



GUÍA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE EN ZONAS VULNERABLES A LA SALINIZACIÓN EN EL CHACO PARAGUAYO

AUTORES:

Rafaela Laino

Robert Neufeld

Albrecht Glatzle

PARAGUAY / 2022



Publicación de la Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay

Versión No 1

Avenida Santa Teresa, 3088 y Concejal Vargas - CP 001410

Asunción, Paraguay

+595 (974) 891 666

Editado por Conceptual Ventures E.A.S.

Autores:

- Rafaela Laino. Dra. en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable por El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Robert Neufeld. M.Sc. en Riego y Medioambiente Vegetal por la Universidad Ben Gurion del Negev, Israel.
- Albrecht Glatzle. Dr. en Ciencias Agrarias en Nutrición Vegetal por la Universidad de Hohenheim, Alemania. Científico del Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos con especialidad en Manejo de Pasturas y Recursos Naturales en la misma universidad.

Producción: Coordinación de las publicaciones, Marcelo Insaurralde.

Diseño y cuidado de la Edición: Lidia Núñez y Guillermo Brítez por Conceptual Ventures.

Diseño gráfico y maquetado: Naoko Okamoto.

Ilustraciones: Silvia Arévalos.

(c) del texto: de los autores, 2022.

(c) de las imágenes, créditos de las figuras conforme apartado al final de la publicación.

LAINO Guanes, Rafaela; NEUFELD, Robert; GLATZLE, Albrecht. GUIA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE EN ZONAS VULNERABLES A LA SALINIZACIÓN EN EL CHACO PARAGUAYO. - Versión N° 1, Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay. 2022

ISBN: 978-99925-3-877-7

El trabajo publicado es de responsabilidad de los autores y no expresan el pensamiento de la Institución. Todos los derechos de reproducción o traducción están reservados para los autores y para la Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay.

Este material ha sido posible gracias al generoso aporte del pueblo estadounidense a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Las opiniones expresadas por sus autores no reflejan necesariamente las opiniones de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

GUÍA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE EN ZONAS VULNERABLES A LA SALINIZACIÓN EN EL CHACO PARAGUAYO

Autores: Rafaela Laino, Robert Neufeld y Albrecht Glatzle

Este material fue elaborado en el marco del proyecto Agroideal Paraguay, por la Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay y la Fundación Ideagro; financiado por The Nature Conservancy

CONTENIDO

6.....1 ANTECEDENTES

8.....2 INTRODUCCIÓN

12.....3 SALES DEL CHACO

12.....3.1 Historia geológica del Chaco

27.....3.2 Tipos de salinización

33.....3.3 Mapa de salinización en el Chaco

36.....3.4 Tipos de sales y usos

**38.....4 PRODUCIENDO EN ZONAS
VULNERABLES A LA SALINIZACIÓN**

38.....4.1 Manejo del agua

40..... 4.1.1 Cosecha del agua de lluvia
y sistematización del terreno

48..... 4.1.2 Drenaje natural del agua

51..... 4.1.3 Drenaje artificial del agua

56..... 4.2. Manejo del suelo

56..... 4.2.1 Cobertura natural original

60..... 4.2.2 Manejo de manchas calvas

70..... 4.2.3 Laboreo del suelo

74..... 4.2.4 Especies de pastos
adaptados a condiciones salinas

78.....5 SALINIZACIÓN EN OTRAS PARTES DEL MUNDO

82.....6 CONSIDERACIONES FINALES

84.....7 AGRADECIMIENTOS

86.....REFERENCIAS

92.....FICHA TÉCNICA DE FIGURAS

1 ANTECEDENTES

La elaboración de esta guía fue una iniciativa del proyecto Agroideal en Paraguay, en colaboración con la Fundación Ideagro.

Agroideal es un sistema de apoyo para la toma de decisiones y evaluación territorial de los riesgos socioambientales asociados a las inversiones en el sector agropecuario, que busca un mayor desempeño económico y productivo, combinado con bajos impactos ambientales y sociales. El proyecto Agroideal fue desarrollado por la organización The Nature Conservancy, que fue fundada en 1951 y actualmente está presente en más de 76 países.

En Paraguay, Agroideal constituye una herramienta de planificación territorial desarrollada para incentivar la producción sostenible en la cadena de valor agropecuaria en el Chaco. El proyecto fue liderado por la Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay.

La Mesa de Finanzas Sostenibles del Paraguay es una plataforma de colaboración voluntaria entre entidades del sistema financiero, que unen sus esfuerzos para promover iniciativas y estrategias que contribuyen a la construcción de una economía más solidaria e inclusiva. La implementación de Agroideal en Paraguay fue financiada por la organización The Nature Conservancy y contó con el apoyo de WWF-Paraguay.

La Fundación Ideagro, es una institución dedicada a la investigación y el desarrollo agropecuario del Chaco Paraguayo. Reúne todos los esfuerzos, recursos, capacidades tecnológicas y experiencias de más de 90 años de sus cooperativas fundadoras; la Cooperativa Chortitzer, la Cooperativa Fernheim y la Cooperativa Neuland.

2 INTRODUCCIÓN

La salinización es un proceso complejo donde intervienen diversos factores naturales y otros asociados a las actividades humanas. Esta Guía fue escrita en un lenguaje accesible a la comunidad interesada en promover el desarrollo sostenible y en conocer la dinámica del agua y de las sales en el Chaco Central Paraguayo.

Este trabajo ha concentrado esfuerzos en recopilar y sistematizar las prácticas agropecuarias que se realizan en torno a la vulnerabilidad a la salinización del Chaco Central en Paraguay, para registrar y transmitir el conocimiento local. De esta forma se realiza un aporte para fomentar la adopción de técnicas de desarrollo y producción sostenible en áreas vulnerables a la salinización en Paraguay y en el mundo.

A partir de la sección 3 de la Guía se aborda el tema de las sales presentes en el Chaco. Para un mejor entendimiento del origen de la sal y los tipos de salinización presentes en áreas determinadas, esta sección se inicia relatando y resumiendo en pocas páginas la historia geológica del Chaco de miles de millones de años (ma) de manera ilustrativa.

Se presenta el mapa de las áreas más vulnerables a la salinización en el Chaco, en el cual también se observan las texturas predominantes de los suelos del Chaco, de manera simplificada y los puntos que fueron visitados para la realización de esta Guía. Esta sección termina describiendo los tipos de sales que existen en el Chaco, con las restricciones de uso para la ganadería.

En la sección 4 se describen las prácticas agropecuarias de manejo del agua y del suelo de un grupo de productores, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias para ser plasmadas en esta Guía. La selección de los establecimientos visitados para este trabajo se realizó en base a su ubicación geográfica, es decir, aquellos localizados dentro del área del “cinturón de salinidad”¹ del Chaco, así como por la posibilidad de acceso y el nivel de las mejoras que vienen implementando, específicamente considerando la problemática de la salinización y el manejo del agua y del suelo. Por lo tanto, la información que se presenta en esta sección se ha generado a través de recorridos de campo

¹ El cinturón se describe en la sección 3.3

y entrevistas semiestructuradas a los productores que vienen trabajando desde hace varias décadas en las zonas más salinas del Chaco.

Toda la información obtenida fue revisada por expertos en los distintos temas abordados en la Guía y complementada con revisión de literatura sobre salinización en el país y en otras partes del mundo. Finalmente, se citan experiencias de otros países sobre los procesos de salinización y se presentan las consideraciones finales de la Guía.



Foto: Lidia Núñez

3 SALES DEL CHACO

3.1 HISTORIA GEOLÓGICA DEL CHACO

Para entender el proceso de la salinización, se presenta un resumen de la historia geológica del Chaco, con el fin de comprender mejor el origen de la sal, la fisiografía² y el sistema de drenaje de la llanura chaqueña actual. La cronología de esta historia se observa en la Figura 1, siguiendo los eventos más importantes que ocurrieron desde hace más de 500 millones de años (ma).

