0.

2 DOCUMENTOS Y EQUIPOS DISPONIBLES EN EL PROYECTO

Los datos, documentos y equipos disponibles en el Proyecto se encontraban en excelente estado bajo la supervisión del contraparte Ing. Agr. Francisco Fracchia.

En detalle se disponía de lo siguiente:

- anotaciones de mediciones esporádicas, generalmente mensuales, del nivel del agua y la conductividad eléctrica de los ríos Confuso, Aguara Guazú, Negro, Montelindo, Siete Puntas y Verde;
- datos meteorológicos, en especial precipitaciones desde el año 1931, principalmente las registradas en las colonias mennonitas;
- dos molinetes de medición SEBA del tipo F001 (F 972) y M1 (mini-molinete).

3 VIAJES AL CAMPO Y RESULTADOS

Se realizaron 4 viajes al campo para investigar posibilidades simples de determinación/estimación del caudal, utilizando, como lugares de observación, los puentes en la Ruta Transchaco.

Según ello, se da el siguiente cuadro:

Fundamentalmente debe elaborarse para todos los ríos, en primer lugar, una curva de aforo que permita deducir el caudal directamente, comenzando con el nivel de agua medido desde un punto de referencia. Esta curva de aforo, sin embargo, sólo podrá determinarse aproximadamente en el transcurso de un año con diferentes niveles de agua.

De acuerdo a ello, se debe elaborar el perfil en un trayecto del río que sea lo más recto posible, atendiendo los siguientes parámetros:

- fecha
- nivel de agua (h), medido en el punto de referencia
- contenido de agua (A) de la superficie del perfil (perfil de medición)
- velocidad promedio de la corriente (V_m)

En base a estos datos se calcula el caudal como sigue:

$$Q = A \cdot V_m \text{ [m}^3/\text{s]}$$

En detalle se proponen las siguientes medidas:

Río Confuso

Para la medición del caudal desde el puente debe elaborarse el perfil en el lado occidental del puente, mediante sondeos a distancias de 3 m. Se recomienda realizar las mediciones de la velocidad de la corriente en la marca V_2 con la boya de madera o la boya de cadena (véase fig. 2).

Río Aguara Guazú

En ese punto del río la determinación del caudal desde el puente no es posible, debido a que no presenta un trayecto recto.

Sin embargo, en la imagen satelital se puede observar un trayecto recto del río en el lado occidental del puente, donde se puede llegar con una lancha.

Río Negro

Hacia el borde occidental del puente se encuentra un lugar adecuado en el cual pueden realizarse mediciones del aforo con el molinete. Se han realizado las primeras mediciones en las fechas 28.03 y 06.04.1995. El punto de referencia para el nivel del agua es el borde occidental del puente. El perfil debe elaborarse

mediante determinación del nivel o sondeo.

Río Montelindo

En el lado occidental del puente se encuentra un trayecto recto del río en el cual pueden realizarse las mediciones del aforo con el molinete. El río, sin embargo, se encontraba muy sucio en fecha 28.03.95 (ganadería, CE 15.680 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El 05.04.1995 se ha realizado una medición del aforo con el molinete (CE 21.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Falta determinar el perfil del río a lo largo del puente.

Río Siete Puntas

Una determinación del aforo en el puente llevaría a resultados erróneos. Por ello, se debe intentar encontrar un lugar, río abajo, adecuado para la medición. Podrá verse dificultada la entrada en el río debido a las pirañas.

Río Verde

El Río Verde llevaba poca agua, en fecha 28.03.95. Su aforo se determinó con un método simple (método del palito), dando un resultado de 0.2 m^3/s . Se debe encontrar un mejor lugar hacia al este, debido a que este punto corresponde al trayecto superior del río y es atravesado por la ruta. Se ha determinado el perfil debajo del puente, pero no se pudo fijarlo claramente en relación a un punto de referencia.

4 METODOS DE MEDICION A SER APLICADOS

La manera más segura de determinar la velocidad de la corriente es la medición con molinete o - como sustituto - la medición con la boya de madera, una boya cuya parte más grande y en consecuencia, más pesada, se sumerge en el agua. Debe alcanzar una profundidad de sumersión media de 0.6 p, de manera que la velocidad de la corriente corresponda directamente a V_m . En caso de una alta velocidad de la corriente, puede suponerse que se presentan, tanto vertical como temporalmente, una variación en los contenidos de sal. Por ello, en caso de un caudal abundante, se debe medir tanto la CE como V a diferentes profundidades.

4.1 Método de observación de un río en un puente

Se han colocado marcas en todos los puntos de monitoreo a efectos de medir la velocidad de la corriente en el mismo lugar. El trayecto que se utilizó para realizar las mediciones fue el puente, de alrededor

de 9 m de ancho, en la Ruta Transchaco. Además, se deben realizar mediciones en cada lugar de observación así como también en los bordes del río a efectos de obtener, con el tiempo, un perfil representativo. El punto de referencia para las mediciones en el puente siempre es el extremo suroccidental del mismo.

Para la medición de la velocidad V debe aplicarse también la boya de madera o la boya de cadena (véase figura) a efectos de aproximarse lo máximo posible a la velocidad promedia V_m . Si se aplica un simple cuerpo flotante (lata de cerveza vacía, una rama, pasto, papel, etc.) se debe multiplicar V con 0.75, debido a que la velocidad del caudal es mayor en el medio del río. Para obtener la velocidad promedia se debe multiplicar la profundidad del agua p, medida desde el fondo, con 0.6.

4.2 El método de medición de dos puntos

Este método utiliza exclusivamente el molinete. En un perfil, con distancias de 2 a 3 m, se mide la velocidad de la corriente multiplicando la profundidad del río con 0.2 y 0.8. En caso de que el río presente profundidades menores a 0.5 m se multiplica por 0.6 p.

Después de evaluar los datos, se obtiene el perfil bajo el agua (A) y la velocidad de la corriente V_m . Este método fue practicado con la contraparte y se describe en el Anexo. Ambos métodos fueron descritos por Antonio Medina Netto y Daniel Valdez (contrapartes) con dibujos y texto.

No se detallarán en este trabajo otros métodos para la determinación del aforo, como por ejemplo presas. Pueden obtenerse informaciones sobre el tema en la publicación del autor del presente informe en «Streamflow measurements», la que por el momento está editado en idioma inglés.

5 PROPUESTAS

5.1 Para el futuro procedimiento

Se recomienda seguir realizando las mediciones mensuales, midiendo adicionalmente los parámetros, arriba mencionados, de V_m y del ancho del río. La tarea más importante en el futuro próximo es la elaboración de una curva de aforo para todos los ríos. Se ha iniciado ya esta tarea en el Río Negro y el Río Montelindo. En caso de que varíen mucho los niveles del agua deben realizarse mediciones con molinete, a efectos de poder elaborar una curva.

El nivel del agua h en la curva de aforo (h contra Q) se determina desde el punto de medición en el puen-

te, de manera que a todos los niveles de agua ya medidos puede agregarse el correspondiente valor de Q (retrocálculo).

Sin embargo, puede ser que en caso de un refluo, causado por el Río Paraguay, reine una velocidad de caudal relativamente baja con un nivel de agua elevado, de manera que la curva de aforo puede adoptar un segundo valor de Q . Por ello, se debe tener en cuenta el nivel del Río Paraguay.

Todos los datos deben ser integrados en forma adecuada en un banco de datos para poder evaluarlos sin mayores problemas. Por ello, se propone el banco de datos de la BGR, HYDAT, porque los datos de los que dispone el Proyecto pueden ser introducidos en forma relativamente fácil en este banco de datos.

Para futuras evaluaciones deberían conocerse también las áreas de influencia de los sistemas de desagüe.

A efectos de un mejor panorama se recomienda la elaboración de un mapa para cada punto de medición, incluyendo un plano de ubicación.

5.2 Para la evaluación

Debe investigarse la relación existente entre los cuatro parámetros más importantes h , V , Q y EC para poder deducir aportes y extracciones de sales y así poder determinar las cantidades de agua para consumo humano y animal en las diferentes estaciones del año. Posiblemente un diagrama h/V contra CE o Q contra CE ya arrojaría un cuadro interpretable. El límite de agua para consumo animal oscila entre 2.500 y 8.000 $\mu S/cm$.

5.3 Para la instalación de un flujómetro

Con la instalación de un flujómetro se puede obtener información sobre el comportamiento del aforo de los ríos. Observaciones esporádicas, como fueron realizadas hasta ahora, sólo son pruebas momentáneas y pueden distorsionar el cuadro. En un río debería contarse, por lo menos, de un flujómetro, inclusive con medidor de conductividad eléctrica. Dado que la instalación debe estar asegurada contra robo y otros daños, debe instalarse en un lugar donde se puede encargar a los pobladores el cuidado del equipo. El

Río Negro ofrece esta posibilidad, además de ser representativo debido a su ubicación. La instalación en el soporte de un puente no es posible por las fuertes vibraciones que causa el tránsito de vehículos pesados.

Los costos de una estación de medición con registro continuo del nivel de agua y la conductividad eléctrica alcanzarían alrededor de DM 10.000.- sin costos de construcción e instalación.

Lo más fácil por el momento, sería instalar un listón de medición y poner a disposición de un poblador un medidor de la conductividad eléctrica. Esta persona debería realizar mediciones, por lo menos, dos veces por día.

6 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE MEDICION

Como ya fuera mencionado, la interpretación de los resultados podrá realizarse sólo desde la BGR ya que se precisa de un hidrogeólogo experimentado en esta área de trabajo. Una evaluación, por el momento, aún no es posible debido a los datos no muy abundantes e incompletos. A lo mejor se podrán observar tendencias o ciertos comportamientos (véase más arriba).

7 FORMACION DE LA CONTRAPARTE

Durante la estadía del autor se ha podido instruir a dos contrapartes, los señores Ing. Agr. (M.Sc.) Antonio Medina Netto y Est. Univ. David Valdéz. Una tercera persona, el Ing. Agr. Francisco Fracchia, pudo participar sólo por un corto plazo debido a un curso de GPS en los EE. UU. Los tres contrapartes, sin embargo están familiarizados con la siguiente materia:

- Observar, medir y recolectar los datos de los diferentes parámetros en los puentes
- Manejar los molinetes, es decir realizar y evaluar mediciones de aforo, así como calcular el aforo.

En general, los contrapartes están suficientemente capacitados para realizar independientemente los trabajos necesarios para la recolección, compilación y administración de los datos.

Hannover, 30 de Junio de 1995

Rüdiger Wagner

- Techn. Reg. Oberamtsrat -

7 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

KRUCK, WOLFGANG, 1994, Informe técnico del estado actual de los resultados de la fase piloto y de orientación del Proyecto «Sistema Ambiental del Chaco» así como del primer trimestre de la fase principal,

capítulo 4.2.1, página 75 - 92, Asunción

WAGNER, RÜDIGER, 1982, Streamflow Measurements, BGR, Bandung (se encuentra en el SACH).

CUSTODIO, E. y LLANOS, M.R., Hidrología Subterránea, Ediciones Quiroga, S.A.-Platon, 26 Barcelona 6, ISBN 84-282-0446-2 (Obra completa), ISBN 84-282-0447-0 (Tomo 1) (disponible en la DRH, Filadelfia).

3 El metodo de dos puntos

Este método requiere el cálculo de segmentos y el aforo medio Q_s de cada uno. La suma de estos nos da el Caudal Q_{total} .

El bosquejo siguiente es conforme al ejemplo, encontrándose el cálculo en el formulario adyacente.

Los segmentos son rectangulares e igualan el desnivelado del fondo del río en forma matemática. Ellos se componen de una línea perpendicular (la profundidad) y de dos distancias medias hacia las líneas adya-

centes:

$$a = p * (1/2 b_1 + 1/2 b_2) = p * 1/2 (b_1 + b_2)$$

El caudal medio en cada segmento está calculado a partir de velocidades medidas en 0.2 y 0.8 p:

$$V_m = 1/2 (V_{0.2} + V_{0.8})$$

El caudal Q_s de un segmento es el producto de V_m con a: $Q_s = V_m * a$

El caudal Q_{total} , entonces, es la suma de todos los Q_s

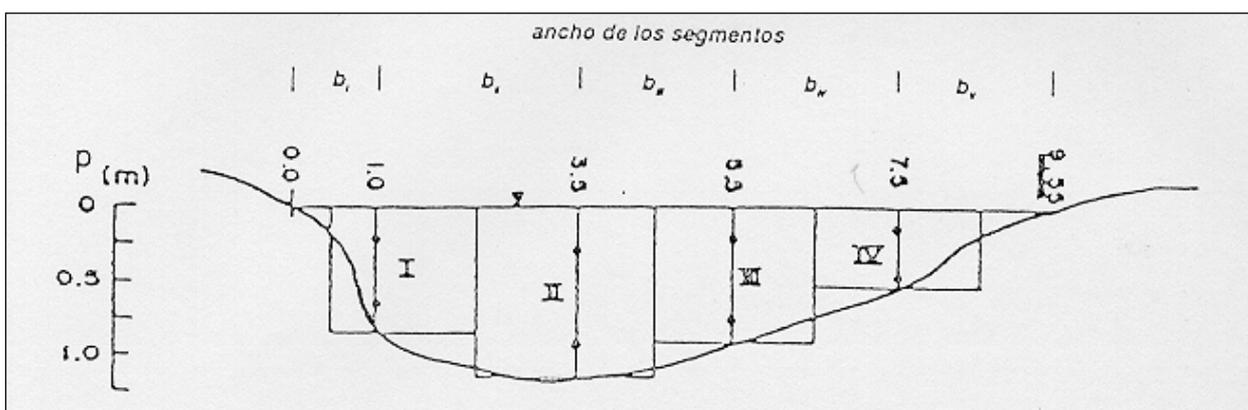
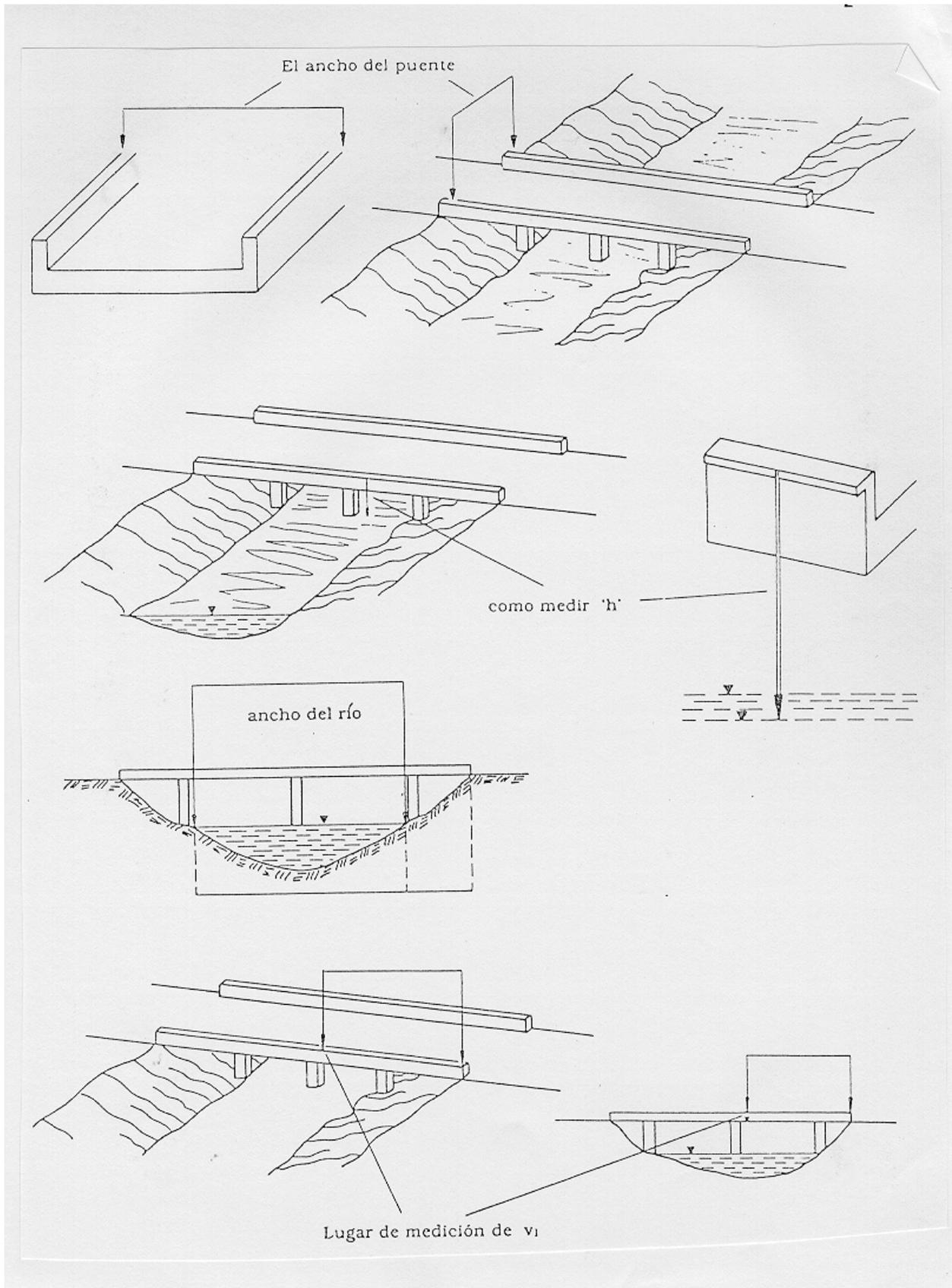


Fig.: El Método de dos Puntos (Ejemplo)

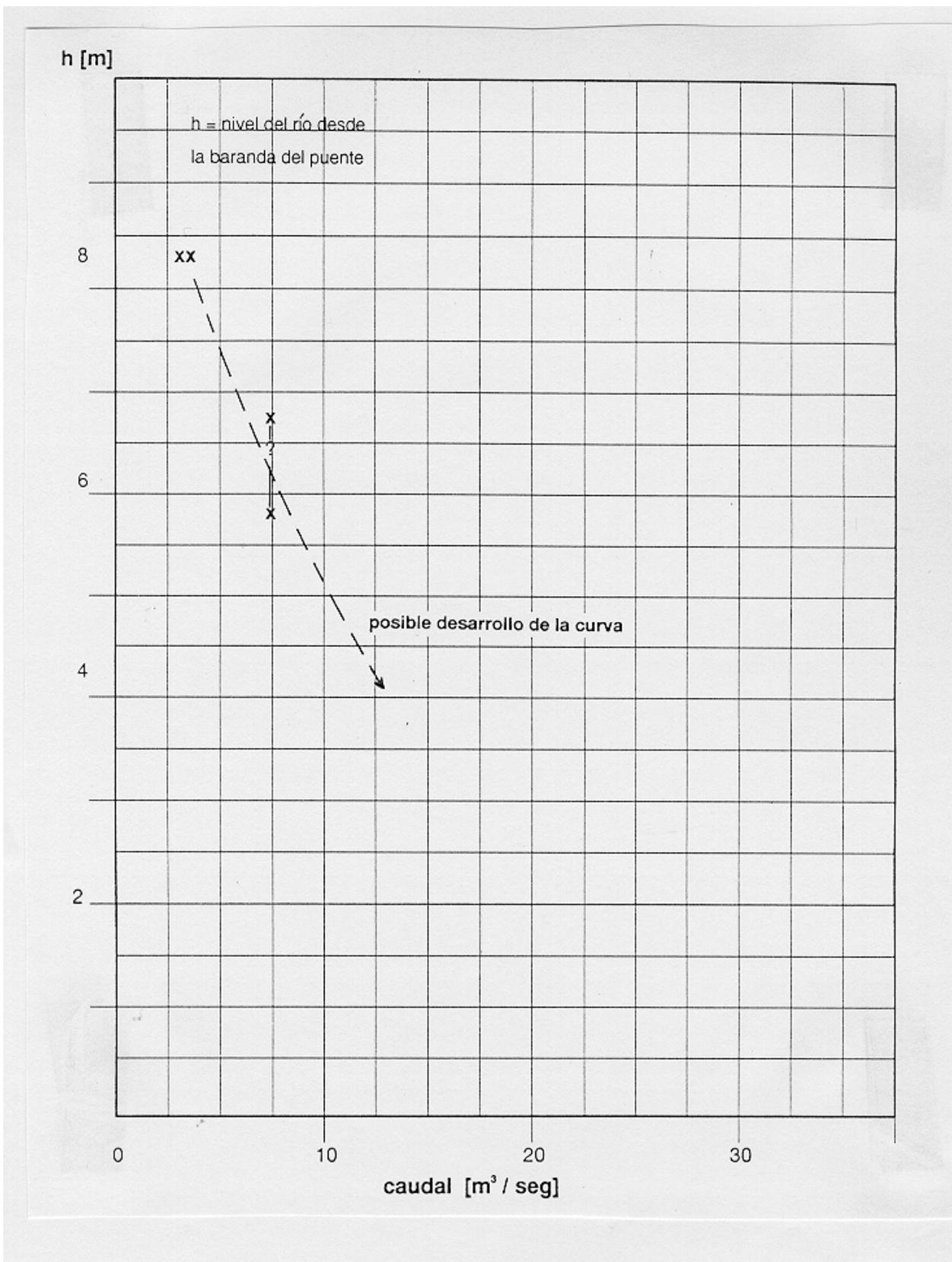
de los segmentos.