² **La fisiografía** describe la forma del relieve de un territorio determinado

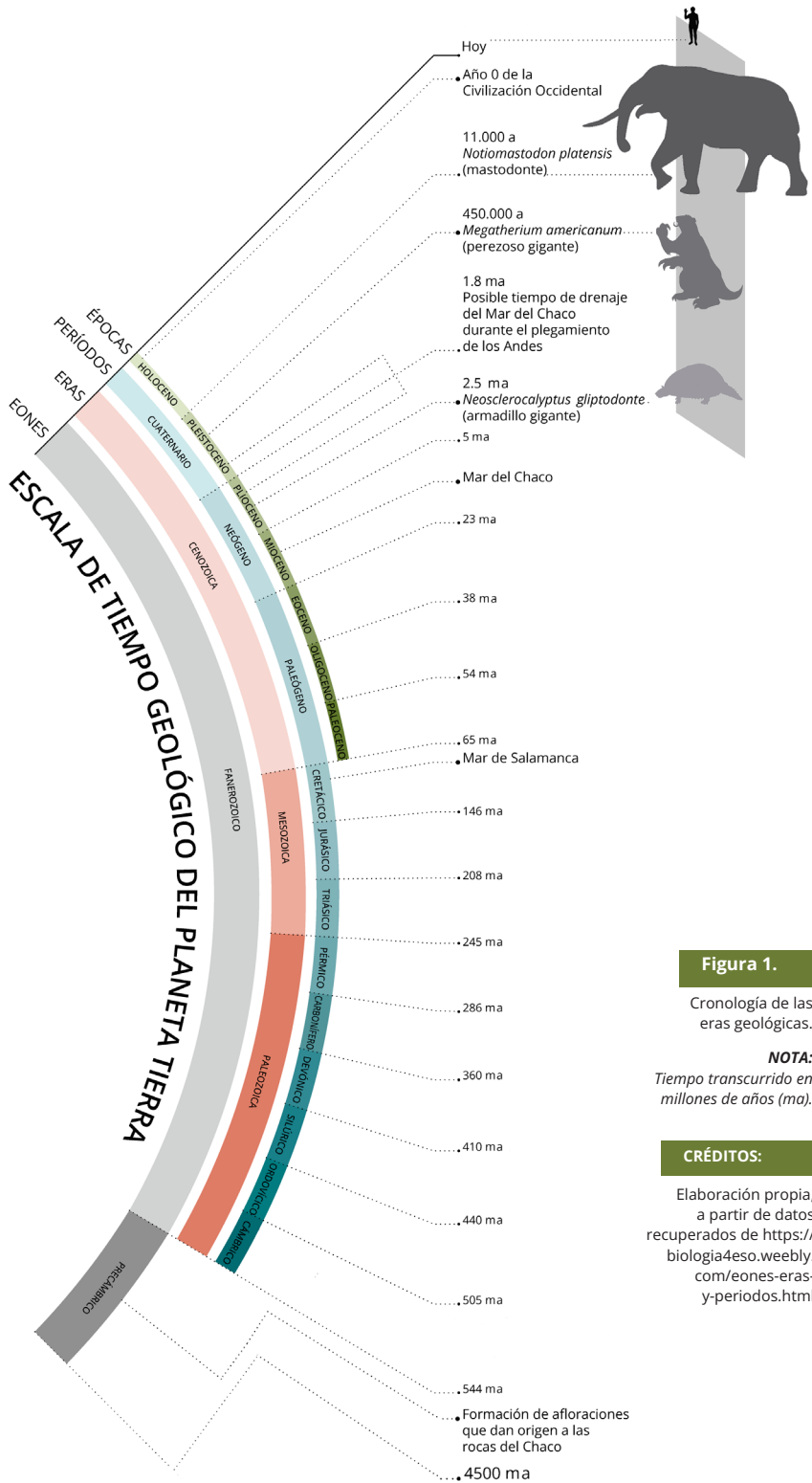


Figura 1.

Cronología de las eras geológicas.

NOTA:
Tiempo transcurrido en millones de años (ma).

CRÉDITOS:

Elaboración propia, a partir de datos recuperados de <https://biologia4eso.weebly.com/eones-eras-y-periodos.html>

En la Era Precámbrica, hace más de 544 ma, se formaron las rocas que hoy constituyen parte del territorio del Chaco, hacia el norte afloran las rocas de esta era. Las rocas volcánicas, identificadas en Fuerte Olimpo y Fuerte San Carlos, tendrían una edad aproximada de 1342 ma (De Barros Gomes *et al.* 2000).

En la Era Paleozoica (entre 544 y 245 ma atrás) el Chaco fue un gran mar en el Silúrico-Devónico. La formación marina del Devónico posee condiciones geológicas para la formación de petróleo y gas, de acuerdo a Klassen (2007).

En la Era Mesozoica (entre 245 y 65 ma atrás), desde el Triásico, sobre las capas de sedimentación marina del Chaco se formaron depósitos de sedimentos continentales, que son capas rocosas no consolidadas del clima seco continental de aquella era. Millones de años después, hacia fines del Cretácico (y de la era Mesozoica) e inicio del Paleoceno (y de la era Cenozoica), las aguas marinas del Atlántico cubrieron la mayor parte de América del Sur, desde la Patagonia en el sur hasta Bolivia, y casi toda la actual cuenca amazónica en el norte, formándose así el denominado mar de Salamanca, que se observa en la Figura 2 (Arana *et al.* 2021).

En la Era Cenozoica (desde 65 ma hasta la actualidad), a partir del Eoceno, comenzó la elevación de Los Andes y alcanzó su nivel actual durante el Plioceno (Mingramm *et al.* 1979). Esta gran actividad tectónica permitió que el agua del mar Atlántico ingrese nuevamente al continente y se extienda hasta el Chaco Paraguayo y el sur de Bolivia (Aceñolaza 2004). Por lo tanto, existió en Paraguay, un mar del tipo Mar Mediterráneo, al cual se lo denominó Mar Chaqueño (Miraglia 1963). Otros autores también lo llamaron Mar Entrerriano o Paranaense y lo describieron como un mar de poca profundidad, originado de uno o varios niveles altos del mar ocurridos durante el Mioceno (Sprechmann *et al.* 1999). De acuerdo a Arana *et al.* (2021), la ingresión de este mar se dio por el río de la Plata y la cuenca del río Salado en Argentina y abarcó casi la totalidad de la llanura chaco-pampeana, como se observa en la Figura 3.



Mar de Salamanca
Cretácico tardío, 80 ma atrás
Fuente: Arana et al. (2021)



Mar de Salamanca

Cretácico tardío, 80 ma atrás

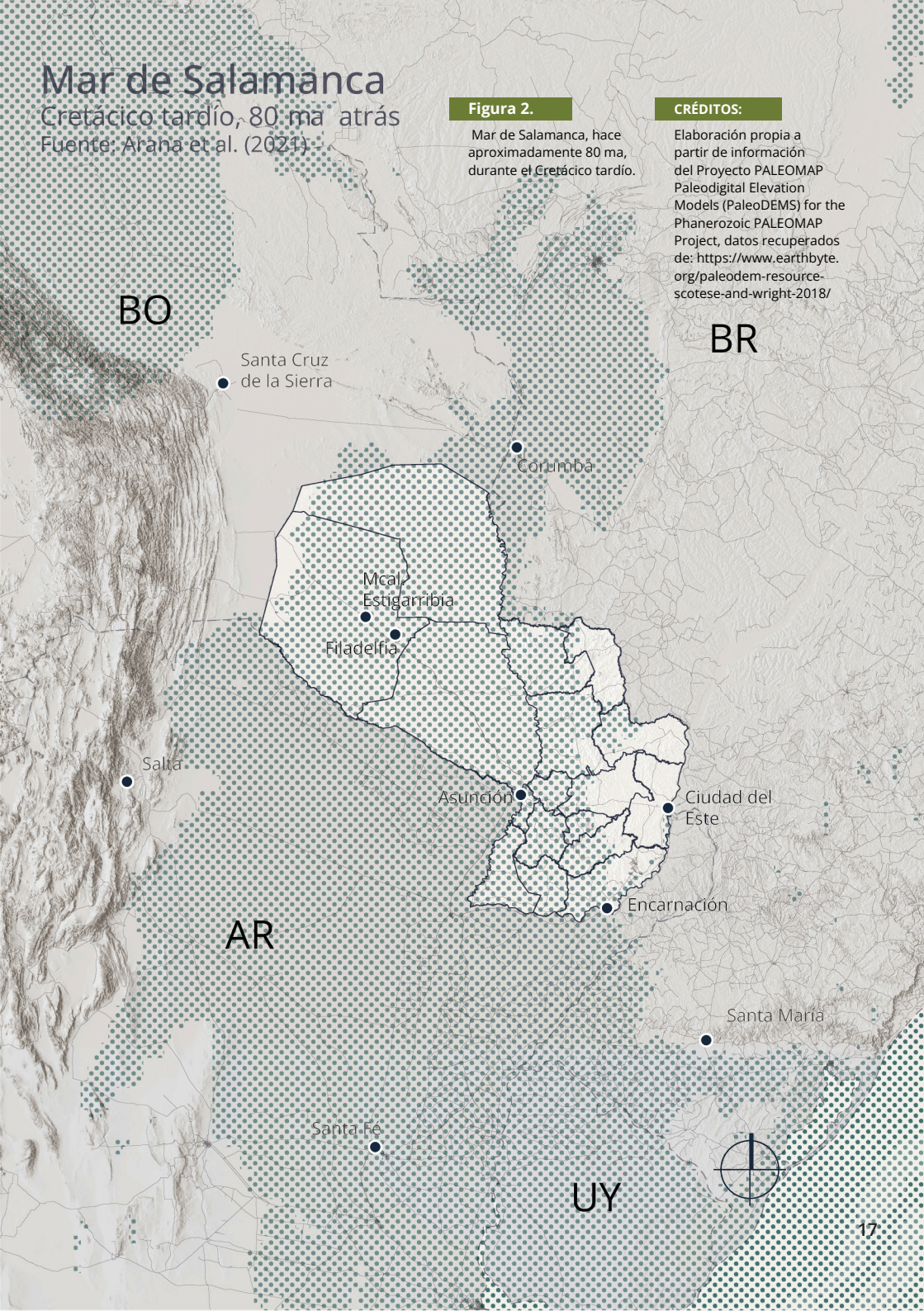
Fuente: Arana et al. (2021)

Figura 2.

Mar de Salamanca, hace aproximadamente 80 ma, durante el Cretácico tardío.

CRÉDITOS:

Elaboración propia a partir de información del Proyecto PALEOMAP Paleodigital Elevation Models (PaleoDEMs) for the Phanerozoic PALEOMAP Project, datos recuperados de: <https://www.earthbyte.org/paleodem-resource-scotese-and-wright-2018/>





Mar del Chaco

Mioceno medio a tardío, 17 ma atrás

Fuente: Arana et al. (2021)



Mar del Chaco

Mioceno medio a tardío, 17 ma atrás

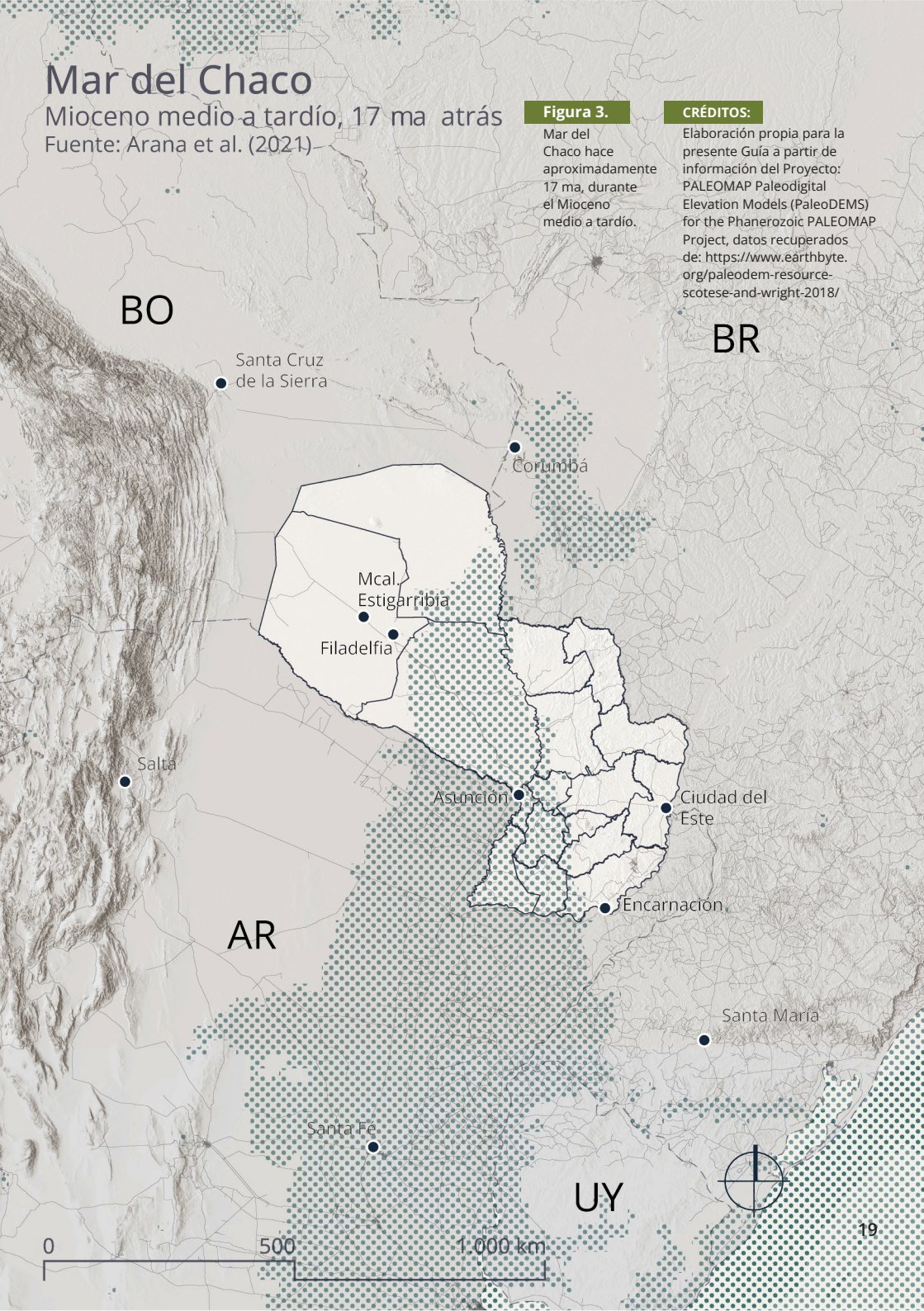
Fuente: Arana et al. (2021)

Figura 3.

Mar del Chaco hace aproximadamente 17 ma, durante el Mioceno medio a tardío.

CRÉDITOS:

Elaboración propia para la presente Guía a partir de información del Proyecto: PALEOMAP Paleodigital Elevation Models (PaleoDEMS) for the Phanerozoic PALEOMAP Project, datos recuperados de: <https://www.earthbyte.org/paleodem-resource-scotese-and-wright-2018/>



El sistema de drenaje del Chaco probablemente se ha formado durante el levantamiento y plegamiento de los Andes en el Plioceno (del Terciario) y Pleistoceno (del Cuaternario). Los primeros registros fósiles de especies prehistóricas hallados en la llanura Chaqueña serían de esta era. Según estudios paleontológicos, en la zona vivió una especie de elefante llamado Mastodonte (*Notiomastodon platensis*), y otros animales prehistóricos (Klassen 2007), fósiles de estos mamíferos que eran comunes en la zona del Chaco durante el inicio del Cuaternario, se observan en las Figuras 4 y 5.