Explicaciones

- B = ancho del río
- b = ancho de un segmento
- a = área de un segmento
- p = profundidad del agua
- A = área del perfil del río
- V_m = velocidad media
- Q_s = caudal de un segmento
- Q = caudal total (Q_{total})
- n = coeficiente de hélice
- Q = caudal de la cuenca en $m^3/sg * km^2$
- h = nivel del río desde la baranda del puente



6 *Curva de aforo del Rio Negro*



7 *Fotos de puentes y de las mediciones con molinete*



Medición del nivel del agua desde la baranda del puente



Trayecto de medición (la sección recta del río en el fondo de la foto)



Medición del aforo con molinete en el Río Negro

8 Módulos de la hidrografía y de la meteorología para un banco de datos, preferiblemente HYDAT de la sección Hidrogeología de la BGR

A) ABFLUßMESSUNGEN

Nr. der Station _____ (Primärschlüssel)
 Name der Station _____ Koordinaten (UTM) rechts _____ m
 hoch _____ m

Name des Flusses _____

Flußbreite _____ m Datum _____
 Wasserspiegel ab Referenzpunkt _____ m EC _____ $\mu\text{S/cm}$
 (Sekundärschlüssel)

Meßflügel _____ Methode _____

Äußere Bedingungen:
 Flußsohle <C>: _____ Ufer <C>: _____ Vegetation <C>: _____ Wind <C>: _____
 t° C: _____

Abflußmenge (Übertrag aus Formular): _____ Q ltr / seg
 Einzugsgebiet A_c _____ km^2
 $q = Q/A_c$ _____ ltr / seg x km^2

Bemerkungen: _____

<C> = Kodetabelle

B) METEOROLOGIE

Nr. der Station _____ (Primärschlüssel)
 Name der Station _____ Koordinaten (UTM) rechts _____ m
 hoch _____ m

Meßgeräte:
 Regenmesser Regenschreiber Verdunstungstank div. Thermometer
 Sonnenschreiber Windmesser

Niederschlagsmessung Datum _____
 Menge pro Ereignis: _____ mm EC _____ $\mu\text{S/cm}$
 (Sekundärschlüssel)

Berechnen der Summen und Mittel

10 *Transcurso del viaje*

| | | | |
|----------------|---|----------------|--|
| 24.03.1995 | Llegada a Asunción desde Cochabamba | 30.03.1995 | Medición del aforo en el Río Siete Puntas y Río Verde |
| 25./26.03.1995 | Información sobre el Proyecto SACH en base al «Informe sobre los resultados de las fases de instalación y orientación del Proyecto «Sistema Ambiental del Chaco». | 01.-04.04.1995 | Elaboración de formularios e instrucciones de trabajo, concepción del informe |
| 27.03.1995 | Introducción y preparación en el Proyecto | 05.04.1995 | Determinación de puntos de referencia en los puentes sobre la Ruta Transchaco, mediciones con molinete en el Río Montelindo. |
| 28.03.1995 | Elaboración de un concepto de trabajo junto con la contraparte | 06.04.1995 | Mediciones con molinete en el Río Negro |
| 29.03.1995 | Viaje al campo, organización de las mediciones de aforo, mediciones en el Río Negro. | 07./08.04.1995 | Inicio de la elaboración del informe |
| | | 09.04.1995 | Viaje a Filadelfia / Chaco visitando al grupo de trabajo hidrogeológico alemán |

**Utilización de los Satélites de Observación
Meteorológica TIROS - N/NOAA - N para su
Aplicación en el Terreno**

por
Uwe Schäffer

INDICE

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Resumen | 203 |
| 2 | Introducción | 203 |
| 3 | Informaciones Generales | 203 |
| 3.1 | Trayectorias orbitales y Sampling global | 204 |
| 3.2 | Satélites de observación meteorológica TIROS - N/NOAA - N | 205 |
| 4 | Estructuras de Datos - AVHRR y su Aplicación General | 205 |
| 4.1 | Datos - LAC y datos - GAC | 205 |
| 4.2 | Posibilidades de aplicación de los canales - NOAA | 206 |
| 5 | Aplicación Internacional de Datos - AVHRR | 206 |
| 6 | Manejo del Programa ERDAS para el Procesamiento de Imágenes | 207 |
| 6.1 | Su aplicación en el terreno como ejemplo en el Paraguay Oriental | 207 |
| 6.1.1 | Análisis del potencial de vegetación (monitoreo de vegetación) | 208 |
| 6.1.2 | Deforestación por incendio | 208 |
| 6.2 | Límites en la aplicación de Datos AVHRR | 210 |
| 7 | Comparación de los Datos - AVHRR con otro Sistema de Datos | 210 |
| 8 | Resultados | 210 |
| 9 | Bibliografía | 211 |

Comitente Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe, Hannover

Autor del Informe Dr. Uwe Schäffer

Número de diario 5580/93

Número del Archivo 111739

Fecha Julio 1991

1 RESUMEN

Los satélites de observación meteorológica NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) son sistemas con órbitas polares. Cuenta con una resolución geométrica relativamente baja y una tasa de repetición alta; como corresponde a las primeras tareas previstas.

Desde hace algunos años se ha tratado de utilizar los datos de este sistema para evaluar el uso de la tierra, especialmente en agricultura, como por ejemplo la degradación, desertificación y tala de árboles en las zonas de bosques. Hasta el momento, los alemanes han realizado pocas investigaciones relacionadas a los datos de este sistema.

En el presente estudio, se ha analizado la información contenida en los datos NOAA, teniendo en cuenta la distribución de los bosques primarios y la propagación de las zonas deforestadas debido a incendios en el Paraguay Oriental. Los resultados se dejan ver, con la utilización de parámetros apropiados para el procesamiento de imágenes, cuando se puede determinar la extensión de los bosques primarios, las áreas de arbustos y las áreas utilizadas para la agricultura. Adicionalmente se identifican, en el marco de las áreas con agua, fuentes de incendios y vegetación reducida o no existente. La relación está básicamente asegurada a través del aprovechamiento de los datos existentes de los canales NOAA - 1 hasta el 4.

2 INTRODUCCION

La Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania con los países en desarrollo da mayor importancia a la problemática relacionada al medio ambiente. Para el inventario de superficies extensas en geología, edafología y en la aplicación agrícola para observación de variaciones de, por ejemplo, la vegetación, distribución de las superficies de aguas y movimientos de icebergs marinos, se está utilizando preferentemente datos satelitarios. Para ello están, sobre todo, los satélites operacionales de sensores terrestres de la serie LANDSAT con sus 2 sistemas de registro TM y MSS como así también la serie SPOT IMAGE. Hasta ahora no han sido utilizados, por la parte alemana, los datos de los satélites meteorológicos NOAA para aplicar en la agricultura, debido a la resolución geométrica relativamente baja de los elementos de las imágenes (1.1 Km x 1.1 Km).

La resolución temporal de los satélites operacionales de sensores terrestres no basta para las variaciones en la superficie de la tierra, cuya inspección es de suma importancia referente a los problemas del medio ambiente, o mejor dicho, la diferencia temporal es muy grande entre imágenes correspondiente a la misma área (mínimo 8 días).

En cambio, los satélites meteorológicos como el METEOSAT o NOAA, poseen una alta resolución temporal, pero por otra parte no tienen una resolución geométrica alta, que es necesario para la identificación de muchos fenómenos en la superficie de la tierra.

La resolución geométrica más alta de los satélites meteorológicos se encuentra en los datos NOAA. Cada día 2 registros en 5 canales espectrales son posible; aparte estos datos son económicos, en comparación con otros.

El sistema de satélites NOAA fue diseñado inicialmente para la observación de la atmósfera, hidrosfera y el pronóstico meteorológico para todos los países. Ultimamente se usaron los datos NOAA en forma exitosa para, por ejemplo, calcular la propagación y la intensidad de la vegetación en la zona de Sahel. Sobre todo los norteamericanos, ingleses y australianos hicieron trabajos pioneros en el campo del uso agrícola utilizando los datos NOAA (Capítulo 7).

Debido a los datos NOAA fue posible determinar algunas pautas sobre:

- Propagación e intensidad de la vegetación
- Tipos de suelos en base a una vegetación natural
- Deforestación por incendios
- Propagación de las superficies de agua teniendo en cuenta las inundaciones y la renovación de aguas subterráneas

El presente análisis demuestra con un ejemplo del Paraguay Oriental cómo los datos NOAA de la BGR, en lo referente a su aplicación en el terreno, pueden ser aplicados en el futuro para proyectos relacionados al medio ambiente. El procesamiento de datos se realizó con el sistema ERDAS (sistema digital para procesamiento de imágenes) de la BGR (Ref. sensores remotos)

3 INFORMACIONES GENERALES

La recolección de datos globales relacionados al medio ambiente es objeto de diversos proyectos de investigación. Programas finalizados, en curso, o futuros proyectos que contemplan la aplicación temática en el terreno o incluyan el tema adicionalmente, están representados en menor escala en comparación con otros enfoques temáticos.

Los sistemas de satélites apropiados para la aplicación en el terreno son:

| | |
|---------|--|
| LANDSAT | Land Remote Sensing Satellite (EOSAT, USA) |
| | Vegetación, aplicación en el terreno. |

Para un Sampling Global están dispuestos actualmente los satélites de observación meteorológica, los cuales disponen de diferentes sistemas interpretativos de sensores. Sistemas que sirven para la observación extraterrestre o que solamente poseen funciones técnicas satelitarias, no van a ser representados subsiguientemente.

| | |
|---------------|---|
| AVHRR | Advanced Very High Resolution Radiometer |
| TOVS | TIROS Operational Vertical Sounder |
| HIRS/2 | High Resolution Infrared Radiation Sounder |
| SSU | Stratospheric Sounding Unit |
| MSU | Microwave Sounding Unit |
| SSM/I | <i>Special Sensor Microwave Imager</i> : Sobre DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) Block 5D2 Satélite Fs. Lanzado el 19 de junio de 1987, equipado con 4 canales, sistema de sensores de microondas polarizados lineales y p ^á sivos. El sistema fue diseñado para el monitoreo de precipitaciones pluviales. |
| TED | Total Energy Detector |
| MEPED | Medium Energy Proton and Electron Detector |
| HEFAD | High Energy Proton-Alpha Detector |
| SBUV | Solar Backscatter Ultra-Violet Instrument |
| ERBSS | <i>Earth Radiation Budget Sounding System</i> : El sistema fue originalmente planeado para los satélites NOAA - F (luego redenido NOAA - 9), el segundo satélite de la generación - ATN (Advanced TIROS - N). A través de los documentos disponibles no se puede evidenciar si el sensor fue aplicado en el satélite NOAA - 10 o NOAA - 11 o en algunos de los posteriores. |

3.2 Satélites de Observación Meteorológica TIROS - N/ NOAA - N

Abastecimiento energético a través de unidades solares:

TIROS - N, NOAA - 6, NOAA - 7: 1260 Watt
ATN (NOAA - 8, NOAA - 12): 1470 Watt

Los sistemas de satélites de la generación ATN están equipados con los sensores mencionados arriba, con excepción de los SSM/I:

Resolución AVHRR:

“Swath Widths” 2600 Km, scanned Observation 2048 ángulo máximo de observación: 55.4°

La resolución en el Nadir equivale a 1.1 x 1.1 Km

Los siguientes datos corresponden a los satélites NOAA - 10 que están incorporados hasta ahora (anteriormente NOAA - G), NOAA - 11, (anteriormente NOAA - H) y NOAA - 12 (anteriormente NOAA - D).

NOAA - 10

Tiempo de operación 17 de noviembre de 1985 hasta la fecha

Orbita de la mañana (daylight descending, nighttime ascending)

Instrumentos AVHRR: 4 canales

NOAA - 11

Tiempo de operación 08 de noviembre de 1988 hasta la fecha

Orbita de la tarde (daylight ascending, nighttime descending)

Instrumentos AVHRR: 5 canales

NOAA - 12

El NOAA - 12 se encuentra en órbita, pero aún no está activado. El satélite está dotado seguramente con los mismos sistemas de sensores que el NOAA - 11.

4 ESTRUCTURAS DE DATOS AVHRR Y SU APLICACION GENERAL

4.1 Datos LAC y Datos GAC

Son accesibles dos versiones de los datos AVHRR. Existe la posibilidad de recibir directamente datos con alta resolución a través de una estación (“direct readout full resolution AVHRR” o también denominado “High Resolution Picture Transmission” = HRPT). Datos de este tipo son almacenados en 10 minutos a bordo del satélite y se pueden procesar de manera conjunta como los datos LAC (Local Area Coverage”), también denominado “Local Area Coverage Recorded HRPT AVHRR” = LHRR. La resolución del Nadir corresponde a 11 x 1.1 km. Los HRPT y los datos LAC tienen formatos idénticos.

Además existen los datos tipo GAC (“Global Area Coverage”), que se entiende como una forma reducida de los datos tipos LAC (“Global Area Coverage Recorded Reduced Resolution AVHRR” = GHRR). El registro de datos se reduce calculando el promedio de 4 Pixel a un valor Pixel a partir de cada cinco Pixel horizontales leídos en formato LAC, procesándose sólo cada tercera línea - Scan. En el Nadir resulta un

tamaño de Pixel aproximado, que lo denominan en la literatura como Pixel de 4 km. Se puede recibir de cada estación una imagen global en formato GAC.

Todos los datos AVHRR tienen la ventaja de ser muy económicos en comparación a los LANDSAT TM y los SPOT IMAGE, pero tienen la desventaja de presentar poca resolución. Además, no se puede conseguir datos antiguos, ya que no se han archivado.

4.2 Posibilidades de aplicación de los canales NOAA

Cada escena en particular tiene, en el caso de una estadística individual, el valor gris - Pixel (valor pixel) y el número Pixel (frecuencia). La estadística posee, sin embargo, características fundamentales en común. Diversas escenas NOAA o bien partes de las escenas pueden incluir esas características, si se dan situaciones similares en la superficie terrestre. Algunas de las características para los canales 1 - 5 están expuestas aquí (Tb. 1 y figuras 1 al 5).

El contenido de las informaciones de los canales 4 y 5

| | | |
|---------|---------------------|--------------------|
| Canal 1 | visible, rojo | 0.580 - 0.680 mm |
| Canal 2 | infrarrojo cercano | 0.725 - 1.100 mm |
| Canal 3 | infrarrojo "termal" | 3.550 - 3.930 mm |
| Canal 4 | infrarrojo termal | 10.500 - 11.500 mm |
| Canal 5 | infrarrojo termal | 11.500 - 12.500 mm |

Tabla 1 Lista de los canales AVHRR

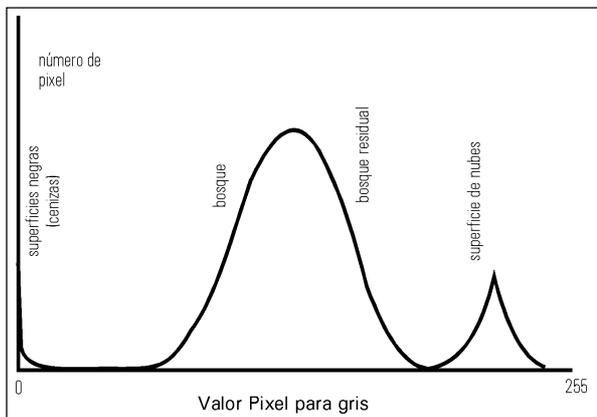


Fig. 1: Canal 1 (visible, rojo) 0.58 - 0.68 mm

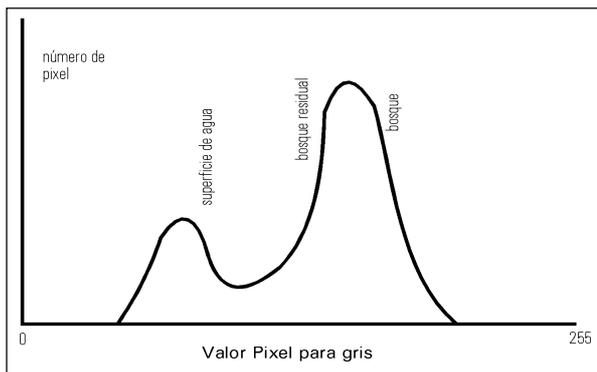


Fig2: Canal 2 (infrarrojo cercano) 0.725 - 1.1 mm

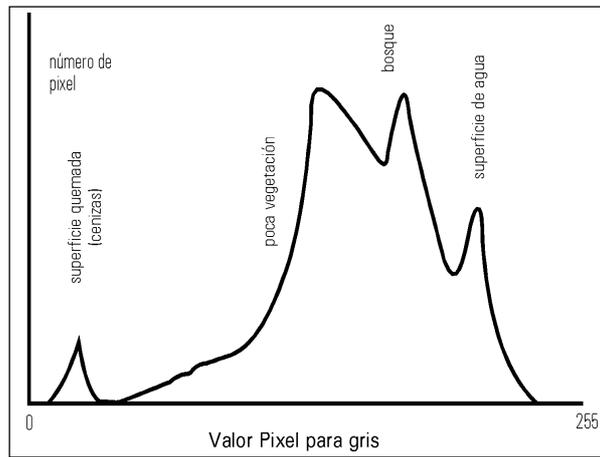


Fig. 3: Canal 3 ("termal")
El campo de onda indicado corresponde al campo transicional de la radiación reflectiva pura de la luz solar hacia la radiación en el campo termal del potencial termal (Emission) que irradia de la superficie de la tierra. Los usuarios AVHRR denominan ya al canal 3 como canal termal, ya que juega un papel importante en la identificación de incendios (Capítulo 5.1.2)

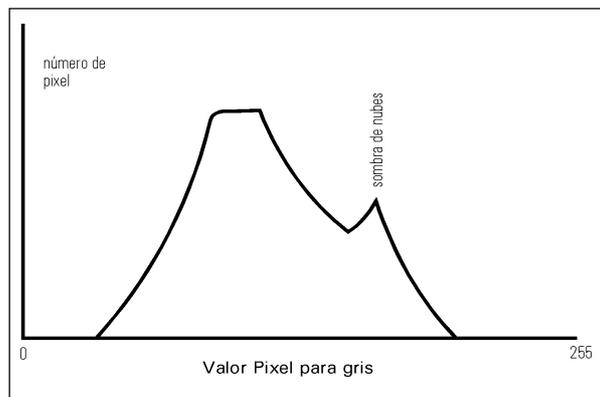


Fig. 4: Canal 4 (termal puro) 10.5 - 11.5 mm

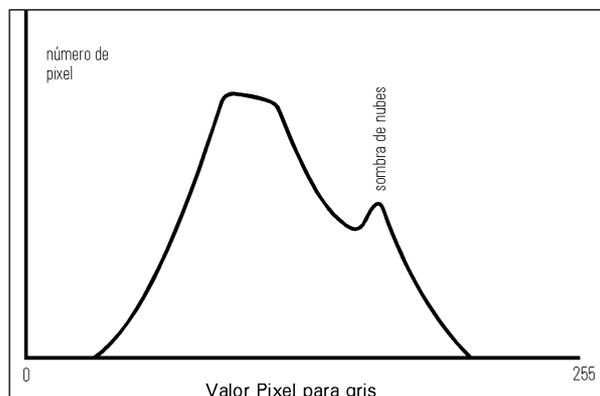


Fig. 5: Canal 5 (termal puro) 11.5 - 12.5 mm

son relativamente idénticos. Sólo para el canal 4 se distinguen momentáneamente, en la posición de investigación, posibilidades de aplicación en la agricultura (Capítulo 5.1.2)

5 APLICACION INTERNACIONAL DE DATOS AVHRR

La "International Journal of Remote Sensing" vol. 10 (1989) se dedicó exclusivamente a los usuarios de datos AVHRR, publicando temas relacionados a la aplicación de los mismos.

6 MANEJO DEL ERDAS PARA EL PROCESAMIENTO DE IMAGENES

La unidad de procesamiento de imágenes ERDAS de la BGR posibilita un menú rápido y amigable para el procesamiento de datos de imágenes satelitarias, como por ejemplo, los datos NOAA - AVHRR. Como ejemplo, se procesó la escena LAC PN090890 con fecha de recepción del 9 de agosto de 1990 (figura 6). Las autoridades encargadas de la venta/distribución en São Paulo (Brasil) no pudieron, por razones técnicas, enviar más datos actuales en ese momento para la investigación. Los datos se envían en cintas y éstos pasan a través de la estación de cintas, apoyada por ordenador, a los medios de almacenamiento del sistema

ERDAS. Según el tipo de almacenamiento se obtiene acceso a los datos a diferentes velocidades. ERDAS ofrece numerosas posibilidades para el manejo de datos. Se pueden llevar a cabo combinaciones de canales, correcciones geométricas, manipulaciones en histogramas y procesamientos de relaciones (ratio).

6.1 Su aplicación en el terreno como ejemplo en el Paraguay Oriental

Como ejemplo, se elaboró un bosquejo para obtener una visión general del estado de la vegetación en el Paraguay Oriental. Son conocidas, por su predominancia, las siguientes formas de vegetación: bosque, bosque en galería, bosque menos denso y campos de pasto. Un problema actual es la deforestación por incendio del bosque, que constituye la preparación para superficies de pasturas. La Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) elaboró un mapa de uso de suelo con ayuda de los datos de las fotografías aéreas (Fuente 1985) y de los datos satelitarios (LANDSAT MSS y LANDSAT TM S/W). Una investigación, con datos AVHRR (1990), relativamente nuevos, muestra el estado actual.



Fig 6 NOAA-11

6.1.1 Análisis del potencial de vegetación (monitoreo de vegetación)

TUCKER (1979) es uno de los pioneros en el monitoreo de vegetación con datos NOAA. La combinación lineal de:

infrarrojo cercano - rojo visible

correspondiente a los canales NOAA 1 y 2 (o LANDSAT - TM 3 y 4)

canal 2 - canal 1

da como resultado el llamado **índice de vegetación VI** ("vegetation index"). El valor varía según el lugar, el estado de la vegetación, el relieve y los componentes atmosféricos. Los datos transmisibles aplicables, válidos y muy aprovechados, se adquieren del índice de vegetación normalizado **NVI** ("normalized vegetation index") o del índice de la diferencia normalizada de vegetación ("normalized difference vegetation index"). En general se trata de la relación:

infrarrojo cercano - rojo visible/

infrarrojo cercano + rojo visible

o expresado de otra manera:

canal 2 - canal 1/

canal 2 + canal 1

La absorción de la clorofila en el canal 1 (rojo) y la alta reflexión de la clorofila en el canal 2 (infrarrojo cercano) son decisivos para el valor del índice.

Con ayuda de la unidad ERDAS se llevó a cabo una relación y una codificación de colores según el esquema indicado arriba (**NVI**). Luego se agregó el canal termal - 3 para diferenciar la vegetación, ya que sólo el índice de la vegetación (**VI** y **NVI**) nos permite la diferenciación de las formas de vegetación. Superficies de bosques densos tienen (bajo condiciones de vientos relativamente calmados) una alta radiación en comparación con, por ejemplo, bosques menos densos o superficies de pasturas, a pesar que pueden mostrar índices idénticos. La causa es la distribución de la temperatura en el suelo y por encima del suelo. Se asignaron colores adicionales a las intensidades termales medidas, resultando una imagen donde se puede diferenciar (Hoja Nro. 1 adjunta) superficies de bosques, superficies de pasturas, superficies con escasa vegetación y superficies de agua.

A través de una clasificación del contenido de datos se desarrolló, con ERDAS, un mapa temático, donde se expone sólo 5 clases: bosques, superficies de pasturas, vegetación seca o muerta, agua y superficies no definidas (Anexo Nro. 2). Como superficies no definidas se pueden presentar: vegetación muy madura, vegetación escasa y otras clases de vegetación. El verdadero propósito de esta clasificación consiste

en una comparación de los resultados obtenidos usando los datos NOAA con el mapa de aplicación en el Paraguay Oriental de 1990 (Anexo Nro. 3). De esta comparación, resultan graves diferencias en la vegetación que indican una deforestación progresiva.

6.1.2 Deforestación por Incendio

DOZIER (1981) y MATSON y DOZIER (1981) desarrollaron un algoritmo de identificación de incendio (Algoritmo de Dozier). Los componentes son los datos de los canales NOAA 3 y 4, que se encuentran en la así llamada "ventana de vapor de agua" del espectro electromagnético. Con ayuda del Algoritmo de Dozier se pueden determinar los "hot spots" de diversas temperaturas y extensión.

Al principio se consideraron los canales termales de la Serie NOAA para la determinación de la temperatura del agua. Con la ayuda del canal 4, solamente se obtuvieron datos representativos en la recepción nocturna, ya que la reflexión solar en la parte de ondas cortas del canal termal 3 está produciendo mucha interferencia. Los canales 4 y 5 (disponibles a partir de NOAA 7, con excepción del NOAA 10) permiten la determinación de la temperatura del agua de noche y de día.

0,5 % de proporción de la luz solar cae en el campo 3.5 - 4.0 mm. Por motivos aún no aclarados, las superficies de nubes pueden reflejar una gran parte de IR y así producir los llamados *pseudo-hotspots*. La eliminación de reflejos altos de nubes pueden conducir a una disminución o una selección de señales de fuego o incendios. El problema no aparece en la recepción nocturna.

Aerosoles de fuegos (partículas) poseen tamaños de 0.1 - 0.5 mm (McMAHON 1983). De ese modo es de esperar la absorción en el campo visible (canal 1, 0.58 - 0.68 mm), mientras que no es posible ninguna absorción en el campo termal (a partir del canal 3 con ³ 3.55 mm). Así pues, el humo "seco" es transparente para el IR. El humo "húmedo" es por el contrario opaco para IR y TIR, porque los componentes de humo se acumulan en grandes agregados (absorción). Sobre todo ocurre esto durante ausencia de viento, cuando el humo del incendio sube verticalmente y enmascara el lugar del incendio (Pirocumulus).

Los elementos que miden la radiación termal L (T) de los satélites se componen de:

1. Emisión "emissivity" dependiente de las longitudes de ondas y específico para los suelos, y
2. Respuesta "sensor response" sensor-específico.

Los sensores de los satélites miden una radiación emitida que, para cada canal alcanza una intensidad diferente dependiendo del sensor denominado "sensor-response".

Las diversas intensidades medidas $L_3(T)$ y $L_4(T)$ se pueden asignar a una temperatura T (K). El "sensor response" es dependiente de las longitudes de ondas y las funciones asignadas $L_j(T)/T(K)$ no son lineales (fig. 7)

La secuencia de las funciones de ambas variantes de los canales posibilita una división instantánea de los campos extremadamente calientes ("targets") y templados calientes de los fríos. Las intensidades medidas ($L_3(T) \gg L_4(T)$) pueden ser asignadas "targets", en los cuales el Pixel total (100%) puede llegar por encima de los 480 K. Raras veces se puede esperar que exista una resolución óptima de 1.1 x 1.1. km y una distribución homogénea de la temperatura. Los

"targets" extremadamente calientes y pequeños o los moderadamente calientes y grandes "targets" pueden conducir a contenidos idénticos de Pixel ("mixed pixel"). Una conclusión en relación al contenido de información en el campo del llamado "Campo Subpixel" lo pueden encontrar en DOZIER (1981) teniendo como base a dos parámetros. La relación de "target" - temperatura (T_j) y "Background" - temperatura (T_b) sin tener en cuenta los componentes atmosféricos.

$$L_j(T_j) = pL_j(T_j) + (1 - p) xL_j(T_b)$$

Donde $j =$ Canal 3 o 4 y $p = 0 \text{ } \leq p \leq 1$ corresponde a la parte proporcional del "target". Para el "background": T_b resulta $1 - p$.

Tan pronto sean suficientes las informaciones básicas con relación al "target" y su campo adyacente, se podrá definir el buscado "target" - temperatura. Se han representado ejemplos gráficos en DOZIER (1981) y MATSON y DOZIER (1981). En BRENT (1973) se pueden encontrar soluciones puramente matemáticas a los problemas no lineales de funciones o ecuaciones.

Son interesantes, para la aplicación en el terreno, las informaciones sobre las fuentes de incendios actuales, como los incendios de bosques y de estepas. La forma y la temperatura del fuego dependen de la forma de vegetación y del estado del tiempo. Los estudios terminados, mencionados arriba, comprueban un extenso campo de aplicación en la identificación de incendios.

En el ejemplo, en el Paraguay Oriental, se ensayó las posibilidades de los datos NOAA en el marco de la investigación actual, también se pudo localizar los incendios actuales o bien los "hot - spots" con ayuda de la unidad de procesamiento de imágenes BGR - ERDAS.

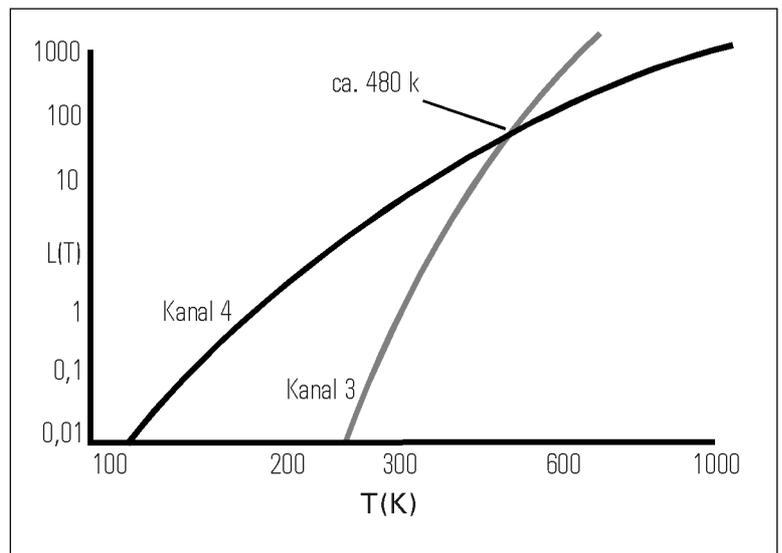


Fig. 7: $L_j(T)$ sobre $T(K)$ para los canales AVHRR 3 y 4 (según DOZIER 1981)

Como modelo sirvió la escena AVHRR PN090890. LAN del 9 de agosto de 1990 (imagen de día). A través de esta escena se elaboró un área parcial del Paraguay Oriental en forma subsecuente corrigiéndose geométricamente con ERDAS.

Se construyó una imagen - ratio de los canales 3 y 4. De los datos primarios se deducen nuevos contenidos de datos para cada Pixel, que dan, a través de cálculos, valores ≤ 1 o valores ≥ 1 . Solo los Pixel cuyos valores fueron ≥ 1 alcanzaron la máxima claridad "pixel value" en rojo. Junto con la representación en verde (5.1.1) del potencial de vegetación, se localizaron "hot spots". A través de la comparación de más registros se podría discutir sobre las características de los "hot spots".

Los "hot spots", que aparecieron en varios registros, podrían ser, por ejemplo: fuentes de calor permanentes de origen industrial. Se sospecha de una deforestación por incendio cuando los "hot spots" se acumulan en sitios marginales de los bosques y aparecen sólo una vez. La diferencia entre la deforestación por incendio y el incendio de campos cultivados está en la temperatura de la llama y en el color de las cenizas residuales. Las cenizas correspondientes a la deforestación por incendios es blanca (canal 1), mientras que las correspondientes a incendios de campos cultivados es negra. Esta diferencia esencial se puede repetir en muchas superficies de referencia. Cuando se toma las informaciones del canal 1 - NOAA, se diferencian en forma sencilla las superficies blancas y negras. El canal 3 - NOAA muestra superficies donde la radiación de la temperatura es baja y concordante y donde coinciden las superficies blancas y negras. En la cercanía inmediata aparecen Pixel con valores de temperatura alta que se originaron en el frente de las llamas. No es posible una estimación absoluta de la temperatura, porque faltan diversos parámetros (ver arriba).

6.2 Límites en la aplicación de los Datos AVHRR

Los límites inequívocos en la aplicación AVHRR resultan proporcionalmente del gran "sample - point", que posee una dilatación propia en el Nadir 1.1 x 1.1 km ("spatial resolution"). En el marco de la investigación actual se obtiene informaciones insignificantes en el campo "Sub Pixel" con, por lo menos, 2 registros de datos "multi temporales" (identificación de incendios y vegetación). Los datos digitales de distintas órbitas satelitarias pueden ser sobrepuestos a una concentración del contenido de Pixel en forma condicionada. De este modo, se puede aprovechar la ventaja de la alta frecuencia multi temporal en, por ejemplo, la identificación de formas de vegetación. A través del ángulo de recepción y de la órbita del NOAA, van a ser representados, en forma menos frecuente, las áreas cercanas a la línea ecuatorial que las situadas en los polos. La característica de la órbita de los satélites NOAA impiden un solapamiento de los campos de observación entre 2 órbitas consecutivas en las cercanías de la línea ecuatorial. En la misma línea ecuatorial se presenta una zona sin cobertura de cerca de 250 km en dirección Este - Oeste, que va disminuyendo según vayan subiendo los valores de latitud (hacia el N y S). Con distancias mayores del Nadir disminuye la resolución del Pixel hasta 4 x 1.1 km en la zona marginal del campo tratado por el scanner. En las zonas marginales de observación aumentan las influencias por el aumento del efecto del filtro a través de la atmósfera (señal de debilitación) y los problemas de las correcciones geométricas dificultan o impiden una evaluación profunda y sensata de los datos.

7 COMPARACION DE LOS DATOS AVHRR CON OTROS SISTEMAS DE DATOS

Es posible el monitoreo de la vegetación con LANDSAT y SPOT. Se llevó a cabo en algunos casos, sin embargo, el precio elevado de los datos SPOT es una clara desventaja frente a los datos NOAA, que son más económicos.

Un LANDSAT THEMATIC MAPPER o un SPOT IMAGE no son recomendables para la observación e identificación de incendios ya que los mismos son de muy poca duración y el LANDSAT y SPOT tienen una baja tasa de repetición. Sin embargo las superficies de incendios se dejan ver con TM, ya que la vegetación se elimina (estará ausente) relativamente a largo plazo (Informe Obervolta, BGR, 1978; WAR et al., 1978).

8 RESULTADOS

Los satélites meteorológicos NOAA poseen 5 canales de recepción, de los cuales los canales 1 al 4 son idóneos para la aplicación en el terreno.

La clasificación realizada de los contenidos de datos de los 3 primeros canales NOAA con el sistema de procesamiento de imágenes ERDAS, posibilitó la elaboración de mapas temáticos de varias formas de vegetación. El mapa temático confirma una deforestación progresiva en la zona de la investigación del Paraguay Oriental, que hasta ahora no fue documentada a través de otros métodos. Un procesamiento estándar de los datos es prácticamente inútil para la problemática en la aplicación en el terreno. La diferencia necesaria de las formas de vegetación no se pudo realizar a través del llamado índice de vegetación, que se calcula y presenta a través de los canales 1 y 2. En el marco de la investigación y de los procedimientos desarrollados se eligieron superficies referenciales y se procesó informaciones adicionales del canal 3 NOAA. Se enfatizó el cambio de la estadística de los datos. Solamente a través del procesamiento interactivo de los datos (procesamiento de imágenes e interpretación de las fases de trabajo) se pudo demostrar que se puede hacer una clasificación profunda y sensata de los formas de vegetación (Cap. 5.1.1).

La identificación de superficies deforestadas por incendios o de campos cultivados incendiados se pueden realizar con ayuda de los satélites NOAA. Es posible llegar a conclusiones (Cap. 5.1.2) acerca del tamaño y tipo de incendio, teniendo a mano los datos de la temperatura de los incendios (canal 3 y 4) y, de las características de reflexión de las cenizas residuales (canal 1).

Por causa de la baja resolución y de la deformación marginal de las escenas NOAA se deben usar, en lo posible, franjas de imágenes centrales (en dirección de vuelo de los satélites).

En comparación con los sistemas de muy alta resolución LANDSAT - TM y SPOT IMAGE, es preferible la utilización de los datos NOAA para el monitoreo de las superficies de vegetación, ya que la tasa de repetición es muy alta y los datos NOAA son esencialmente más económicos. La desventaja de la baja resolución geométrica de los datos NOAA se deben tomar en cuenta a la hora de la compra.

Como compromiso para el futuro, se podría imaginar un sistema intermedio, donde posean los LANDSAT - TM y los SPOT IMAGE una más alta tasa de repetición y los NOAA una mayor resolución.