Procesos fluviales, eólicos, erosivos y de sedimentación, así como procesos tectónicos contribuyeron en gran escala a modelar el paisaje actual del Chaco. Los ríos Pilcomayo y Parapití han influenciado en forma determinante en estos procesos de drenaje y sedimentación. Las nacientes de estos ríos se localizan en las altas zonas andinas, desde donde han transportado agua con productos erosionados hacia el Chaco (PSAC 1998). Anteriormente el río Pilcomayo se dirigía hacia el noreste, luego hacia el este, y hoy fluye al sudeste. Mientras que el río Parapití se dirigía hacia el sudeste y desembocaba en el antiguo cauce del Pilcomayo, que fluía hacia el Pantanal. Hoy el Parapití fluye hacia el norte y desemboca en el Amazonas. En las Figuras 6 y 7 se observan los abanicos aluviales de estos dos ríos.

Figura 4.

Restos de un Mastodonte (*Notiomastodon platensis*), hallado cerca de Fuerte Olimpo durante los trabajos de excavación de un tajarar.



Foto: Gentileza de la Asociación Civil Fernheim.

NOTA: Actualmente estos restos se encuentran en el Museo de la Colonia de Filadelfia.

Figura 5.

Fósil de un armadillo gigante del género *Neosclerocalyptus* de la familia Gliptodonte, hallado en 2020 en Paratodo.

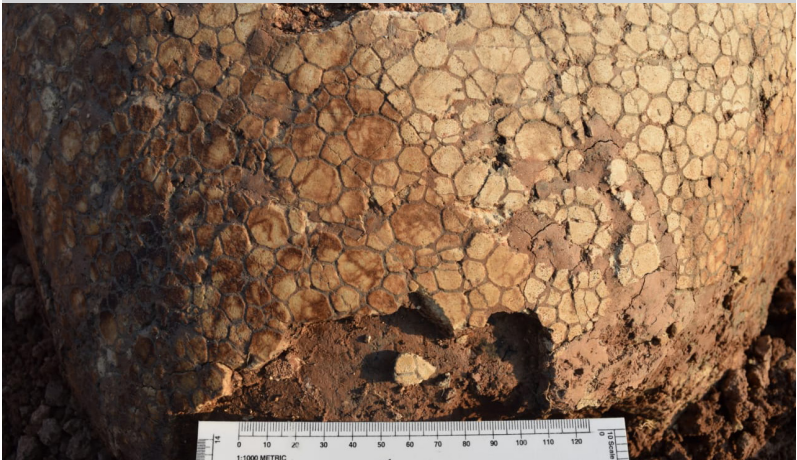


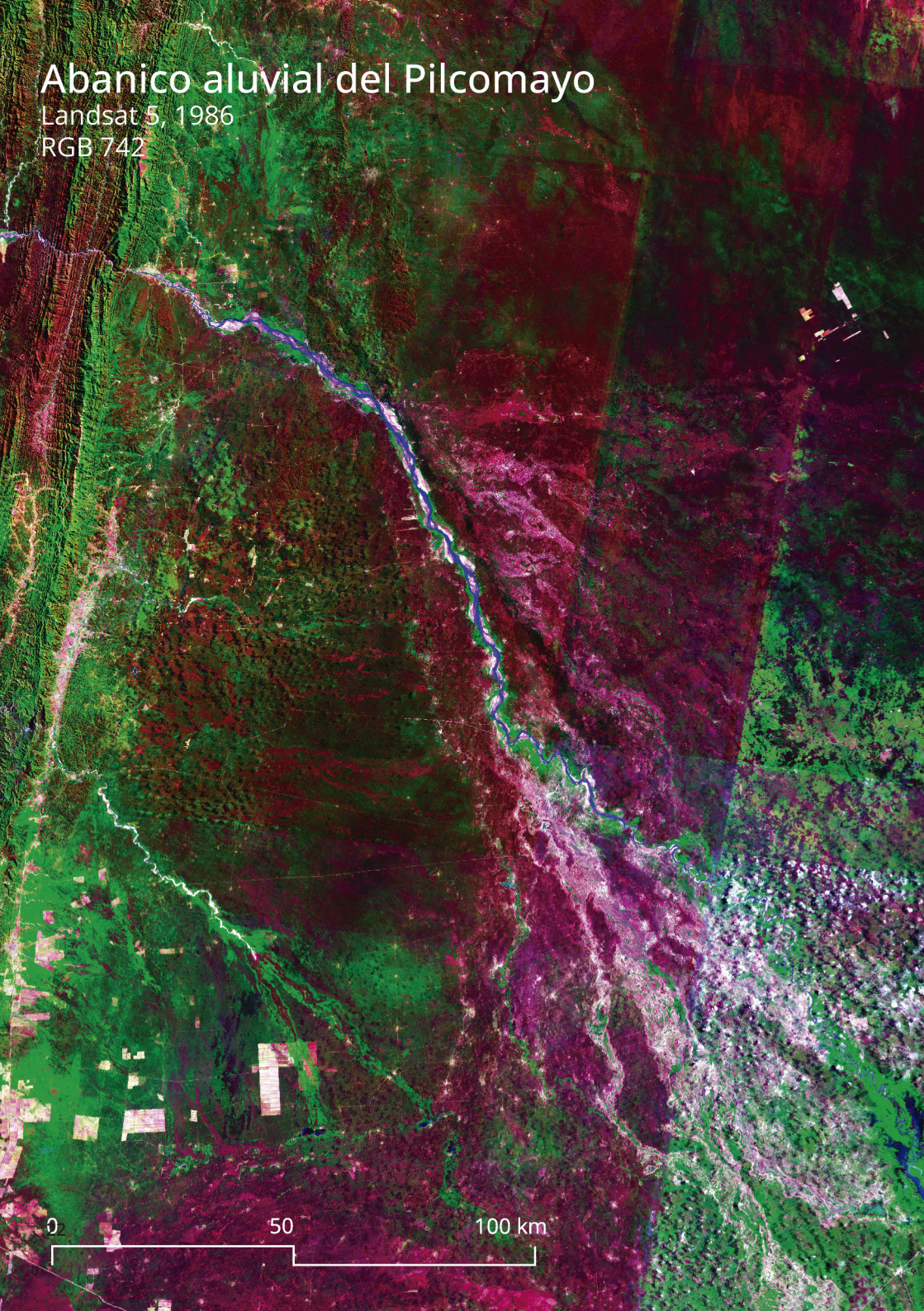
Foto: Gentileza de Sergio Ríos.

NOTA: Actualmente se encuentra en el Laboratorio de Paleontología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA).