Uwe Schäffer

9 BIBLIOGRAFIA

- ALLISON, L.J. and SCHNAPF, A., (1982), *Manual of Remote Sensing*
- BARRET, E.C.C, KIDD, C. and BAILEY, J.O., (1988), The Special Sensor Microwave Imager; a new instrument with rainfall monitoring potential. *International Journal of Remote Sensing* 9, 12, 1943 - 1950.
- BRENT, R.P. (1973), Some efficient algorithmus for solving systems of nonlinear equations. *SIAN J. Numerical Anal.* 10, 327 - 344.
- DOZIER, J. (1981), A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11, 221 - 229. Algorithmus specified for deducing size and temperature of sub-pixel temperature fields from 2+ IR channels and for making atmospheric corrections in AVHRR data. Fire not explicitly considered.
- GTZ Map (1984 - 1985), Misión Forestal Almanca (GTZ), Uso Actual de la Tierra, República del Paraguay, Región Oriental, 1:500.000.
- HOLBEN, B.N. /1986) Characteristics of Maximum Value Composite Images from Temporal AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 11, 1417-1434.
- HOLBEN, B.N. KAUFMANN, y.j. and KENDALL, J.D., (1990) NOAA 11 AVHRR Visible and Near IR Inflight Calibration. *International Journal of Remote Sensing* 11, 5, 1511 - 1519.
- IVERSON, L.R., COOK, E.A. and GRAHAM, J.D., (1989), A Technique for extrapolating and Valididating Forest Cover Across Large Regions. Calibrating AVHRR Data with TM Data. *International Journal of Remote Sensing* 10, 11, 1805 - 1812.
- JEWELL, N., (1989) An Evaluation of Multi-date SPOT Data for Agriculture and Land Use Mapping in the United Kingdom. *International Journal of Remote Sensing* 10, 6, 939 - 9 51.
- JUSTICE, C.O., TOWNSHEND, J.R.G., HOLBEN, B.N. and TUCKER, C.J., (1985), Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing* 6, 8, 1271 - 1318.
- JUSTICE, C.O., TOWNSHEND, J.R.G., and KALB, V.L., (1981), Representation of Vegetation by Continental Data Sets Derived from NOAA-AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing* 12, 5, 999 - 1022.
- KIDWELL, K.B., (1988), NOAA Polar Orbiter Data, Bericht in BGR, ef. 1.32, Fernerkundung
- KRAMER, H.J., (1981), Earth Observation - Remote Sensing Overview of Missions and Sensors, DLR - Bericht, in BGR, Ref., 1.32, Fernerkundung.
- MALINGREAU, J.P., LAPORTE, N. and GREGOIRE, J.M., (1990), Exceptional Fire Events in the Tropics; Southern Guinés January 1987. *International Journal of Remote Sensing* 11, 12, 2121 - 2123.
- MALINGREAU, J.P., and TUCKER, C.J., (1990), Ranching in the Amazon Basin; Large - scale Changes Observed by AVHRR. *International Journal of Remote Sensing* 11, 2, 187 - 189.
- MATSON, M. and DOZIER, J., (1981), Identification of Subresolution high Temperature Sources Using a Thermal IR Sensor. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47, 1311 - 1318.
- Dozier's algorithm adapted for sub-pixel hotspots applied to oil flares in Persin Gulf. Industrial hotspots near Detroit identified.
- MATSON, M. STEPHENS, G. and ROBINSON, J., (1987), Fire Detection Using Data from the NOAA - N Satellites. *International Journal of Remote Sensing* 8, 7, 961 - 970.
- MUIRHEAD, K and CRACKNELL, A.P., (1985), Straw Burning over Great Britain Detected by AVHRR. *International Journal of Remote Sensing* 6, 5, 827 - 833.
- Hotspots counted on three rectified **AVHRR LAC** scenes of U.K. to ecaluate straw burning and extent of compliceance with bans on burning on certain days.
- OBERVOLTA - BERICHT, BGR (1978), Geowissenschaftliche Erkundung Afrikas mit Satellitenbildern (BMZ Projekt N. 7522105), Abschlußbericht BGR, Hannover 1980.
- ROBINSON, J., (1981), Fire from Space: Global Fire Evaluation Using Infrared Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing* 12, 1, 13 - 34.
- SPITZER, D, LAANE, R. and ROOZEKRANS, J.N. (1990), Pollution Monitoring of the North Sea Using NOAA/AVHR Imagery. *International Journal of Remote Sensing* 11, 6, 967 - 977.
- SING, S.M., (1988), Lowest Order Correction for Solar Zenith Angle to Global Vegetation Index (GVI) Data. *International Journal of Remote Sensing* 10, 11, 1565 - 1572.

TOWNSHEND, J.R.G., CHOUDHURY, B.J., GIDDINGS, L., JUSTICE, C.O., PRINCE, S.D. and TUCKER, C., Comparison of Data from the Scanning Multifrequency Microwave Radiometer (SMMR) with Data from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) for Terrestrial Environmental Monitoring; An Overview. *International Journal of Remote Sensing* 10, 10, 1687 - 1690.

TOWNSHEND, J.R.G. and JUSTICE, C.O., (1986), Analysis of the Dynamics of African Vegetation Using the Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 11, 1435 - 1445.

TUCKER, C.J. (1979), Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing Environ.*, 8, 127.

VIEHOFF, T., (1990), A Shipborne AVHRR - HRPT Receiving and Image System for Polar Research. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 5, 877 - 886.

WARD, S.A., WEAVER, R.E. and BROWN, R.W., (1989), Monitoring Heather Burning in the North York Moors National Park Using Multi-temporal Thematic Mapper Data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 7, 1151 - 1153.

Informe de un Viaje Técnico

por
Franz Böker

INDICE

| | | |
|--------------|---|------------|
| 1 | Resumen | 215 |
| 2 | Introducción | 215 |
| 2.2 | Objetivo | 215 |
| 2.3 | Area de Trabajo | 215 |
| 3 | Realización | 216 |
| 3.1 | Elaboración de Fotografías Aéreas | 216 |
| 3.1.1 | Equipo | 216 |
| 3.1.2 | Realización de los Vuelos | 216 |
| 3.2 | Elaboración de grabaciones con video aéreo | 217 |
| 3.3 | Introducción y formación de los profesionales nacionales del proyecto en la técnica de vuelo con fines de elaboración de fotografías aéreas y grabaciones con video | 217 |
| 3.4 | Introducción y formación de los profesionales nacionales del proyecto al sistema Global de Posicionamiento - GPS para localización global | 218 |
| 3.5 | Acompañamiento técnico del equipo de procesamiento de datos y ayuda durante su instalación | 218 |
| 4 | Resultados de la Elaboración de Fotografías Aéreas | 219 |
| 5 | Recomendaciones | 223 |
| ANEXO | | 231 |
| | Introducción a la función del GPS | 231 |

| | |
|---------------------|--|
| Comitente | Ministerio para la Cooperación Económica (BMZ) |
| Autor del Informe | Franz Böker |
| Número del Proyecto | 90.2056.1 |
| Número del Archivo | 111 008 |
| Número del Diario | 6168 |
| Fecha | 25.02.1993 |

1 RESUMEN

En el proyecto de Cooperación Técnica «*Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección de los Espacios Naturales en la Región Occidental del Paraguay*» se elaboró imágenes de alta nitidez a través de grabaciones de video y fotografías aéreas con ayuda de un avión de un motor.

Para el Chaco, con su inaccesibilidad, las imágenes representan una posibilidad económica y eficiente para evaluar la característica de la cobertura superficial en las áreas elegidas. Las áreas pilotos fueron elegidas primeramente con ayuda de imágenes satelitarias LANDSAT Thematic Mapper. Las fotografías aéreas constituyen una información importante para el trabajo en el proyecto. La ubicación exacta de las localidades fue realizada con ayuda de un receptor GPS, el cual también fue utilizado para la navegación aérea. Los colaboradores están acostumbrados al material de las imágenes y lo están aplicando para la evaluación.

A pesar del corto tiempo de práctica, se pudo elaborar un cuantioso material de imágenes. Se realizó ensayos con los diferentes tipos de grabaciones en colaboración con los profesionales nacionales.

Con vuelos especiales para sacar fotografías aéreas de las áreas seleccionadas, se logró sólo un 10% de cobertura del área del proyecto. Los sobrevuelos realizados resultaron, sin embargo, exitosos como información complementaria entre las imágenes satelitarias y el "groundcheck".

Por causa de la entrega tardía del equipo del sistema de procesamiento de imágenes ERDAS se tuvo que abstener de la instalación de un banco de datos de imágenes y de la digitalización de grabaciones de videos. Esto se realizará en el futuro.



Fig. 1: Cessna 210 en acción

2 INTRODUCCION

2.1 Objetivo

Dentro del marco del proyecto: «*Inventario, Evaluación y Recomendaciones para la Protección de los Espacios Naturales en la Región Occidental del Paraguay*», el autor del presente informe fue encargado para la realización de los siguientes objetivos (resolución del presidente del día 15.07.1992; AZ: BZ 1.11-40 diario No. 2326/92):

- Elaboración de fotografías aéreas verticales formato 6 x 6 con película a colores y película infrarroja a colores en áreas elegidas;
- Elaboración de grabaciones de videos aéreos según los mismos criterios;
- Digitalización de las grabaciones de video con el equipo de procesamiento de imágenes ERDAS, a entregarse al proyecto;
- Instalación de un banco de datos de imágenes con ERDAS;
- Introducción y formación de los profesionales nacionales del proyecto en la técnica de vuelo con fines de elaboración de fotografías aéreas y grabaciones de video.
- Introducción y formación de profesionales nacionales del proyecto al sistema "Global Positioning System" (GPS);
- Acompañamiento técnico del equipo de procesamiento de imágenes y ayuda durante su instalación.

La misión se realizó entre el 10.08.1992 y el 12.10.1992 (incluye viaje de ida y vuelta).

2.2 Area de trabajo

La región occidental del Paraguay (Chaco) tiene una extensión de aproximadamente 240.000 km², está poco desarrollada y presenta escasa población; el Chaco Occidental representa 60% de la superficie del país, sin embargo solamente 2% de la población total está viviendo en esa región. Los terrenos aprovechables para la agricultura en el este del país no se pueden extender, así que la presión hacia los recursos naturales poco explotados del Chaco se esta incrementando constantemente.

Este proyecto intenta, entre otras cosas, la creación de una base para la planificación en la administración del Chaco, considerando sus recursos, y el apoyo a la «Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente» como contraparte del proyecto en la elaboración de un plan de ordenamiento regional.

La solución para tal fin, bajo las condiciones actuales, exige un levantamiento de datos a través de métodos de sensores remotos. Para el presente caso son indispensables los sobrevuelos de control. Por el tamaño del área del proyecto y la poca accesibilidad se puede lograr una cobertura extensiva únicamente a través del aire. En toda el área del proyecto existe solamente una ruta asfaltada que va desde Asunción hasta Mariscal Estigarribia. Por el contrario, en todo el Chaco existen cerca de 500 pistas de aterrizaje (con indicaciones de coordenadas). En las cercanías de Asunción hay dos áreas restringidas (SGR-7 y SGR-16), las cuales se pueden sobrevolar con permiso; a parte de esto no existen otras restricciones de sobrevuelo en toda el área del proyecto.

3 REALIZACION

3.1 Elaboración de fotografías aéreas

Equipo

Para la realización de los vuelos se usaron los equipos ya existentes en la sección Sensores Remotos de la BGR:

1. Cámaras 6 x 6 de fotografías aéreas Rollei 6008 con objetivos 50, 80, 150 mm y magazines para 120 y 70 mm de material de película.
2. Cámara de video1 Sony CCD (cámara de video a colores).
3. Soporte de cámara para el soporte externo (del avión).
4. Receptor GPS.
5. Paracaídas (equipo de seguridad para el manejo de las cámaras del soporte externo).

Fueron adquiridos para el proyecto:

1. Video grabadora para grabaciones de señales de video Hi8 y representación de imágenes con el monitor Sony.
2. Proyector de diapositivas 6 x 6.

Para tomas de las fotografías aéreas se alquiló en Asunción un avión (tipo Cessna 210 Centurión). Para exposiciones verticales se desmontó la puerta. Se instaló un soporte para las diversas cámaras, construido en el taller central de la BGR y ensayado antes de su aplicación en el proyecto.

Realización de los vuelos

En total se realizaron 11 vuelos en la región del Chaco, entre Asunción y Filadelfia, con una duración total de cerca de 25 horas. Las imágenes satelitarias sirvieron de base para la planificación de los vuelos. Con éstas fueron localizadas zonas problemáticas y definidas como objetivo de los vuelos. Como ayuda para la navegación sirvió el sistema GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS). Las coordenadas del área seleccionada fueron determinadas a través de las imágenes satelitarias y cartas topográficas y luego grabadas en el equipo GPS. En las localidades de destino, las coordenadas exactas fueron determinadas durante la realización de las exposiciones, luego fueron graba-



Fig. 2: Soporte de equipos con asiento y puerta desmontada de la Cessna 210

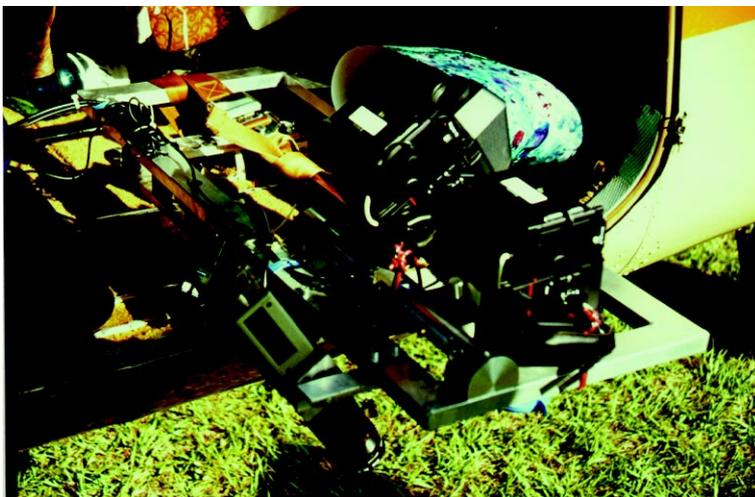


Fig. 3: Cámaras para fotografías aéreas montadas para exposiciones de 45 grados de vista inclinada y para exposiciones verticales. La faja de imágenes LANDSAT preparada para navegación.

das en el equipo GPS e impresas a la noche con ayuda de un procesador de datos. Así cada fotografía/imagen puede ser relacionada a su posición respectiva.

El registro preciso de zonas parciales del área del proyecto a través del aire condujo a la conclusión que la evaluación de imágenes satelitarias no basta para obtener informaciones correctas con respecto al área de estudio. Durante los vuelos se reconocieron numerosas áreas con variaciones en sus características naturales, de las cuales no hubo indicios en la imagen satelitaria (comparar con Fig. 5). Generalmente se puede verificar los cambios recientes solamente a través de observaciones directas durante los sobrevuelos, debido a las limitaciones en la resolución espacial y la desactualización de las imágenes satelitarias.

Se realizaron cinco vuelos con la puerta desmontada y con el soporte de equipos para exposiciones verticales e inclinadas (45° hacia adelante). Se usó película para diapositivas 6 x 6 y video con cassettes de Hi-8.

Las exposiciones verticales representan una importante fuente de informaciones porque se puede realizar, dentro de una fotografía, evaluaciones cuantitativas en relación a una superficie específica. En el ejemplo, la experta en botánica del proyecto puede identificar y contar las variadas especies de árboles. A través de la distancia focal del objetivo y la altura del vuelo se puede hallar la escala de la imagen representada según la fórmula:

$$M = h : f, \text{ con:}$$

| | | |
|---|---|-----------------------------------|
| M | = | el número de la escala a hallarse |
| h | = | la altura conocida del vuelo |
| f | = | la distancia focal. |

Se realizaron seis vuelos adicionales de mayor distancia sin soportes de equipo, condicionados por el mal tiempo. Todas las exposiciones fueron realizadas manualmente, en forma inclinada, desde la ventana. El objetivo de estas exposiciones fue obtener información con respecto a las condiciones reinantes en la vegetación y en el terreno, en igual que la verificación de exposiciones de esta clase para un posterior aprovechamiento en los trabajos del proyecto.

Las exposiciones inclinadas abarcan, en general, una mayor parte del terreno ;además es la manera más adecuada para el no-experto con respecto al reconocimiento de las características en la superficie. Para el profesional, encargado de la interpretación, las fotografías contienen mucho más dinámica, porque a tra-

vés de ellas es posible reconocer y analizar rápidamente relaciones y contextos en la naturaleza. Para determinaciones cuantitativas sin embargo, las fotografías son aptas sólo hasta cierto grado.

En las próximas páginas se representará algunos ejemplos de los sobrevuelos.

3.2 Elaboración de grabaciones con video aéreo

Las grabaciones de videos como método de sensores remotos, representan una metodología mucho mas económica en comparación a las fotografías aéreas. No se precisa revelación ni copias, y tampoco se pierde tiempo entre la grabación durante el vuelo, la observación y la evaluación.

Durante los vuelos realizados con soporte de equipos se llegó a grabar con cassettes de video Hi8 en varias posiciones de las cámaras de video:

- vertical
- inclinado (hacia adelante) con diferentes distancias focales de los objetivos (50, 80 y 150 mm).

Para la ubicación posterior se complementó constantemente las grabaciones con las posiciones GPS (cruce de caminos). Por causa de la entrega tardía del equipo ERDAS, se tuvo que abstener de la instalación de un banco de datos de grabaciones de video y de digitalización de grabaciones de videos seleccionados para su posterior evaluación y transformación en imágenes « reales » en papel.

3.3 Introducción y formación de los profesionales nacionales del proyecto en la técnica de vuelo con fines de elaboración de fotografías aéreas y grabaciones con video

Durante todas las planificaciones, preparaciones para el desarrollo de los vuelos y los trabajos posteriores se han incluido y instruido a los profesionales nacionales del proyecto.

La cooperación ha sido satisfactoria y solamente un contraparte ha resultado inepto para los vuelos en general, así que tuvo que ser suspendido de las siguientes etapas de formación.

3.4 *Introducción y formación de los profesionales nacionales del proyecto al sistema Global de Posicionamiento - Global Positioning System (GPS) para localización global*

Los profesionales nacionales del proyecto han recibido una introducción al funcionamiento y las aplicaciones del GPS y su especial importancia para los sobrevuelos del Chaco. El GPS representa un apoyo considerable para la navegación en el Chaco. Se ha ensayado y entrenado las siguientes posibilidades de aplicación:

- la navegación
- la determinación de posición
- el almacenamiento de los datos GPS.

La ilustración de la función del GPS se puede apreciar en el anexo.

3.5 *Acompañamiento técnico del equipo de procesamiento de datos y ayuda durante la instalación*

Para el proyecto se ha comprobado e instalado en Asunción un sistema de PC, en base a MS DOS. Descripción del equipo:

- Procesador PC 80486/33 Mhz

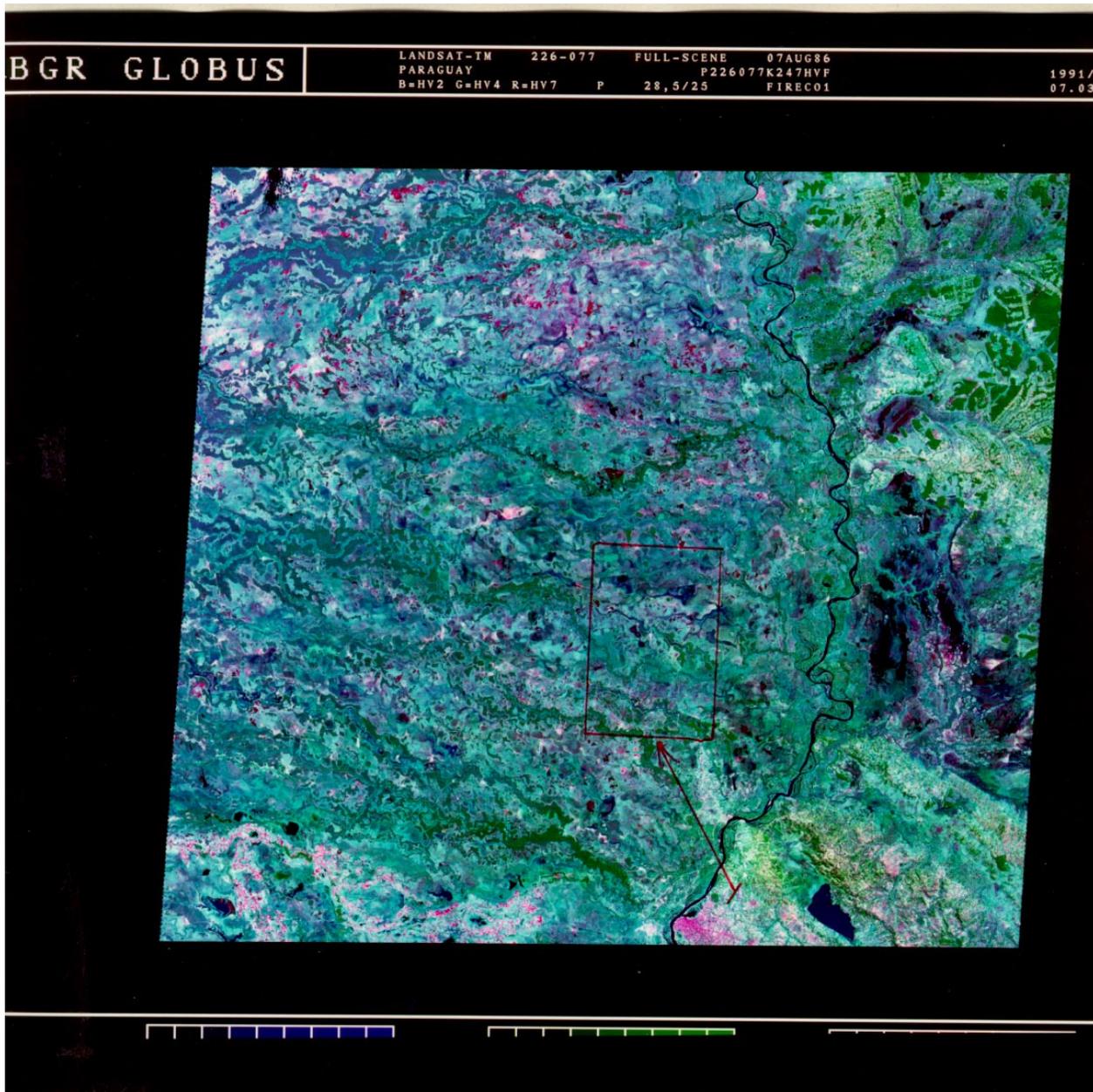


Fig. 4: Imagen satelitaria del Chaco Inferior; septentrional a Asunción, con el área de estudio marcada durante el sobrevuelo. Escala de imagen 1 : 1.000.000



Fig. 5: Río Confuso : desembocadura de un afluente, cuyas áreas ribereñas demuestran salinización. Altura de vuelo : 400 m.