Abanico aluvial del Pilcomayo

Landsat 5, 1986

RGB 742



0

50

100 km

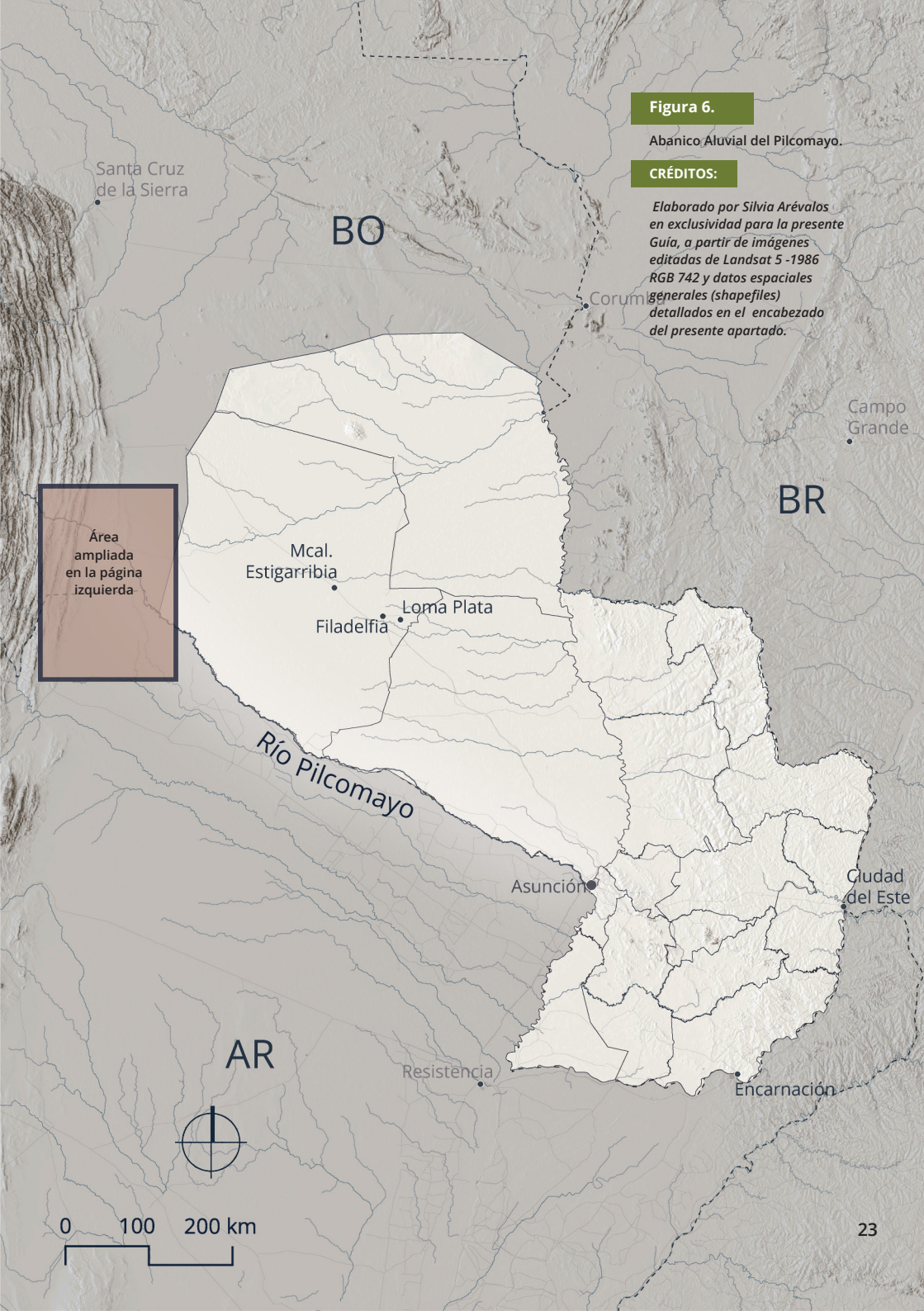


Figura 6.

Abanico Aluvial del Pilcomayo.

CRÉDITOS:

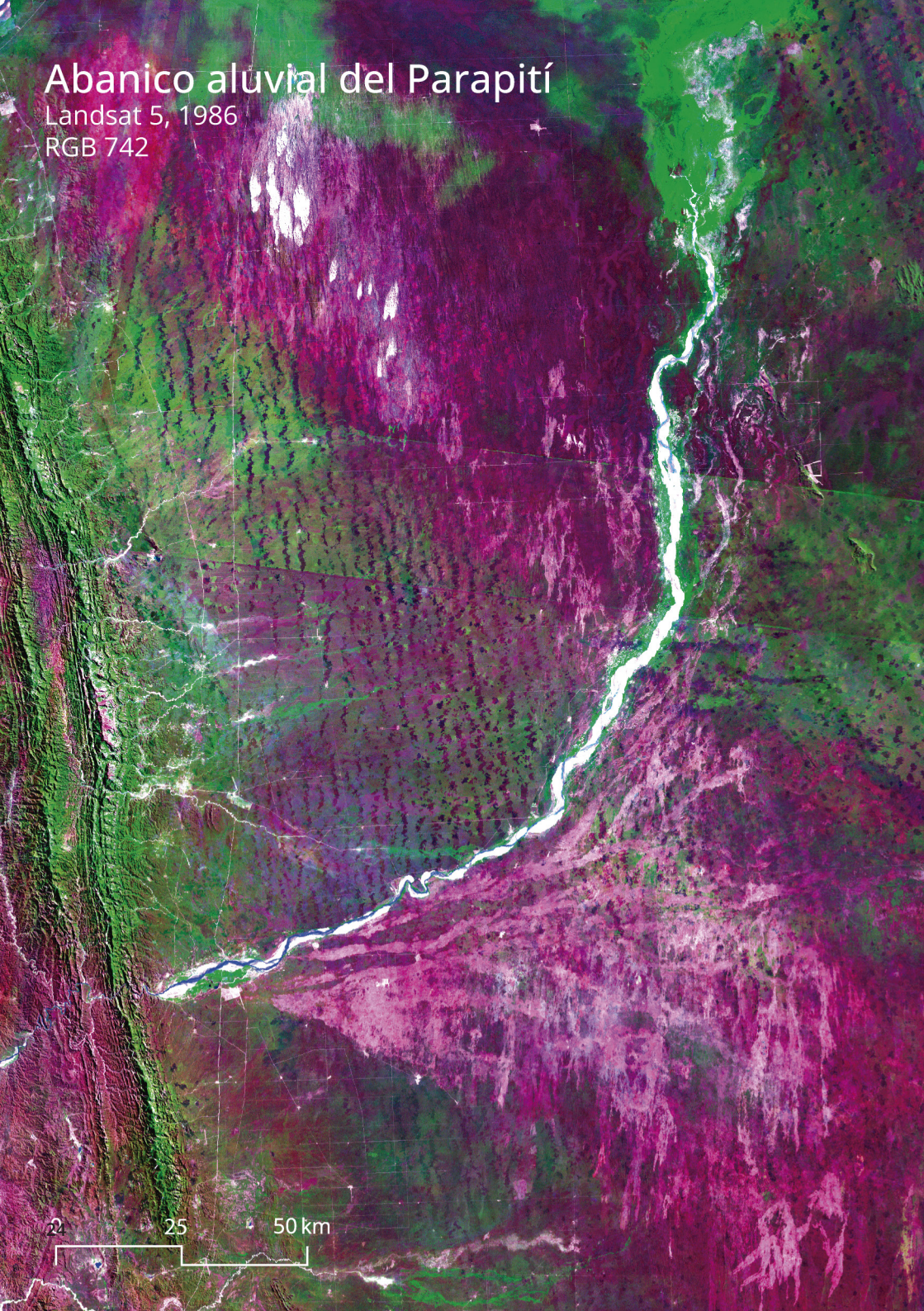
Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de imágenes editadas de Landsat 5 -1986 RGB 742 y datos espaciales generales (shapefiles) detallados en el encabezado del presente apartado.

Área
ampliada
en la página
izquierda

Abanico aluvial del Parapití

Landsat 5, 1986

RGB 742



25 50 km

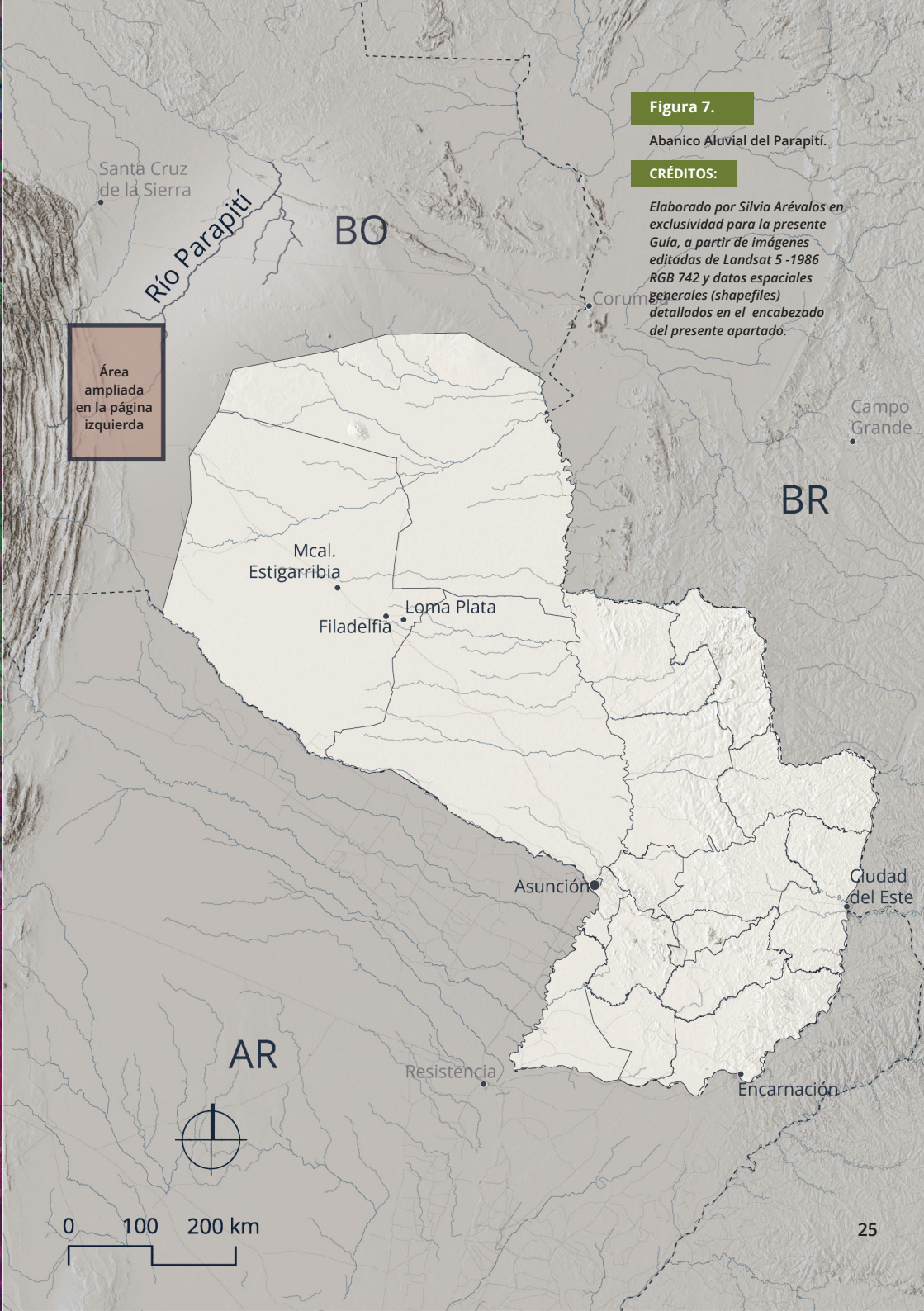


Figura 7.

Abanico Aluvial del Parapetí.

CRÉDITOS:

Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de imágenes editadas de Landsat 5 -1986 RGB 742 y datos espaciales generales (shapefiles) detallados en el encabezado del presente apartado.

Área
ampliada
en la página
izquierda

Campo
Grande

Ciudad
del Este

Los desvíos de los cauces de estos ríos pueden ser atribuidos a la colmatación por la sedimentación de los materiales arrastrados, además de los movimientos tectónicos (Werding citado en PSAC 1998). Los levantamientos tectónicos sub-recientes, en la región que se encuentra entre los ríos Pilcomayo y Parapití, posteriormente conformaron la altura morfológica que actualmente constituye la línea divisoria de las aguas entre las grandes cuencas de los ríos Amazonas y de La Plata. Durante las épocas secas del Holoceno, probablemente el río Paraguay no existía, y el Pantanal de aquel entonces era un lago continental (PSAC 1998).

Actualmente, el río Pilcomayo forma uno de los principales abanicos activos de Sudamérica, junto con el río Bermejo están considerados entre los de mayor carga de sedimentos en el mundo. Todo el material que proviene de la erosión de las montañas que atraviesa el río Pilcomayo, forma la gran llanura del Chaco. El 80 – 90% de la superficie del Chaco se compone de sedimentos Cuaternarios y también Terciarios, varias veces re-depositados (PSAC 1998).

3.2 TIPOS DE SALINIZACIÓN

La Formación Chaco de edad Terciaria-Cuaternaria, es la de mayor importancia en el estudio de las áreas vulnerables a la salinización. Como se describe en punto 3.1, corresponde a un ambiente de deposición de sedimentos no consolidados provenientes de la Cordillera de los Andes. Por lo tanto, el origen de la salinidad en el Chaco se atribuye a la evaporación que contribuye en gran medida a la ocurrencia de evaporitas y a la circulación subterránea y superficial de las aguas que interceptan y se mineralizan al contactar físicamente con rocas evaporíticas que fueron depositadas cuando el mar ingresó al continente (Larroza y Fariña 2005).

La salinización puede ser primaria o secundaria. La salinización primaria es de origen natural y se da en los suelos donde el material geológico original es rico en sales o en zonas costeras cercanas al mar. Se da también donde las sales liberadas por la meteorización de las rocas no son arrastradas debido al mal drenaje, o en zonas deprimidas topográficamente, con suelos con mal drenaje natural en regiones de clima árido y semiárido donde la evapotranspiración supera a la precipitación.

Por otro lado, la salinización secundaria es inducida por la acción del ser humano y se produce fundamentalmente por el uso de prácticas inadecuadas en el riego y en el manejo del suelo (Dregne *et al.* 1995). La salinización por irrigación se produce por la falta de drenaje adecuado, como consecuencia de las sales acumuladas, aportadas con el riego. En el caso de que el lavado de las sales sea insuficiente, la salinización puede darse inclusive con agua de riego de buena calidad por el efecto de la evapo-concentración. Este proceso puede ser acelerado por la baja calidad del agua de irrigación, con relativamente alta conductividad eléctrica y/o elevada sodicidad, baja conductividad hidráulica del suelo y condiciones de alta evaporación. También puede darse por una mala nivelación del terreno, un diseño de riego inadecuado o por el represamiento de los ríos (Figura 8).

La salinización de tierras secas no irrigadas se produce a través de diferentes mecanismos o una combinación de factores naturales y/o antropogénicos. De forma natural, el aporte de sales al suelo se da en lugares con alto nivel de la napa freática³ salina, donde las sales alcanzan la zona radicular e incluso la superficie por la ascensión capilar del agua subterránea. Este fenómeno se describe con mayor detalle en la sección 4.2.1.

³ **Nivel de la napa freática** es la profundidad hasta donde el agua subterránea del acuífero mantiene el suelo saturado

Figura 8.

Salinización originada por el represamiento de un río en el Chaco Central.



NOTA: La izquierda del camino corresponde a la zona río arriba y la derecha la zona río abajo.

Foto: Albrecht Glatzle.

La salinización por ascenso capilar es posible solamente cuando la napa freática salobre está a una distancia relativamente pequeña de la superficie del suelo, por la limitación impuesta mayormente por el diámetro medio de los poros del suelo y la tensión superficial del agua. De esta manera, el ascenso capilar es más alto en texturas finas, entre las cuales las limosas tienen mayor conductividad hidráulica, por lo tanto, representan mayor riesgo. Nitsch (1998) definió 1,8 a 2,1 m de profundidad de la napa freática como distancia crítica para un suelo de monte en la Estancia Santa Sofía del Chaco Central.

De forma antropogénica, el reemplazo de la vegetación nativa perenne de raíces profundas por cultivos de raíces menos profundas y reducido potencial de evapotranspiración, puede originar el fenómeno de salinización. Este proceso se explica con mayor detalle en la sección 4.2.1.

Existen especies de árboles y arbustos con la capacidad de exhibir alta tensión de succión y de excluir parte de las sales al absorber agua con las raíces, concentrando así las sales en la zona radicular y aumentando la salinidad (hasta los niveles máximos tolerables según la especie) del suelo alrededor de la planta, y reconcentrando, al mismo tiempo, las sales en la napa acuífera, poco profunda y alcanzada por las raíces, después de un evento de dilución con agua de lluvia infiltrada.