- 4 MB RAM
- Disqueteras de 3,5" y 5,25"
- Disco duro 214 Mb/14 ms
- Monitor/SVGA
- UPS

El procesador de datos fue elegido para usar también con el equipo PC ERDAS-ARC/INFO ya instalado en la actualidad. Se pone énfasis en la creación de una segunda área de trabajo para realizar las digitalizaciones y para agilizar el almacenamiento de datos para el GIS.

Los colaboradores del proyecto Dr. Kruck y Dr. Hoffmann recibieron una introducción al manejo y aprovechamiento del PC y de los Laptops existentes.

4 RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

Durante los dos meses de estadía en el Paraguay se han realizado vuelos de obtención de fotografías aéreas en aproximadamente un décimo del área total del proyecto. Durante estos vuelos se han tomado 600 fotografías aéreas, formato 6 x 6, y realizado cerca de 5 horas de grabaciones de video.

Dos tercios (2/3) del material fotográfico e imágenes fueron realizados bajo condiciones meteorológicas

óptimas y un tercio (1/3) en condiciones menos favorables. La calidad del material permite el reconocimiento y la evaluación de áreas problemáticas, así como la determinación del tipo de vegetación. Entre tanto, las fotografías aéreas ya son aprovechadas por los colaboradores del proyecto según los diferentes objetivos de interpretación y de documentación.

La cooperación con los profesionales nacionales del proyecto ha sido muy buena; las introducciones han sido generalmente exitosas. Como resultado, los profesionales nacionales están capacitados para trabajar en forma independiente en los temas de posicionamiento con ayuda del GPS, navegación y manejo de las cámaras.

El sistema instalado en la PC ha resultado apropiado para las exigencias del proyecto y puede ser usado también por los profesionales nacionales.

Para las grabaciones panorámicas y estudios extensivos bastan grabaciones de video; para determinaciones cualitativas y cuantitativas de vegetación a través de análisis de imágenes, se precisan fotografías aéreas 6 x 6, porque facilitan imágenes de alta resolución para objetivos concretos con parámetros apropiados (altura de vuelo, tipo de objetivo, dirección de toma).

El soporte de equipo con su distribución de cámaras ha sido muy útil. La elaboración de exposiciones verticales y con ángulos de 45° (hacia adelante) exigen una abertura en el piso del avión o la instalación exte-



Fig. 6: Vegetación arbórea densa del Bajo Chaco en las cercanías del Río Paraguay (vista parcial de una exposición vertical con un objetivo de 50 mm). Altura de vuelo 350 m. Esta exposición es apta para la evaluación de la composición de la vegetación arbórea.

rior de cámaras. Como no se puede pensar en la adaptación temporal de estas exigencias en un avión alquilado, se ha desarrollado el soporte de equipo ya mencionado en el capítulo 2.1.1. El soporte facilitará la realización de diferentes acciones con diversos tipos de aviones.

Para la instalación del soporte externo del equipo se desmontó la puerta del avión; este hecho resultó ne-

gativo en la práctica, sobre todo en los casos de vuelos de mayores distancias y la superación de mayores alturas. Las condiciones de vuelo con la puerta desmontada y el manejo de las cámaras fuera de la cabina, son recomendables solamente para una menor duración de vuelo, p. ej.: para áreas del proyecto en las cercanías de una pista de aterrizaje se puede aplicar el sistema del soporte externo del equipo. Para áreas de



Fig. 7: Río Confuso con vegetación constituida por remanentes boscosos, pasturas y palmeras. Altura de vuelo: 500 m.

mayor extensión se recomienda, sin embargo, la instalación de cámaras dentro de la cabina del avión, - o como sustituto - la realización de exposiciones inclinadas desde las ventanas.

Como ya hemos mencionado en el capítulo 2.1.2., las imágenes satelitarias han servido como base para la planificación de vuelos, además se han aprovechado como ayuda para la navegación. Se mostró en la práctica, que imágenes satelitarias del tipo LANDSAT-TM

a una escala 1:250.000 son recomendables para vuelos de alturas mayores de 1.000 m y una escala 1:100.000 para alturas menores de 1.000 m.

El uso del GPS es indispensable para la navegación y la relación de las imágenes y fotografías con sus posiciones exactas, porque casi no existen puntos de referencia. Además existe solamente una unidad NDB (Non Direction Beacon), apto para la navegación a radio, en Filadelfia.



Fig. 8: Palmeras en el bosque parcialmente deforestado con paleoafluente (exposición inclinada con el objetivo de 80 mm). Altura de vuelo : 600 m.

5 RECOMENDACIONES

En caso de continuar con los vuelos para obtener fotografías aéreas, sería recomendable la adquisición de un avión usado, el cual debería reunir las siguientes características: p.ej.: Cessna 182 o 206, velocidad aproximada de 100 nudos; con una abertura en el piso para la instalación fija de cámaras para la toma de exposiciones verticales y con 45° de inclinación (hacia adelante).

Teniendo en cuenta la poca accesibilidad y las grandes distancias en el terreno, una aplicación más del avión, adicional a la toma de fotografías aéreas, sería como medio de transporte durante expediciones.

Los vuelos técnicos tendrían que ser realizados desde agosto hasta diciembre, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y el ciclo de vegetación.

Para la claridad y el aprovechamiento del material de sensores remotos se recomienda la creación de un archivo digital de imágenes en la PC. Este archivo tendría que ser organizado según las coordenadas geográficas y los criterios de cobertura superficial.

Franz Böker



Fig 9: Bajo Chaco, a la altura de la ruta a Filadelfia : bosque antiguo - verde oscuro; bosque reciente - verde claro. Esta exposición ilustra la característica del impacto antropógeno a través de terrenos cultivados, de pastoreo, áreas deforestadas e instalaciones con reservorios de agua. Altura de vuelo : 600 m.



Fig 10: Panorama del Bajo Chaco; en la parte superior de la exposición se puede apreciar la ruta entre Asunción y Filadelfia. Terreno de color verde claro : en su mayoría palmares; terreno de color verde oscuro : vegetación boscosa, densa. Altura de vuelo : 2,100 m.



Fig.11: Incendio en las cercanías del Río Confuso. Deforestación resultante de extensas quemadas está reduciendo gran parte de la vegetación natural. No se aplica control de parte de las instituciones encargadas de la planificación. Por el otro lado, también se están destruyendo terrenos no aptos para cultivos intensivos / extensivos. La detección de focos de fuego se puede realizar con éxito solamente a través de controles aéreos, o con ayuda de datos satelitarios. Altura de vuelo : 1.200 m.

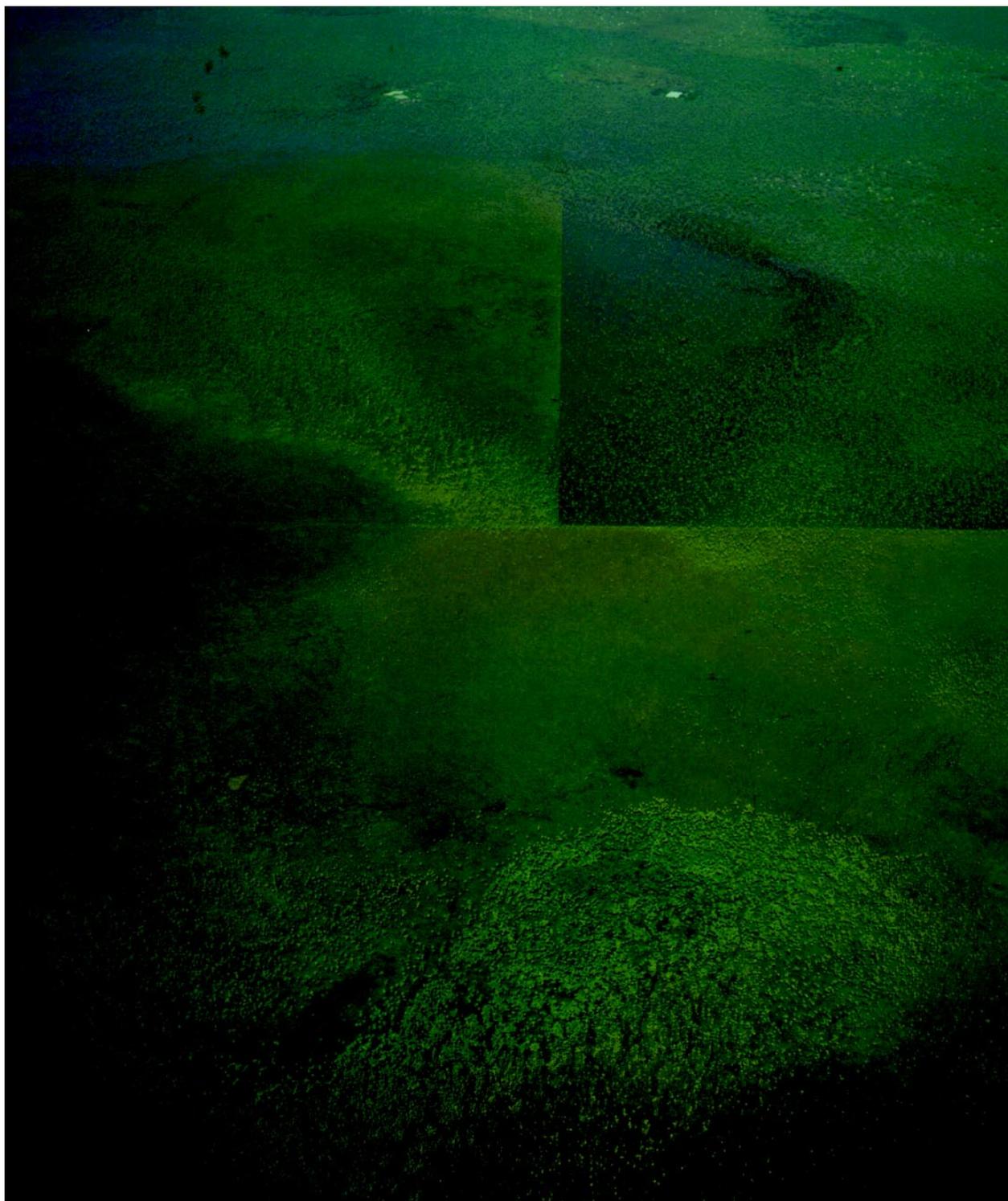


Fig.12: Chaco sureño en las cercanías del Río Negro: nótese en esta exposición las consecuencias de la acción antropógena con respecto al equilibrio ecológico; el desagüe artificial está creando cambios de vegetación. Altura de vuelo : 1.100 m.



Fig 13: Parte superior del Río Montelindo. La construcción de un camino causa estancamiento de las aguas superficiales (parte superior de la exposición) y llega a la salinización, causada por el alto grado de evaporación y falta de una salida de las aguas (parte inferior de la exposición). Altura de vuelo: 1.350 m.



Fig.14: Parte superior del Río Montelindo: Graves cambios en la vegetación por causa del uso del terreno en forma diferente. Altura del vuelo : 1.200 m.



Fig 15: Estancia Remonia en las cercanías de Mariscal Estigarribia : pastoreo extensivo causa perjuicio a la vegetación y llega a la degradación del suelo. El suelo está expuesto a la erosión eólica, pero también a las inundaciones; el proceso final llega a la erosión total del suelo fértil. Altura del vuelo : 1.200 m.



Fig.16: Aeropuerto de Filadelfia en el Chaco Central: a pesar de los diferentes tipos de uso del terreno, se puede observar la extensión de un campo (paleocauce). Altura del vuelo : 1.200 m.

ANEXO

Introducción a la Función del «Global Positioning System (GPS)»

En principio, el GPS se basa en las reglas de trigonometría. Se precisan tres distancias con medidas exactas para la determinación de una posición en el espacio tridimensional. Conocer la distancia a uno solo de los satélites no es suficiente, la distancia de 17.550 km (= altura de vuelo de los satélites GPS), sólo significa que el receptor del GPS se ubica en la esfera de este radio, alrededor del objeto. Si se conocen las distancias exactas a dos satélites, se reduce el área posible de posición a los cortes de los planos de



ambas esferas. Si se miden los tres satélites, sobran solamente dos posiciones en las cuales se puede encontrar el receptor. El próximo paso identifica uno de los dos puntos como muy poco probable, p.ej. demasiado alto o demasiado bajo. Una corrección entre el tiempo de la emisión y de la recepción se realiza con ayuda de señales de calibración de un cuarto satélite. Este procedimiento aumenta la precisión en forma adicional.

La señal GPS L_1 se transmite en la frecuencia 1.575 MHz y contiene toda la información que el receptor

GPS precisa para la realización de las determinaciones de localización. Esta señal consta de dos partes, llamados Ephemeris y Almanach. Ephemeris consiste en los datos referentes al satélite emisor, el Almanach contiene informaciones con respecto al sistema global de posicionamiento. Además están disponibles en el Almanach informaciones sobre el cálculo de la diferencia entre el tiempo GPS - mejor dicho el tiempo del satélite - y UTC (United Time Coordinated), y sobre un modelo de la ionosfera.

La estructura de información de la emisión vía satélite consiste en cinco tipos de información, los así denominados « marcos de datos ». Cada « marco » tiene un largo de 300 bits. Teniendo en cuenta una transmisión de 6 segundos de duración, esto equivale a una transmisión de 50 Baud; con este valor también trabajan, por ejemplo, los teletipos. Los primeros tres « marcos de datos » contienen la información Ephemeris, los datos con respecto a la hora del satélite y su estatus. Estas informaciones son transmitidas cada 30 segundos. Los « marcos » cuatro y cinco contienen los cuadros de los sistemas y son repetidos cada 12,5 minutos. Así se explica por qué un GPS aplicado a una zona completamente nueva, necesita 12,5 minutos para el cálculo inicial de la posición.

Cada « marco de datos » esta compuesto por diez palabras de 30-bits cada uno. Algunos campos de datos tienen que ser combinados por diferentes campos. Todos los datos emitidos son coeficientes para las ecuaciones (contenidas en el sistema) de la descripción de la órbita (el camino) satelitaria. Para determinar las posi-

ciones de los satélites se tiene que incluir además la hora exacta.

El Almanach contiene también los datos con respecto a la hora y las órbitas, como también las informaciones sobre el estatus de los satélites. Estos datos no son tan exactos en comparación a los datos del Ephemeris, pero aplicables durante un lapso de tiempo más largo. Los datos del Almanach describen la curva de la órbita completa con todas sus variaciones. En comparación, los datos del Ephemeris se refieren a segmentos de la órbita, con mas detalle, pero de sólo cuatro horas de duración.

El Almanach es utilizado por receptores de GPS para determinar cuales de los satélites están disponibles momentáneamente y con qué ubicación. Estos satélites serán evaluados y su posición exacta será calculada con ayuda de los datos de Ephemeris.

A través de observaciones y la evaluación de la difusión retardada de las señales satelitarias con respecto a su tiempo interno, el receptor puede determinar la duración de las señales entre los cuatro satélites observados y el receptor GPS.

Después de la conversión en metros se logra las así denominadas «pseudo» distancias. «Pseudo», porque no son distancias reales. Se tiene que realizar todavía correcciones de los errores en los relojes satelitarios y por los cambios de la velocidad de la luz y de la difusión de las señales en la ionosfera y de la troposfera, igual como por los así denominados efectos relativísticos.

Los satélites están equipados con relojes de cesio, los cuales serán sustituidos por relojes de rubidio. Si estos fallaran, serían sustituidos por relojes comunes de cuarzo. De manera indispensable se presenta una deriva temporal en estos relojes durante su permanencia en el espacio, llegando a una diferencia de algunos microsegundos después de varios años. Por esta razón las señales satelitarias contienen el error para la hora de referencia actual, la medida de la deriva y también su corrección. Esta se encuentra normalmente en cero y se aplica generalmente en el empleo de los relojes de cuarzo. El receptor GPS calcula el error en relación a la hora actual y corrige las pseudo-distancias luego de la multiplicación con la velocidad de la luz.

La ionosfera (60 - 4.000 km de altura a partir de la superficie terrestre) desfigura la señal satelitaria a través del retraso de la difusión de señales. Lamentablemente el retraso demuestra una característica variable y depende - entre otros factores - de la densidad electrónica y del ángulo de incisión de las señales. Además se presentan cambios, en dependencia de la hora, de la época del año y del ciclo de las manchas solares. Como estas variaciones son proporcionales al cuadrado de la frecuencia de la señal, se pueden determinar y eliminar a través de la aplicación de dos frecuencias. Por esta razón los satélites suelen transmitir en una segunda frecuencia (L2) con 1.226 MHz; sin embargo, en ésta no están disponibles datos para objetivos civiles. El usuario no militar tiene que tratar de obtener las correcciones a través de un modelo matemático de la ionosfera. Para este objetivo se transmite ocho parámetros en el Almanach, con los cuales se puede cambiar en el transcurso del tiempo el retardo vertical y sus variaciones.

Las alteraciones pueden llegar a un error de posición de aproximadamente 60 m; a través del modelo de

cálculo éste se reduce a 20 m. Tal vez es de interés que entre las dos y las tres horas de la mañana (hora local) el error es casi nulo, porque en este intervalo la ionosfera suele ser eléctricamente muy estable.

La mayor densidad atmosférica en la troposfera (0 - 18 km de altura a partir de la superficie terrestre) esta causando distorsiones a través de la refracción y curvatura de los rayos. Además varia la velocidad de la luz con la cual están migrando las señales: en aire húmedo la velocidad suele ser menor, en el vacuo mayor. Estos factores están causando un error de posición de aproximadamente 2 m. Para una corrección de estos errores, sin embargo, no se esta transmitiendo informaciones. El receptor evalúa tres modelos (0 - 1 km, 1 - 0 km y > 9 km) de la troposfera, los cuales se publicaron en la descripción del GPS.

Hay dos problemas esenciales: En comparación a los relojes de la tierra, los relojes satelitarios están un poco acelerados por causa del movimiento satelitario (dilatación del tiempo). Esta dilatación se puede compensar con un retraso de los relojes por 4,55 MHz (1/1.000.000 por mil).

Para una órbita esférica, la dilatación de tiempo seria corregida suficientemente con este procedimiento. Sin embargo, los satélites se están moviendo en órbitas elípticas, así que faltaría corregir todavía un error restante. Actualmente se esta tratando de encontrar soluciones para este problema. La complejidad de las acciones que llegan a la exactitud de las determinaciones satelitarias se puede ilustrar considerando a la velocidad de la luz - 300 mil millones de metros por segundo como parte de las observaciones. Un microsegundo es la unidad mas corta a partir de la señal y equivale a una distancia de 300 m de línea vertical (hacia el satélite). En línea horizontal se halla un valor de aproximadamente dos kilómetros, condicionado por la ubicación del satélite en el espacio. El receptor GPS tiene que recibir y evaluar la señal con una exactitud de 10 nanosegundos para obtener una exactitud de localización de 3 m y 20 m con respecto a la altura.