Otra de las causas de salinización secundaria tiene relación con el método de desmonte, luego del cual se procedía a la quema de los residuos en la superficie total o en franjas. Este hecho libera las sales y los nutrientes acumulados en la biomasa y causa cierta salinización de la capa superficial (Nitsch citado por Mitlöchner 1998). En los años siguientes al desmonte, las sales tendían a lavarse si la profundidad de la napa freática lo permitía.

Otro factor importante referente a la salinización secundaria no antropogénica es la actividad biológica en el suelo, pudiendo ser clasificada como salinización secundaria biológica. Las hormigas cortadoras llamadas Akeké (*Acromyrmex* sp.) y especialmente las Ysaú (*Atta* sp.), como parte de sus actividades sacan a la superficie importantes cantidades del material del subsuelo, rico en sales y con bajos contenidos de materia orgánica. Giesbrecht y Nägele (2009) midieron niveles de salinidad 9 veces y 12 veces

mayor en el suelo sacado por las hormigas *Acromyrmex* sp. y *Atta* sp. respectivamente, en comparación con el suelo circundante. Por consiguiente, una gran cantidad de nidos de Akeké dentro de una pastura es considerada una degradación del suelo y un indicador de salinización (Nitsch citado por Wiens 1998).

Quizás de mayor importancia en cuanto a la salinización son las hormigas Ysaú, por la gran cantidad de suelo que sacan a la superficie, creando nidos de forma convexa de gran tamaño, con diámetros de hasta 10 metros. Este fenómeno natural causa salinización local en forma de mancha circular, por el subsuelo salobre transportado a la superficie y la forma convexa del hormiguero que facilita el escurrimiento del agua pluvial y reduce la infiltración.

Este factor, sumado a las actividades antropogénicas que se realizan luego del desmonte, puede agravar el problema. Esto se da cuando se nivela el terreno y estos grandes nidos de hormigas son nivelados por las topadoras. De esta forma se extiende el suelo salino del nido en la superficie circundante, originando una mancha salina de forma ovalada (Nitsch citado por Mitlöchner 1998, Glatzle 1999). Estas áreas son conocidas como manchas calvas o peladares. Sin embargo, además de las actividades de las hormigas, existen otras posibles causas que originan estas manchas como se detalla en la sección 4.2.2. En la Figura 9 se observa un antiguo nido que existía en el monte original, que posteriormente, quedó en forma ovalada luego del desmonte y la nivelación del terreno.

Figura 9.

Antiguo hormiguero de Ysaú (*Atta* sp.) luego de un desmonte reciente.



NOTA: Se observa la mancha levemente elevada en foma convexa y ovalada.

Foto: Robert Neufeld 2022.

3.3 MAPA DE SALINIZACIÓN EN EL CHACO

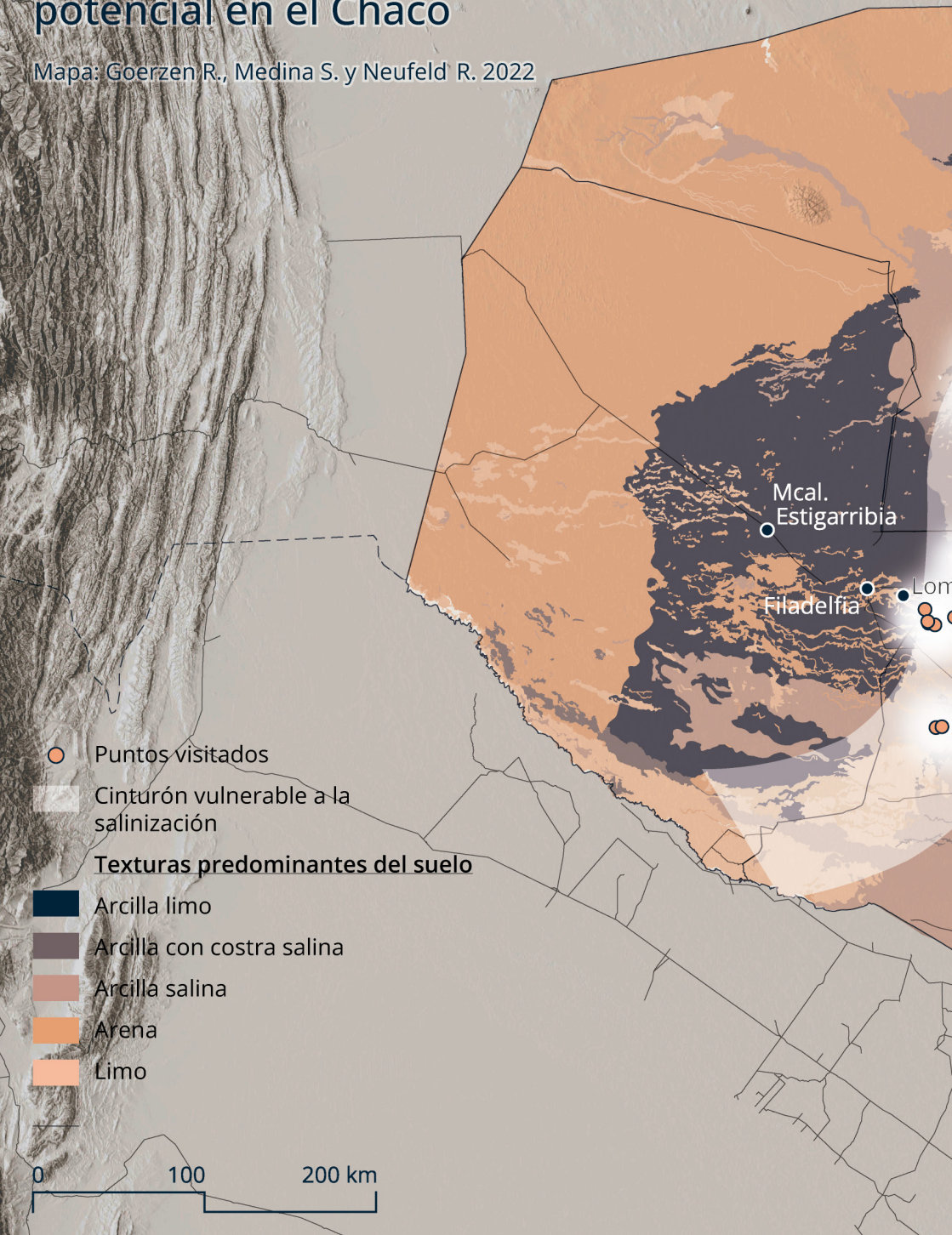
La transición entre la zona de inundaciones periódicas del Chaco Húmedo y el Chaco Semiárido se caracteriza por ser una franja que presenta fenómenos de salinización en lagunas, riachos y cauces. Consiste en un cinturón que llega a alcanzar 50 a 75 km de ancho y 500 km de largo (Wiens 1998). Estos fenómenos de salinización son, en gran parte, naturales y se encuentran ligados a la napa freática salada y elevada en la zona (Bender y Flath 1961). En la Figura 10 se observa el cinturón con potencial de salinización en el Chaco Paraguayo (en forma de S). Los puntos marrones indican los sitios recorridos para la realización de esta Guía y los otros colores (tonos de marrones) corresponden a las diferentes texturas predominantes del suelo reclasificadas simplificada por Fariña *et al.* (2022).

Dentro del área del cinturón, los niveles de salinidad de la napa freática generalmente contienen de 20.000 a 50.000 ppm de sales totales⁴ y la napa se encuentra generalmente entre 1 a 3 m de profundidad. Esta situación es “ideal” para la ascensión capilar de las sales en ciertos lugares, como en los bordes de las lagunas, esto se describe en la sección 4.2.