Antes de comenzar con los cálculos de ubicación del GPS a través de las pseudo distancias, se tiene que determinar la posición exacta del satélite. Esta determinación se realiza en dos pasos, porque se precisa la posición del satélite en el momento de la emisión de señales y no en el momento de la recepción. El problema en este caso, sin embargo, se presenta otra vez con respecto a la corrección entre las dos posiciones, porque se puede realizar recién cuando se conoce la ubicación del receptor GPS y también de los satélites. Con ayuda de un retardo promedio estimado de las señales y el cálculo de la posición del receptor GPS - por ejemplo la posición de la ultima aplicación del receptor GPS - se busca hallar una solución estimativa. En base a la nueva posición resultante y a nuevas

estimaciones se puede llegar a otro mejoramiento de la precisión. De cada repetición adicional resulta el mejoramiento de la precisión de ubicación. Los satélites se están moviendo con aproximadamente cinco kilómetros por segundo, mientras que el valor del retardo promedio de las señales llega a 70 milisegundos. Esto significa que sin tener en cuenta a la solución estimativa se podría determinar la posición satelitaria hasta aprox. 350 m. Una precisión de 350 m posterior al primer proceso estimativo equivaldría a un retardo de señales de aproximadamente 200 nanosegundos. En un paso adicional se podría determinar la posición hasta un metro de precisión, lo que equivaldría a una pseudo-distancia de 20 m en la tierra.

Una importante corrección será necesaria para la aplicación del sistema de coordenadas: «Earth - Centered - Earth - Fixed - (ECEF); el punto cero de este sistema es el punto central de la tierra, además esta rotando su sistema de coordenadas con la tierra. Hay que tener en cuenta que las posiciones recibidas de los cuatro satélites fueron transmitidas en momentos diferentes, debido al retardo de las señales. Como consecuencia, las posiciones de los cuatro satélites en relación al sistema de coordenadas han cambiado. Estas posiciones tienen que ser corregidas para entrar a las coordenadas ECEF en el momento de recepción. Se han desarrollado ecuaciones para este sistema, y además existen parámetros no tan fáciles de determinar.

La órbita de un satélite se describe en principio a través de las fórmulas de Kepler, con respecto a la órbita de un cuerpo atravesando a otro. Estas fórmulas están documentadas en la descripción del GPS.

Lamentablemente estos datos no son suficientes para permitir una determinación exacta de las posiciones de los satélites. Diferentes factores, como las consecuencias de la influencia de la gravedad terrestre y lunar, el campo magnético terrestre o también el impacto del viento solar en el satélite, llevarían a desviaciones de los datos. En el caso de una unidad GPS - diferencial se están compensando estas desviaciones en forma automática a través de estaciones terrestres exactamente ubicadas; con ayuda de las señales

satelitarias y de sus posiciones bien conocidas pueden determinarse órbitas bien precisas para algunas horas específicas. Estos datos corregidos están llegando a través de la Ephemeris de la señal satelitaria a los receptores de los usuarios.

En el caso de las unidades GPS comunes se realiza las correcciones correspondientes en forma manual, cada 24 horas, con ayuda de las estaciones terrestres. Cuando se ha determinado la posición de los satélites, siempre se realizará el cálculo con respecto a la ubicación receptora. Las cuatro desconocidas, las posiciones del eje X -, Y -, y Z - del sistema de coordenadas ECEF, igual como las dilataciones del reloj receptor se pueden hallar a través de las cuatro ecuaciones satelitarias (la ley de Pitágoras en relación al espacio tridimensional). También en este caso existe una solución estimativa en dependencia del error del reloj receptor y de la velocidad de la luz. Cada solución de este sistema de ecuaciones resulta en una mejor aproximación de la posición precisa. En el caso de una desviación inicial de 1.000 kilómetros, la precisión ya estaría llegando a una escala milimétrica posterior al tercer paso de estimación.

Otra metodología está causando la vibración de los relojes satelitarios, ocasionando la constante dilatación del tiempo. Las vibraciones están calibradas de tal manera : se está originando errores horizontales hasta 100 m con 95% del tiempo y hasta 300 m con 5% del tiempo. Los datos automáticos de corrección de la ionosfera de la frecuencia L2 no están disponibles para el usuario civil, hecho que resulta en algunas pérdidas de precisión. Los usuarios militares pueden eliminar a estos factores a través de descodificación y evaluación con ayuda de unos parámetros especiales. Los códigos aplicados son variables y están periódicamente reemplazados, así que tienen que ser distribuidos a todos los receptores en condiciones.

Como última metodología el Pentágono se reserva el derecho de apagar el sistema en cualquier momento. Al final, los militares llegan a una precisión promedio de < 50 cm, mientras que el usuario civil no puede llegar a más detalle que entre 15 y 100 m.

**Satélites de Observación Meteorológica
NOAA-N para su Aplicación en la Agricultura
con el Sistema de Procesamiento de
Imágenes Satelitarias ERDAS**

por
Uwe Schäffer

INDICE

| | | |
|--------------|---|------------|
| 1 | Resumen | 237 |
| 2 | Contrato | 237 |
| 3 | Introducción | 237 |
| 4 | Formación y Perfeccionamiento del Personal en el Procesamiento de Imágenes Digitales | 237 |
| 5 | Procesamiento de Datos de Satélites de Observación Metereológica NOAA con el Sistema ERDAS | 238 |
| 5.1 | Introducción | 238 |
| 5.2 | Superficies de agua y humedales | 238 |
| 5.3 | Vegetación | 240 |
| 5.4 | Deforestación | 241 |
| 5.5 | Geología | 243 |
| 6 | Utilización de los Datos Satelitarios Multitemporales (monitoreo) | 244 |
| 6.1 | Adaptación y solapamiento de los datos satelitarios multitemporales NOAA | 244 |
| 6.2 | Monitoreo de las variaciones de la vegetación en el Chaco Central | 244 |
| 7 | Resultados | 245 |
| 8 | Bibliografía | 247 |
| ANEXO | | 249 |
| | Viaje y desarrollo del trabajo | 249 |

Comitente Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe, Hannover

Autor del Informe Dr. Uwe Schäffer

Número del Archivo 112058

Fecha 11.03.1994

1 RESUMEN

El autor, contratado por la BGR, viajó a Asunción (Paraguay) para asesorar a la Cooperación Geológica Alemana (Proyecto de Medio Ambiente en el Chaco Paraguayo) en la utilización de métodos aplicados a sensores remotos.

El personal paraguayo ha sido formado y perfeccionado para manejar la unidad de procesamiento de imágenes digitales (ERDAS) con datos satelitarios de observación meteorológica NOAA.

El autor realizó, conjuntamente con el personal paraguayo, numerosos monitoreos de procesos medio ambientales en el Chaco, zona occidental del Paraguay. Los datos NOAA expuestos en este trabajo son de mucha utilidad para la aplicación en la agricultura. Por primera vez, se pudo comprobar que los datos NOAA suministran información útil del "Campo Sub-pixel" para la aplicación en la agricultura.

La computadora utilizada en el proyecto ha sido desmontada en su hardware y su software.

2 CONTRATO

El autor ha realizado los siguientes trabajos:

Formación y perfeccionamiento del personal paraguayo en el procesamiento de imágenes digitales con el sistema ERDAS.

Desarrollo de métodos para el procesamiento y el manejo de los datos satelitarios de observación meteorológica con el sistema ERDAS.

- Identificación de superficies de agua y humedales.
- Identificación de formas de vegetación.
- Identificación de superficies deforestadas.
- Monitoreo de variaciones en la vegetación.

3 INTRODUCCION

El autor asesoró al proyecto "Proyecto Sistema Ambiental del Chaco" de acuerdo al contrato con el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales (BGR Hannover) en el Paraguay. El proyecto se llevó a cabo en el marco de cooperación técnica entre la República del Paraguay y la República Federal de Alemania. La contraparte es la Dirección de Ordenamiento Ambiental (DOA) - la Subsecretaría de Estado para Recursos Naturales y Medio Ambiente del Ministerio de Agricultura (SSERNMA).

El proyecto debe desarrollar métodos interdisciplinarios y proponer su utilidad y protección en el marco de un plan de ordenamiento. En este tema, los sensores remotos juegan un papel importante.

El autor dirigió la capacitación y entrenamiento del personal paraguayo del proyecto en el sistema para el

procesamiento de imágenes digitales con la unidad de procesamiento de imágenes ERDAS. Con ello se probó, especialmente, los datos satelitarios de observación meteorológica NOAA, teniendo en cuenta sus posibilidades para los diversos campos en la agricultura y como marco de un programa de entrenamiento.

4 FORMACION Y PERFECCIONAMIENTO DEL PERSONAL EN EL PROCESAMIENTO DE IMAGENES DIGITALES

En el marco del contrato se ha introducido a 3 personas de nacionalidad paraguaya para entrenamiento en el procesamiento de imágenes digitales con el sistema ERDAS (versión 7.5 de la firma ERDAS Inc. Atlanta, USA). Los contratados (Ing. Agr. Francisco Fracchia, Sra. Lilitiana Arias de Martínez y la Srta. Sergia Alonso Amarilla) poseen muy buenos conocimientos en el manejo de sistemas de computadoras. Conocían la unidad existente, uno de ellos, conocía desde hace tiempo el sistema de unidad digital integrada de la unidad de video (Screen-Machine).

Entre los días 04.02.1994 hasta el 18.02.1994 se realizó un intenso entrenamiento y perfeccionamiento del personal del proyecto en el procesamiento de imágenes. Este abarcó, principalmente, prácticas en el procesamiento de datos satelitarios como p. ej.: lectura de los datos primarios hasta el procesamiento de imágenes temáticas. Los contratados están en condiciones de leer, de la memoria de operación de la unidad ERDAS, los datos satelitarios primarios comprados por el proyecto. Asimismo, se puede hacer con ERDAS manipulaciones temáticas de los datos, también se pueden elegir muestras y realizar correcciones geométricas. *Bajo el término de manipulaciones temáticas de datos se entiende, entre otros conceptos: acoplamientos aritméticos de informaciones canalizadas, p. ej.: como obtener informaciones sobre el potencial vegetal.* A partir de este concepto se obtuvo potenciales vegetales con ayuda del índice de vegetación (capítulo 5.3) de zonas seleccionadas (selección de muestras de la región Este - Oeste del Paraguay). Los registros de datos de cada una de las zonas fueron corregidos según puntos de base para obtener una buena descripción. Para la emisión de los datos satelitarios procesados, se utilizó la impresora Tektronik Phaser II, que también sirve para la emisión de datos-video digitalizados.

Prosiguiendo las labores, se trabajó con datos satelitarios multitemporales (monitoreo). El método exigió ciertos esfuerzos a los contratados, ya que era absolutamente necesario la exactitud de los datos superpuestos. El Ing. Agr. Francisco Fracchia se mos-

tró dispuesto durante las fases de demostración y entrenamiento efectuados desde el 02.03.1994 hasta el 10.03.1994. Además, es de agradecerle su aplicación, ya que después del colapso del sistema del 03.03.1994, pudo armar nuevamente la computadora utilizada para la elaboración de imágenes.

5 PROCESAMIENTO DE DATOS DE SATELITES DE OBSERVACION METEOROLOGICA NOAA CON EL SISTEMA ERDAS

Los satélites de observación meteorológica NOAA suministran datos de todo el mundo (a continuación sólo se denominará datos NOAA), que junto con sus aplicaciones meteorológicas también sirve para el uso agrícola (en forma limitada). Nuevos estudios en el campo de la problemática del medio ambiente (ver D. EHRlich et. al., 1994 y U. SCHÄFFER, 1991) cubren las posibilidades de aplicación así como también sus limitaciones.

Ya que 2 satélites NOAA operan en forma opuesta en órbitas circulares, se obtienen constantemente datos provenientes de las órbitas ascendente y descendente. Los datos obtenidos hasta ahora vienen de los satélites NOAA 12 (de mañana con una órbita descendente sobrevolando la línea ecuatorial cerca de las 07:30 horas y con una órbita ascendente a las 19:30 horas) y del NOAA 13 (de tarde con una órbita ascendente sobrevolando la línea ecuatorial cerca de las 14:00 horas y con una órbita descendente a las 02:00 horas).

Los datos NOAA utilizados en el marco del proyecto provienen del radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), que está montado en la plataforma del NOAA junto con varios otros sistemas. Se trata de un sistema registrados que tiene 5 canales espectrales (Tab. 1) Algunos de los datos NOAA procesados, provienen de los satélites NOAA que sobrevuelan la línea ecuatorial a la tarde teniendo una órbita ascendente.

| | | |
|---------|-----------------------|--------------------|
| Canal 1 | (rojo visible) | 0.580 - 0.680 mm |
| Canal 2 | (infrarrojo cercano) | 0.725 - 1.100 mm |
| Canal 3 | (infrarrojo "termal") | 3.550 - 3.930 mm |
| Canal 4 | (infrarrojo termal) | 10.500 - 11.500 mm |
| Canal 5 | (infrarrojo termal) | 11.500 - 12.500 mm |

Tabla 1: Lista de canales AVHRR

Los datos NOAA, en formato ERDAS, se encuentran en archivos de 8 bit sobre el disco (Optical Disk). Se puede, en el caso de no tener el formato ERDAS,

formatear el sistema con ERDAS (con restricciones, ver manual ERDAS). Los datos-archivos sólo pueden leerse con ERDAS si poseen la extensión .LAN.

5.1 Introducción

Los métodos de trabajo desarrollados para ERDAS fueron creados a partir de los análisis de los datos NOAA, separando y documentado, en forma sencilla, las superficies de agua, de humedad, diferenciación en la vegetación y superficies de deforestación. Fueron utilizados los resultados de la investigación hecha en el Paraguay Oriental utilizando datos NOAA (Informe interno BGR, U. SCHÄFFER, 1991).

Se indica que las clásicas características de absorción y reflexión en el campo de longitud de ondas de cada uno de los canales, muestra una diferenciación clara pero limitada, a pesar de una pequeña resolución geométrica (1 km Pixel). Según la clase de procesamiento de datos es posible hacer conclusiones con respecto a autopistas. (Fig. 1).

Las ventajas de los datos NOAA (costos bajos y capacidades diarias de recepción) son evidentes en determinadas aplicaciones en el campo, ya que hay una rápida variación de la vegetación debido a la influencia del hombre (deforestación) o por lluvias geográficamente aisladas, cuyas consecuencias pueden ser rápidamente elaboradas en un programa. La desventaja de los datos NOAA (poca resolución geométrica, 1 km Pixel) juega, en este caso, un rol secundario ya que se pueden profundizar las informaciones del contenido de Pixel a través del procesamiento de los datos multitemporales (Capítulo 6) cuando alguna medida equivale a la resolución geométrica del orden de magnitud de objetivo.

5.2 Superficies de agua y humedales

Las áreas de aguas superficiales captadas en las imágenes satelitarias se pueden diferenciar de la siguiente manera: cuando aparecen las superficies de agua en la misma dirección de vuelo de los satélites NOAA, dependiendo del ángulo de incidencia de la luz solar, se refleja la parte visible de la longitud de onda de la luz solar (NOAA Canal 1) sobre la superficie del agua. La longitud de onda del reflectivo infrarrojo cercano (NOAA Canal 2) va a ser absorbida casi totalmente. Según la posición radiométrica de los satélites y de los ángulos de incidencia y de reflexión de la luz solar, la intensidad oscila entre los valores mínimos y algunos valores menores. Las superficies húmedas (sin áreas de agua superficiales) no poseen ninguna característica de reflexión en los Canales NOAA 1 y 2.

En el campo espectral se agrega, a partir del canal NOAA 3, procesos de efectos de interacción entre la

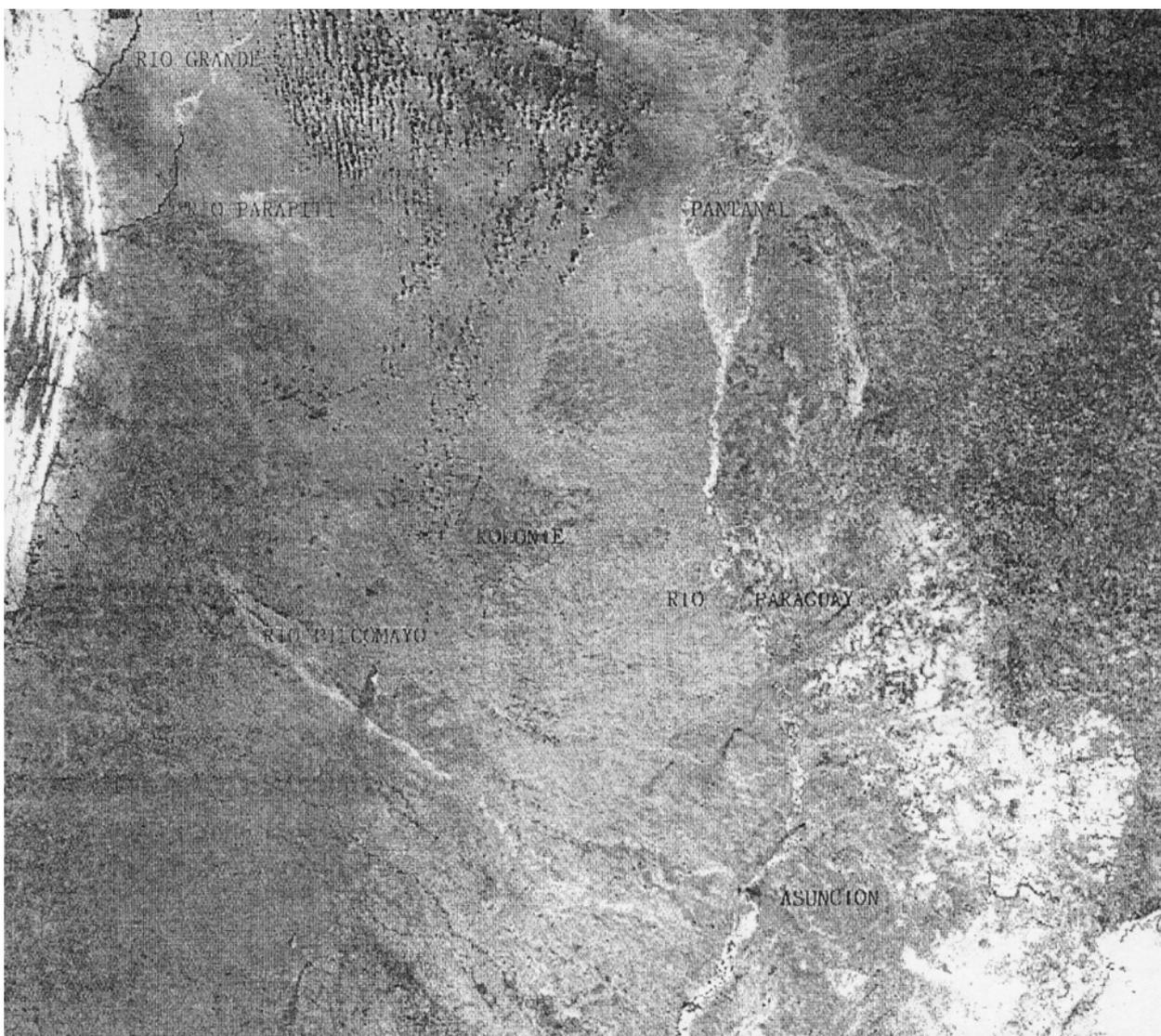


Fig 1: Datos NOAA de junio de 1992

Rojo $x3 - x1$; Verde $(x2 - x1)/(x2 + x1)$; Azul $x3 - x2$

En la imagen satelitaria está expuesta todo el Paraguay y parte de los países limítrofes. El ancho de la imagen es de alrededor de los 1.000 Km. Los tonos rojos y rojizos representan a superficies de agua y superficies húmedas. Se resalta los humedales del Pantanal y las áreas inundables alrededor de ASUNCION. Se pueden observar al este de la imagen la extensión de los basaltos del PARANA (tonos marrones). Los basaltos se diferencian claramente de los sedimentos mesozoicos superpuestos (amarillo-verduzco claro).

Las unidades precámbricas con rumbo NNE-SSW (se reconocen en el noreste de la imagen) están superpuestas por los basaltos del PARANA.

Al oeste de la imagen se encuentran los cauces de los ríos: Río Grande, Río Parapetí y Río Pilcomayo. Con el procesamiento de los datos existentes NOAA, se pueden reconocer los sistemas de paleocauces en colores oscuros.

Al Sur del Río Pilcomayo (en el lado argentino) se pueden identificar autopistas.

Mayores explicaciones en el texto.

reflexión y absorción, dependientes de la composición química de la carga en suspensión de los ríos y/o la temperatura del agua. Los suelos húmedos poseen una conducta reflectiva similar en el campo espectral a partir del canal NOAA 3, como se describe a continuación.

Por regla, las superficies de agua se manifiestan de este modo: las del campo visible (Canal 1 NOAA) de una baja intensidad y las del campo infrarrojo cerca-

no (Canal 2 NOAA) de una menor intensidad, mientras que en el Canal 3 (denominado "termal" en el NOAA - AVHRR - usuario) da lugar a una alta reflexión. También se espera en el Canal 3 NOAA una alta reflexión relativa en suelos húmedos.

Por ejemplo, las superficies de agua y las superficies húmedas van a ser diferenciadas en rojo, cuando se lleva a cabo una combinación codificada de canales NOAA 3, 2, 1 rojo-verde-azul en un trabajo estándar

- rutinario:

Rojo : Canal 3

Verde : Canal 2

Azul : Canal 1

Las superficies húmedas van a ser especial y claramente diferenciadas por el color rojo, cuando se utilice la rutina descrita en el Capítulo 5.5 (Fig. 1).

5.3 Vegetación

Hay numerosos ejemplos para el aprovechamiento en la observación de la vegetación, desde que operan los satélites de sensores terrestres. C.J. TUCKER (1979) es uno de los pioneros en el monitoreo de vegetación con datos NOAA.

La observación de la vegetación con los satélites NOAA se lleva a cabo a través de la característica de

absorción de la clorofila, en el campo de la longitud de onda de la luz visible (rojo, Canal 1 NOAA) y su reflexión en el campo del reflectivo infrarrojo cercano (Canal 2 NOAA). El método más aplicado del registro del potencial vegetal es la representación del "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI). Para los satélites NOAA vale esta referencia.

$$\text{NDVI} = (\text{Canal 2}) - (\text{Canal 1}) / (\text{Canal 2} + \text{Canal 1})$$

En la rutina ERDAS <ALGEBRA> con los datos NOAA vale:

$$\text{ALGEBRA: } (x2 - x1) / (x2 + x1)$$

Se denomina con x1 hasta x5 a los Canales NOAA (1 al 5) en su utilización con la rutina ALGEBRA (descrito en el manual ERDAS de procesamiento de imágenes).

El valor NDVI es una medida del potencial vegetal

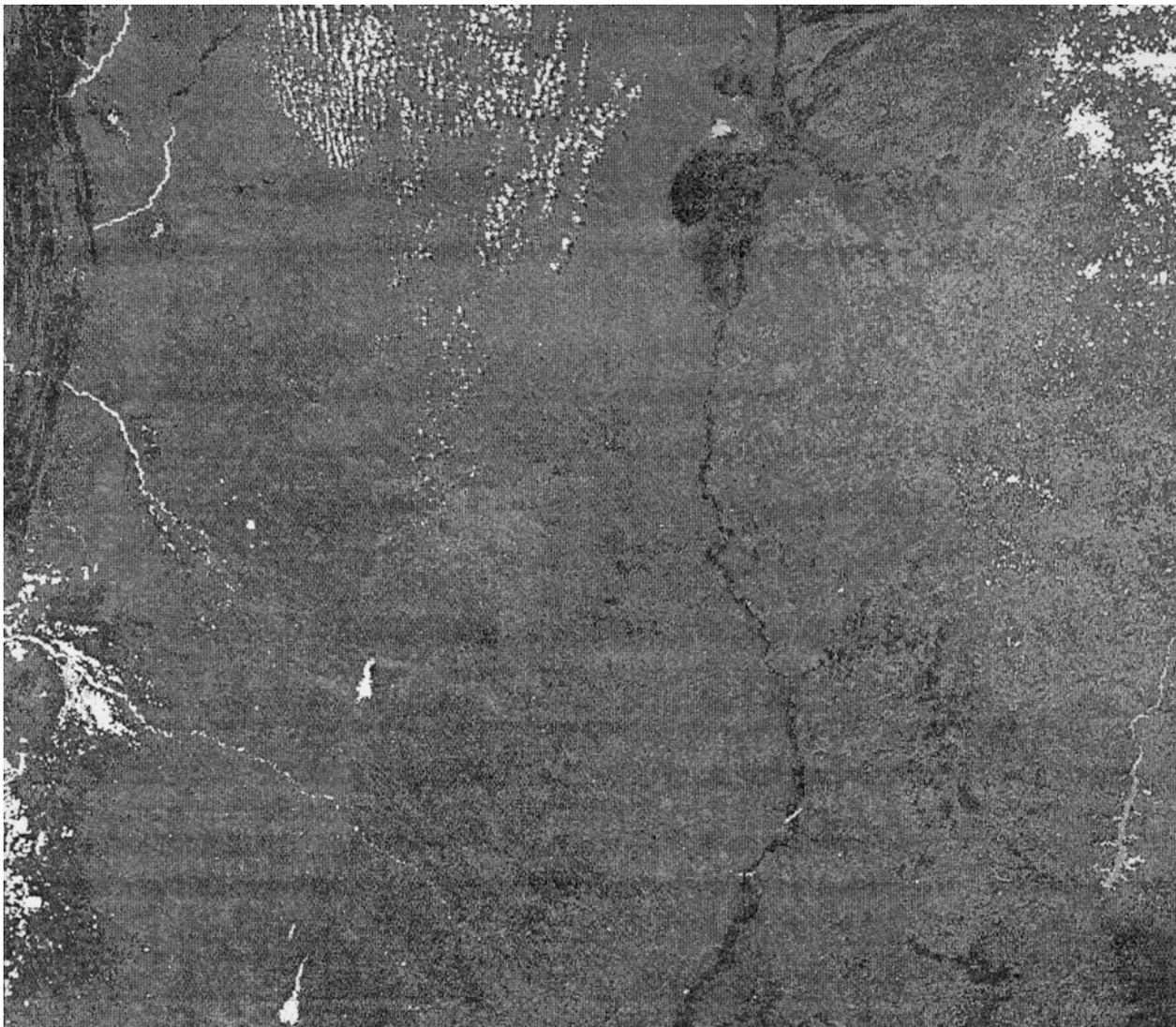


Fig. 2: Datos NOAA de junio 1992

Representación del potencial vegetal con ayuda del índice de vegetación.

Los tonos verdes y azules indican la vegetación.

Los colores claros, especialmente el rojo, indican una falta de vegetación o vegetación degradada.

Para orientación, ver Fig. 1. Mayores explicaciones en el texto.

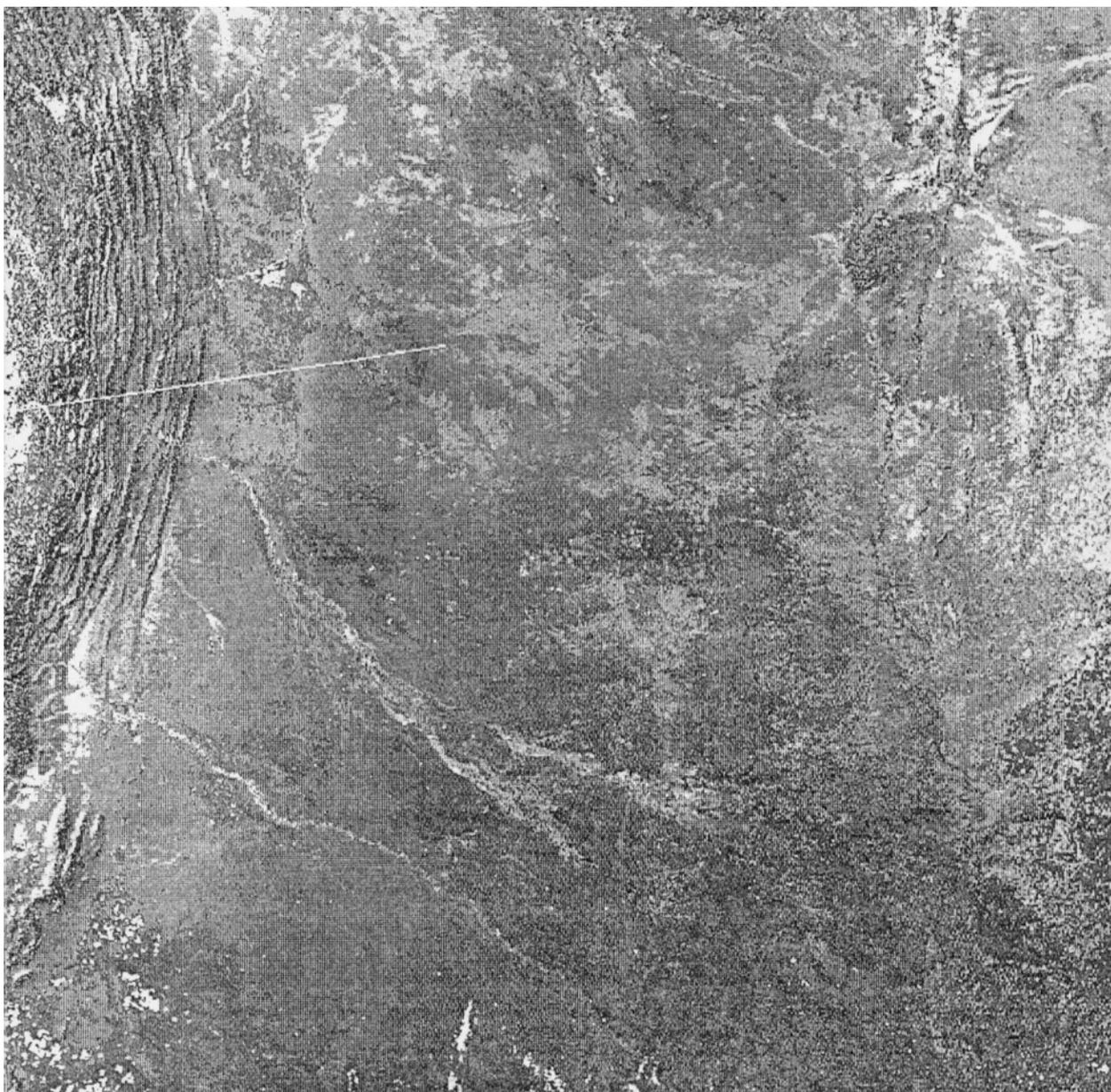


Fig 3: Datos NOAA de junio 1993

Representación del potencial vegetal con ayuda del índice de vegetación.

Los tonos verdes y azules representan la vegetación.

Los colores claros, especialmente el rojo indican una falta de vegetación o vegetación degradada.

Se observan nubes de polvo dilatadas al oeste de la imagen y poca vegetación en el campo de las colonias menonitas en el centro de la imagen (junio 1993).

Para orientación, ver Fig. 1. Mayores explicaciones en el texto.

(densidad de la clorofila), pero sólo con este valor no es posible una diferenciación de los tipos de vegetación. Algunas propuestas de métodos para la diferenciación de la vegetación utilizando el sistema de procesamiento de imágenes ERDAS se representan en el informe de la BGR (U. Schäffer, 1991). En las Figuras 2 y 3 se muestran algunos ejemplos para la representación de la vegetación. Es llamativo un “límite de vegetación” hasta ahora desconocido, que se encuentra al Oeste de las colonias menonitas con buzamiento NE-SW (Fig. 4).

5.4 Deforestación

La problemática actual de la progresiva deforestación del Chaco y la casi completa deforestación del Este del Paraguay, hace necesaria la observación y el monitoreo del sistema, como se realiza a través de la utilización de los datos NOAA y del sistema de procesamiento de imágenes ERDAS. Se pueden diferenciar, básicamente, las zonas deforestadas, ya que de acuerdo a su patrón espectral se caracteriza las zonas de bosques intactas.

Se pueden diferenciar las siguientes unidades:



Fig. 4: Datos NOAA de junio 1992

Representación del potencial vegetal con ayuda del índice de vegetación.

El mismo procesamiento de la Fig. 2 con una ampliación del sector. Cerca del centro de la imagen se encuentra

la colonia menonita presentando una clara reducción de la vegetación (color rojo). En el SW de la colonia

se reconoce una nube de humo dilatada, posiblemente sea por causa de incendios de campo o quema de desmonte.

Inmediatamente (al borde este) en la colonia se observa un límite de vegetación con rumbo NE-SE,

que con el procesamiento realizado es muy claro.

Para orientación, ver Fig. 1. Mayores explicaciones en el texto.

1. Campos deforestados recientemente con suelos expuestos, o campos recientemente cultivados.
2. Campos deforestados recientemente (deforestación por incendios) con cenizas residuales.
3. Campos deforestados con nuevas plantaciones.
4. Superficies con arbustos o superficies casi degradadas.

Las formas 1 y 2 van a ser representadas en rojo debido a su alta caracterización reflectiva en el campo visible y debido a la falta de un valor nominal en la cobertura de vegetación a través de la combinación Canal 1 NOAA rojo-verde codificado y NDVI (con ALGEBRA).

Con este método, las formas 3 y 4 figuran con una mezcla de colores no diferenciables, por la influencia

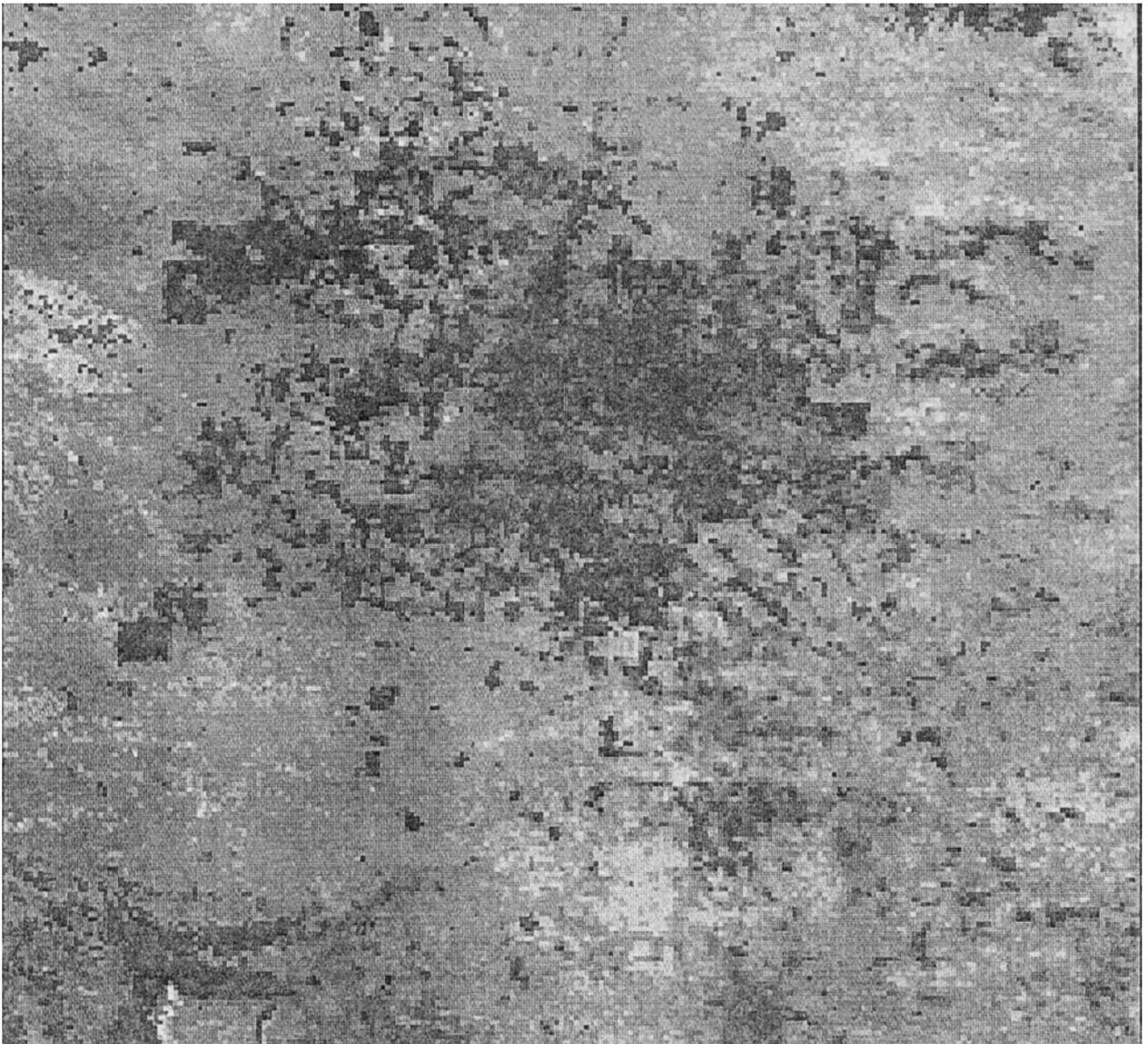


Fig. 5: Datos NOAA de junio 1992 y noviembre 1995
 Exposición del "ALGORITMO DE DEFORESTACION (ADD)" con ayuda de los datos NOAA.
 Está expuesta toda el área ocupada por las colonias menonitas. Ancho de la imagen alrededor de 250 Km.
 Con el procesamiento realizado se describieron en verde todas las superficies aprovechables en la agricultura, que estaban aún disponibles en noviembre de 1993 pero ya existieron en junio 1992. Todas las superficies diferentes en rojo son: campos deforestados recientemente hasta noviembre 1993 (después de junio 1992) o superficies secas.
 Para orientación, ver Fig. 1. Mayores explicaciones en el texto.

de la vegetación. Cuando se realiza un combinación codificada de Canales NOAA rojo-verde-azul, como p. ej.:

Rojo : x_1
 Verde : $(x_2 - x_1)/(x_2 + x_1) = \text{NDVI}$
 Azul : $(x_3 - x_1)/(x_3 + x_1)$

puede aislarse la longitud de onda azul (con procesos ERDAS <WFM> o <LUTMOD>) con un alto potencial "térmico" (medido en el Canal 3 NOAA, Capítulo 5) y con un adecuado manejo de la estadística. Precisamente, este campo se caracteriza por regiones boscosas, ya que éstas poseen una alta radiación de calor como superficies de pasturas.

5.5 Geología

La pequeña resolución geométrica de los satélites NOAA permite investigaciones geológicas a pequeña escala. En el Este del Paraguay se deja diferenciar unidades geológicas a través de los siguientes canales de combinación con NOAA (Fig. 1):

Rojo : x3 - x1

Verde : NDVI

Azul : x3 - x2

En el área Sur Oriental del Pantanal resalta el rumbo de las unidades de los basaltos del Paraná y los lineamientos tectónicos a pesar de una densa vegetación y una cobertura de sedimentos. Hasta ahora no se han utilizado datos NOAA para las investigaciones geológicas. Sería interesante que se explorara intensivamente este campo de aplicación. Como ejemplo, se reconoce que el Paraguay y los países que lo rodean, pueden contar con importantes servicios, ya que los datos NOAA otorgan informaciones por ejemplo sobre redes hídricas, unidades de vegetación y extensas estructuras geológicas, en una visión sinóptica y geológica de un espacio bastante extenso (10^6 Km²).

6 UTILIZACION DE LOS DATOS SATELITARIOS MULTITEMPORALES (MONITOREO)

Los datos multitemporales NOAA que se ofrecen para su utilización se obtienen, teóricamente, en forma diaria; son económicos y útiles en todos los campos.

Un juego de datos de una serie NOAA cuesta alrededor de DM 600,- (4 minutos de duración). Un procesamiento standard de imágenes y una emisión Hardcopy cuesta alrededor de DM 1.200,- (en la compañía de aplicación de sensores remotos en München, GAF), resultando con un costo total de DM 1.800,-.

El precio de una escena LANDSAT TM es mucho mayor. Oscila alrededor de los DM12.000,— hasta 15.000,— para una emisión de Hardcopy. Los datos TM actuales son obtenidos en forma limitada (sólo sobre pedido), con un aviso de antemano, con excepción de la región Norte-América. Se conecta el Scanner TM sobre LANDSAT 5, después de la avería sufrida del LANDSAT 6. Además los datos TM poseen una baja tasa de repetición (16 días, ver informe BGR, U. Schäffer, 1991). Por todo esto, la incorporación de datos TM para el monitoreo no es recomendable.

Si hubiera una instalación receptora propia para los datos NOAA, los costos de recepción serían relativamente bajos, ya que los gestionarios NOAA no levantan ningún impuesto de licencia para los datos NOAA, al contrario con otros datos satelitarios.

6.1 Adaptación y solapamiento de los datos satelitarios multitemporales NOAA

Cuando se desee unir 2 juegos de datos en la unidad ERDAS y se realice no solamente un puro análisis visual de 2 imágenes satelitarias, son necesarios los siguientes pasos de trabajo. Para objetivos especiales con respecto a variaciones en el suelo entre los 2 juegos de datos de diferentes fechas, deben guardarse en forma conjunta los correspondientes juegos de datos en un solo archivo. La base de la superposición de datos, es la corrección de las coordenadas de los archivos y de los Pixel de ambos juegos de datos en forma geométrica e interrelacionada. Las coordenadas Pixel de 2 diferentes órbitas satelitarias nunca pueden ser 100% congruentes, debido a la modificación de posición de los satélites en el espacio. Para minimizar el error, son necesarios varios pasos de corrección geométrica, como las que se ofrecen con ERDAS en el módulo de procesamiento de imágenes (Image Processing Module).

Cuando se termine la corrección geométrica se llevará a cabo el acoplamiento con el proceso ERDAS <SUBSET>. Como ejemplo de dos 4 canales NOAA. LAN-Files se establecerá un único 8 canal NOAA. LAN-Files, donde corresponderá a cada uno, según el turno de acoplamiento, p. ej. los canales 1 al 4 de los canales NOAA, 1 al 4 de fecha x corresponde a los canales 5 al 8 de los canales NOAA 1 al 4 de fecha x + 1.

6.2 Monitoreo de las variaciones de la vegetación en el Chaco Central

Con ERDAS se emprenden combinaciones sencillas y complejas de canales, que se presentan como un canal único negro/blanco o hasta en 3 canales en rojo-verde-azul. En el marco de las actuales investigaciones, muchos NOAA-SUBSETS (sectores de datos-archivos {daten-Files} y de los datos-archivos combinados, Capítulo 6.1) fueron atraídos hacia el procesamiento multi-temporal.

Las variaciones en la vegetación del Chaco Central (colonias menonitas) fueron documentadas con ayuda de los NOAA-SUBSETS. Los datos primarios originales provinieron de los registros NOAA correspondientes a junio 1992, junio 1993 y noviembre 1993. Fue determinado un octa-canal NOAA. Lan File con datos de junio 1992 y noviembre 1993, para analizar y documentar por primera vez las variaciones en la vegetación. Los pasos de trabajo necesarios fueron llevados a cabo con ayuda de la contraparte. Después de varios ensayos con la rutina ERDAS <ALGEBRA>

se pudo desarrollar un método para investigar en forma segura la deforestación.

Este nuevo algoritmo desarrollado se denomina "ALGORITMO DE DEFORESTACION (ADD)". Se describe:

ADD = CIRC NDVI 1 - NDVI 2, y

ADD = CIRC (X2 - X1)/(X2 + X1 - (X6 - X5)/X6 + X5)

y

CIRC es un algoritmo ERDAS en la rutina ALGEBRA (descrito en el manual de ERDAS del módulo de procesamiento de imágenes).

El principio ADD se apoya en la suma del valor del cuadrado que resulta de la diferencia de los índices de vegetación (NDVI de junio 1992 y noviembre 1993) y un factor "y" ("y" será insertado a la calibración). La suma superó el valor "1", cuando el índice de vegetación de noviembre 1993 fue menor al índice de vegetación de junio 1992. Esto pasa cuando hay superficies deforestadas. En este caso ERDAS lleva todos los contenidos de Pixel a "0". La calibración resulta a través del factor "y", p. ej.: cuando se determina sobre 0.95 arroja los mejores resultados para el campo de las colonias menonitas. Este valor se determinó a través de un trabajo intenso e interactivo utilizando los datos existentes correspondientes a diferentes años y temporadas. El valor crítico "y" da la posibilidad de diferenciar la deforestación reciente de la antigua.

La descripción que ERDAS alcanzó con la rutina <ALGEBRA> nos muestra la siguiente exposición (Figura 5):

Rojo: $(x2 - x1)/(x2 + x1)$

Verde: $CIRC (x2 - x1)/(x2 + x1 - x6 - x5)/(x6 + x5), 0.95$

Azul: $(x6 - x5)/(x6 + x5)$

Con la emisión de los resultados obtenidos con ERDAS a través del monitor o como Hardcopy, aparecen todas las superficies recientemente deforestadas que fueron identificadas, en tonos rojos. Un efecto lateral positivo constituye el hecho de que se eliminan todas las superficies de nubes.

En fecha 04.03.1994 tuvo lugar un sobrevuelo de la región, para comprobar el estado actual de las actividades de deforestación. Se ha demostrado que el "ALGORITMO DE DEFORESTACION" desarrollado es apto para el monitoreo de la deforestación en el Chaco.

7 RESULTADOS

El viaje del autor tuvo como objetivo formar y perfeccionar al personal paraguayo en el procesamiento de imágenes digitales. En el marco de este programa se realizaron investigaciones con datos NOAA que

condujeron a interesantes resultados. Se hicieron relevamientos importantes sobre la distribución de la vegetación y del agua, así también se investigó la situación de los paleocauces, que podrán ser analizados en forma independiente por la contraparte. Se desarrolló un sistema para el "monitoreo del medio ambiente", que fue recibido por el organismo ejecutor del proyecto con gran interés. El problema de la deforestación en el Chaco y de la región Este del Paraguay que es muy actual.

Del análisis de los datos multitemporales NOAA se observan indicios de que las inundaciones ocurridas en junio 1992 por la crecida del Río Paraguay en el bajo Chaco, fueron posiblemente causadas a consecuencias de la deforestación en el Paraguay Oriental. Las actividades de deforestación en el campo de las colonias menonitas del Chaco pueden ahora ser observadas y documentadas a través de métodos de sensores remotos de bajos costos. Estos datos son bases importantes para medidas de ordenamiento.

En las imágenes NOAA aparecen nubes de polvo dilatadas, que provienen de los sistemas fluviales: Río Grande, Río Parapiti y del Río Pilcomayo. La importante dilatación de las nubes de polvo y el gran material de transporte.....

Con los datos NOAA se identificaron sistemas de paleocauces en el Chaco, con los cuales se puede reconstruir un complicado sistema de desagüe con extensas transformaciones en el Holoceno.

La utilización de datos NOAA en el campo de la geología se presta para grandes interrogantes. Se identificaron límites litológicos y grandes estructuras tectónicas que posibilitan una visión sinóptica de más de 10^6 Km².

Para aumentar la funcionalidad de los sistemas de procesamiento de datos, se realizaron servicios adicionales: la computadora del proyecto fue equipada con Software y Hardware adicionales. Se instaló el sistema de computadora LAPLINK y los programas ARC-INFO, Dbase y QUATTRO PRO 5. La configuración actual posibilita un uso óptimo de la instalación, ya que hay una conexión a través del sistema de red entre la instalación ERDAS y la instalación ARC-INFO. Un procesador de datos adicional sirve como procesador de texto y se utiliza también para el registro de datos Dbase y ARC-INFO. El colapso del sistema ocurrido el 03.03.1994 en el equipo de alimentación de la instalación debido al corto circuito, ocasionó daños irreparables en el disco duro del sistema. La compra adicional de un nuevo disco duro, la reorganización e instalación de todo el equipo de procesamiento de imágenes, sólo fue posible al gran esfuerzo del personal de la contraparte.

(Dr. Uwe Schäffer)

8 BIBLIOGRAFIA

- ALLISON, L. J. and SCHNAPF, A., 1992, Manual de Remote Sensing.
- BACHMANN, M., and BENDIX, J. 1992, An improved algorithm for NOAA-AVHRR image referencing. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 16, 3205-3215.
- BARRET, E. C., KIDD, C. and BAILEY, J. O., 1988, The Special Sensor Microwave Imager; a new instrument with rainfall monitoring potential. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 12, 1943-1950.
- BRENT, R. P., 1973, Some efficient algorithms for solving systems of nonlinear equations. *SIAM J. Numerical Anal.* 10, 327-244.
- CASELLES, V., DELEGIDO, J. SOBRINO, J. A. and HURTADO, E., 1992, Evaluation of maximum evapotranspiration over the La Mancha region, Spain, using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 5, 939-946.
- DOZIER, J., 1981, A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11, 221-229.
- Algorithms specified for deducing size and temperature of sub-pixel temperature fields from 2+ IR channels and for making atmospheric corrections in AVHRR data. Fire not explicitly considered.
- EHRlich, D., ESTES, J. E. and SINGH, A., 1994, Applications of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 5, 1, 145-161.
- GOWARD, S. W., DYE, D. G., TURNER, S., and YANG, J., 1993, Objective assessment of the NOAA global vegetation index data produc. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 18, 3365-3394.
- GOWER, J. F. R., 1992, Low cost satellite sensor image reception for NOAA HRPT and other compatible data. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1, 177, 181.
- GROTEN, S. M. E., 1993, NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 8, 1495-1515.
- GTZ-Map 1984-1985: Misión forestal Alemana (GTZ), Uso actual de la Tierra, República del Paraguay, Región Oriental, 1:500.000.
- HOLBEN, B. N., 1986, Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 11, 1417-1434.
- HOLBEN, B. N., KAUFMANN, Y. J., and KENDALL, J. D., 1990, NOAA-11 AVHRR visible and near - IR inflight calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 11, 1805 - 1812.
- IVERSON, L. R., COOK, E. A. and GRAHAM, R. L., 1989, A technique for extrapolating and validating forest cover across large regions. - Calibrating AVHRR data with TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 11, 1805 -1812.
- JEWELL, N., 1989, An evaluation of multi-date SPOT data for agriculture and land use mapping in the United Kingdom. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 6, 939 - 951.
- JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., HOLBEN, B. N. and TUCKER, C. J., 1985, Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 8, 1271 - 1318.
- JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G. and KALB, V. L., 1991, Representation of vegetation by continental data sets derived from NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 5, 999 - 1022.
- KIDWELL, K. B., 1988, NOAA Polar Orbiter (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10 and NOAA-11) Users Guide, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data, and Information Service, National Climatic Data Center, Satellite Data Services Division, unveröffentliche Schrift, Princeton Executive Square, Roon 100, Washington, D.C. 1988. Bericht in BGR, Ref. 1.32, Fernerkundung.
- KRAMER, H. J., 1991, Earth Observation - Remote Sensing Overview of Missions and Sensors, DLR-Bericht, in BGR, Ref., 1.32, Fernerkundung.
- MALINGREAU, J. P., LAPORTE, N. and GREGOIRE, J. M., 1980, Exceptional fire events in the tropics; Southern Guinée, January 1987. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 12, 2121 - 2123.
- MALINGREAU, J. P. and TUCKER, C. J., 1990, Ranching in the Amazon Basin; Large-scale changes observed by AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 2, 187 - 189.
- MASELLI, F. CONESE, C. and PETKOV, V., 1993, Environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel through the use of NOAA NDVI data. A case study: Niger 1986-89. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 18, 3471 - 3487.

- MATSON, M., and DOZIER, J., 1981, Identification of subresolution high temperature sources using a thermal IR sensor. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47, 1311 - 1318.
- Dozier's algorithm adapted for sub-pixel hotspots applied to oil flares in Persian Gulf.
- Industrial hotspots near Detroit identified.
- MATSON, M., STEPHENS, G. and ROBINSON, J., 1987, Fire detection using data from the NOAA-N satellites. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 7, 961 - 970.
- MUIRHEAD, K., and CRACKNELL, A. P., 1985, Straw burning over Great Britain detected by AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 5, 827 - 833.
- Hotspots counted on three rectified AVHRR LAC scenes of U.K. to evaluate straw burning and extent of compliance with bans on burning on certain days.
- NELSON, R. and HORNING, N., 1993, Forest/non-forest classification of Madagascar from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 8, 1445 - 1446.
- OBERVOLTA-BERICHT, BGR, 1978, *Geowissenschaftliche Erkundung Afrikas mit Satellitenbildern (BMZ Projekt N. 7522105)*, Abschlussbericht BGR, Hannover, 1980.
- ROBINSON, J., 1991, Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1, 3 - 34.
- SCHÄFFER, U., BGR, 1991, *Nutzung von TIROS-N/NOAA-N Wetter-beobachtungssatelliten für die Landanwendung*. Bericht BGR, Hannover, 1991.
- SPITZER D. LLANE, R. and ROOZEKRANS, J. N., 1990, Pollution monitoring of the North Sea using NOAA/AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 6, 967 - 977.
- SINGH, S. M., 1988, Lowest order correction for solar zenith angle to Global Vegetation Index (GVI) data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 11, 1565 - 1572.
- TOWNSHEND, J. R. G., CHOUDHURY, B. J., GIDDINGS, L., JUSTICE, C. O., PRINCE, S. D. and TUCKER, C. J., Comparison of data from the Scanning Multifrequency Microwave Radiometer (AVHRR) for terrestrial environmental monitoring: An overview. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 10, 1687 - 1690.
- TOWNSHEND, J. R. G. and JUSTICE, C. O., 1986, analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 11, 1435 - 1445.
- TUCKER, C. J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environ.*, 8, 127.
- VIEHOFF, T., 1990, A shipborne AVHRR-HRPT receiving and image system for polar research. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 5, 877 - 866.
- WARD, S. A., WEAVER, R. E. and BROWN, R. W., 1989, Monitoring heather burning in the North York Moore National Park using multi-temporal Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 7, 1151 - 1153.

ANEXO

| <i>Viaje y desarrollo del trabajo</i> | | | |
|---------------------------------------|---|------------|---|
| | | 08.02.1994 | Procesamiento de imágenes satelitarias de datos NOAA. |
| 27.01.1994 | Viaje Frankfurt, Sao Paulo hacia Asunción | | Instalación de la red de computación LAPLINK. |
| 28.01.1994 | Llegada a Asunción a las 11.00 horas. | 09.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| | Presentación con los empleados del proyecto, verificación del equipo de trabajo y entrega de las imágenes satelitarias traídas. | | Entrenamiento de la contraparte en la transferencia de datos del Arc-Info vía programa LAPLINK. |
| 29.01.1994 | sábado. | 10.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| 30.01.1994 | domingo. | 11.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| 31.01.1994 | Preparación de los trabajos. discusión con el director del proyecto acerca del valor de los datos NOAA del 10 de junio de 1992. | 12.02.1994 | sábado. |
| 01.02.1994 | Se comprobaron los defectos del monitor VGA de la unidad ERDAS y se reparó. | 13.02.1994 | domingo |
| | Se reparó provisoriamente la unidad de salida (Calcomp-Plotter) de la unidad Arc-Info. | 14.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| 02.02.1994 | Se trabajó con los niveles de agua de los ríos del Chaco (datos de enero 1992 hasta diciembre 1992) en la interpretación de los datos NOAA de junio 1992. Preparación para una exposición en forma de diagrama. | 15.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| | | 16.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| 03.02.1994 | Se compró un monitor de reemplazo para la unidad ERDAS. La contraparte y la dirección del proyecto evaluaron conjuntamente las posibilidades de ingreso de los datos NOAA y los datos LANDSAT TM para el monitoreo. | 17.02.1994 | Trabajo utilizando datos NOAA para el uso geológico; como ejemplo: Extensión de los basaltos de Paraná e identificación de las unidades Precámbricas en el Paraguay Oriental. |
| 04.02.1994 | Prueba de los datos NOAA existentes en la unidad ERDAS. | | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| | Procesamiento de imágenes junto con 3 personales. | | De paso se unió el Cal Comp-Plotter directamente con el procesador de datos Arc-Info (Arc-Info-Rechner) (se logró 2 estaciones de trabajo independientes). |
| 05.02.1994 | sábado | 18.02.1994 | Entrenamiento de la contraparte en procesamiento de imágenes con el sistema ERDAS. |
| 06.02.1994 | domingo | | Chequeo del sistema y seguridad del sistema (programa anti-virus plus). Se obtuvo una nueva cinta-NOAA. |
| 07.02.1994 | Procesamiento de imágenes de datos NOAA. Salida de las imágenes satelitarias hacia Tectronic Phaser II. | 19.02.1994 | sábado |
| | 1. Identificación de paleocauces en el Chaco oeste. | | |
| | 2. Determinación de un límite de vegetación hasta ahora desconocido al Oeste de las colonias en el Chaco (eventual recorrido NE-SW). | | |

| | | | |
|------------|--|------------|---|
| 20.02.1994 | domingo | 06.02.1994 | domingo. |
| 21.02.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA (aprovechamiento multitemporal). | 07.03.1994 | Se llevó a cabo la instalación del software Quattro-Pro. |
| 22.02.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA. Visita del Embajador de la República Federal de Alemania al proyecto. | 08.03.1994 | El procesador de datos ERDAS está nuevamente operando, con limitaciones, luego de su entrega a través de la Firma-Servicio. El disco del sistema "C" ha sido dañado evidentemente por el colapso ocurrido el 03.03.1994. Se está trabajando a pesar de este problema. El programa ERDAS funciona con restricciones. |
| 23.02.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA. | | |
| 24.02.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA. Compra de una nueva computadora necesaria para el ingreso de datos Dbase y Arc-Info. | | |
| 25.02.1994 | Sobrevuelo del río Pilcomayo. Determinación de las fronteras de vegetación; comparación con los datos NOAA. | 09.03.1994 | El disco del sistema "C" tiene un problema físico. Se puede leer datos en forma limitada, más no se puede volver a grabar. Hay que agregar los datos perdidos del sistema del disco "C". La unidad de procesamiento de datos LION se desconectará del sistema. |
| 26.02.1994 | sábado. | | |
| 27.02.1994 | domingo | | |
| 28.02.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA. Se imprimió imágenes satelitarias para identificar las superficies actuales de deforestación. Desarrollo de un "ALGORITMO DE DEFOR-ESTACION" con ERDAS. | 15:30 | Se ha equipado con un nuevo sistema de disco del mismo fabricante a la unidad de procesamiento de datos LION. Todos los datos van a recuperarse. |
| 01.03.1994 | (Feriado) Preparación del informe. | | |
| 02.03.1994 | Monitoreo utilizando datos NOAA. Entrenamiento de la contraparte en el monitoreo utilizando los datos NOAA. | | ERDAS será nuevamente instalado en forma parcial. Todos los programas serán probados para detectar fallas. |
| 03.03.1994 | Se colapso el sistema por el equipo de alimentación fallado, del procesador de datos ERDAS. Se reparó. | | La unidad trabaja nuevamente sin errores. |
| 04.03.1994 | Sobrevuelo de las colonias del Chaco. "Ground-Check" (chequeo de suelos) de los datos NOAA. | 10.03.1994 | Elaboración del informe |
| 05.03.1994 | sábado. | 11.03.1994 | Entrega del informe y despedida por la contraparte. Comienzo del viaje de regreso a Alemania 17:10. |