⁴ El agua del mar tiene en promedio una salinidad de 35.000 ppm

Cinturón de salinización potencial en el Chaco

Mapa: Goerzen R., Medina S. y Neufeld R. 2022



○ Puntos visitados

■ Cinturón vulnerable a la salinización

Texturas predominantes del suelo

■ Arcilla limo

■ Arcilla con costra salina

■ Arcilla salina

■ Arena

■ Limo

0 100 200 km

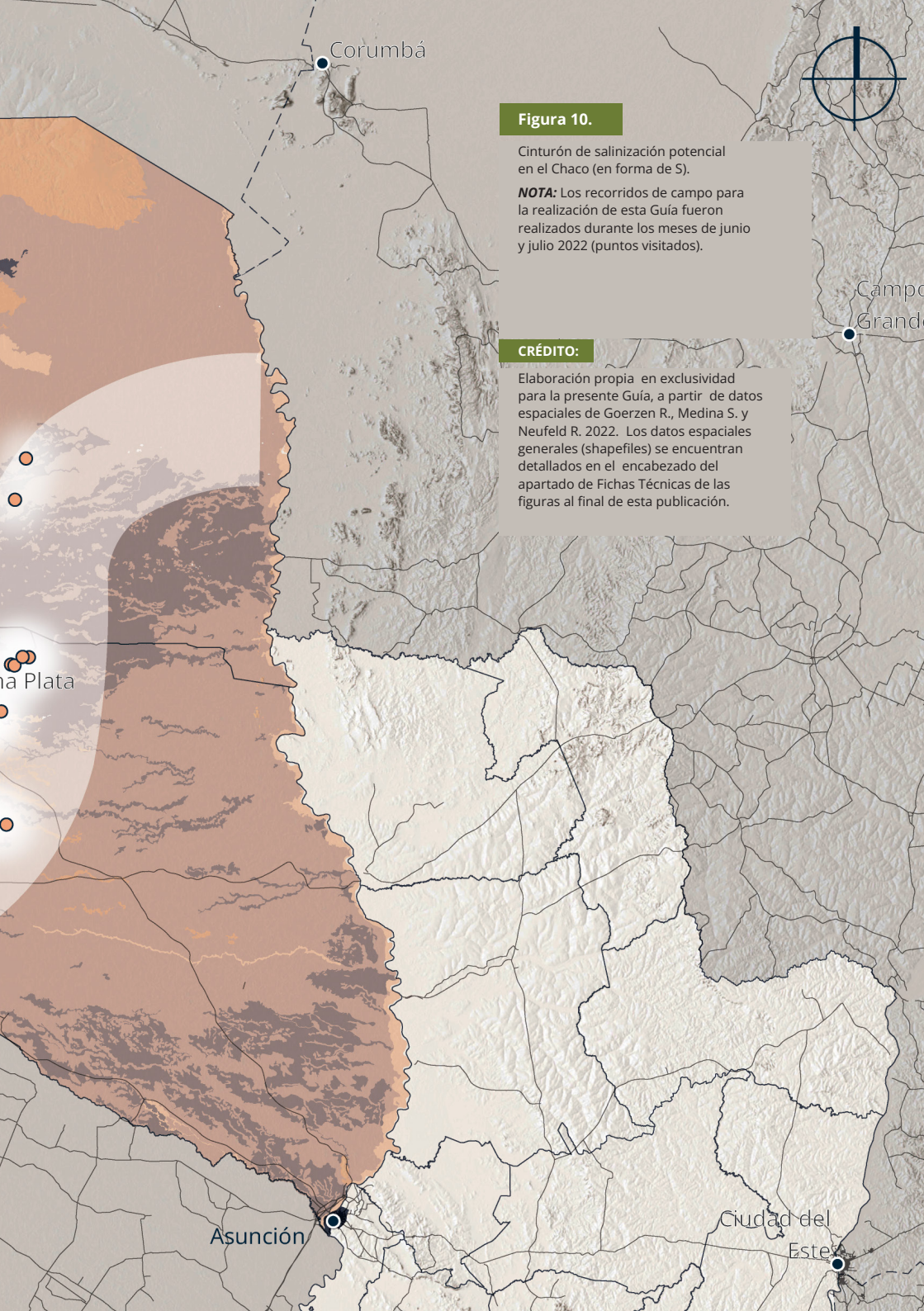


Figura 10.

Cinturón de salinización potencial en el Chaco (en forma de S).

NOTA: Los recorridos de campo para la realización de esta Guía fueron realizados durante los meses de junio y julio 2022 (puntos visitados).

CRÉDITO:

Elaboración propia en exclusividad para la presente Guía, a partir de datos espaciales de Goerzen R., Medina S. y Neufeld R. 2022. Los datos espaciales generales (shapefiles) se encuentran detallados en el encabezado del apartado de Fichas Técnicas de las figuras al final de esta publicación.

na Plata

Campo Grande

Asunción

Ciudad del Este

3.4 TIPOS DE SALES Y USOS

El acuífero freático en la zona de estudio presenta tres tipos de aguas subterráneas: las bicarbonatadas, las cloruradas y las sulfatadas. Estas, a su vez pueden estar combinadas con otros minerales como el Sodio (Na), el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg), y de acuerdo al contenido y la proporción de estos minerales se puede definir el nivel de salinidad (Larroza 2002). Es importante resaltar que además del contenido de sales totales que posee el agua, se debe conocer el tipo de sal y el uso al cual se destinará el agua. Porque al hablar de máximos valores tolerables de sales en el agua, se debe tener en cuenta que los límites tolerables para bovinos no son los mismos que para las plantas (Goerzen *et al.* 2011).

Dentro del cinturón de salinización que se observa en la Figura 10, y al este del mismo, desde Filadelfia y Loma Plata hacia el río Paraguay, el anión predominante en las aguas subterráneas es el cloro. Los cloruros son menos dañinos para el ganado, en comparación con los sulfatos que son sales laxantes y se encuentran predominantemente al noroeste del cinturón. Por lo tanto, donde hay mayormente cloruros, el agua puede contener niveles más altos de sales sin causar inconvenientes para la salud del ganado (Adeline Friesen 2022)⁵. Sin embargo, las plantas generalmente tienen mayores exigencias en cuanto a la calidad del agua (Goerzen *et al.* 2011). Hacia la zona noroeste del cinturón, también se encuentran las aguas subterráneas carbonatadas que son también menos dañinas para el ganado, e inclusive son llamadas “sales engordadoras” junto con las cloruradas (Adeline Friesen 2022)⁶.

^{5 y 6} Comunicación personal



Foto: Lidia Núñez

4 PRODUCIENDO EN ZONAS VULNERABLES A LA SALINIZACIÓN

4.1 MANEJO DEL AGUA

Para producir sosteniblemente en zonas vulnerables a la salinización, el manejo responsable del agua es de fundamental importancia. Este manejo debe incluir al agua superficial (de lluvia) y al agua subterránea (de la napa freática). En zonas con la napa salina cercana al nivel crítico, todo exceso de agua supone un riesgo de salinización. La planificación del manejo del agua en la finca debe considerar su ubicación en relación a esta red natural de drenaje de agua superficial y aprovecharla en cuanto es posible.

Considerando toda la región del Chaco Paraguayo, existe una red de sistemas de drenaje natural de agua superficial y subterránea o de la napa salina. En los años 1992 y 1993 se cuantificó la salinidad de estos ríos mediante la medición de la conductividad eléctrica, y según los resultados del estudio (PSAC 1998), los ríos Confuso, Aguaray Guazú, Negro, Montelindo, Siete Puntas y Verde, además de varios cauces de menor longitud, son considerados drenajes naturales de agua de escorrentía y también de agua subterránea salada, como indicaron los altos niveles de conductividad eléctrica. En general, cuanto más profundo es el cauce, más agua de drenaje subterráneo conduce. Del mismo modo, Wiens (1998) mencionó que la lixiviación de sales del sistema a través de esta red de drenaje natural, ayuda a estabilizar la salinización producida por el ascenso de la napa freática.

4.1.1 COSECHA DEL AGUA DE LLUVIA Y SISTEMATIZACIÓN DEL TERRENO

La lluvia que cae sobre una propiedad en el Chaco generalmente es muy bienvenida y requerida por el sistema. El agua de lluvia es un recurso hídrico fundamental para la producción en esta zona. Hasta ahora no existen recursos hídricos alternativos para el riego sin mayores inversiones en captación de agua y/o desalinización (Larroza 2002) excepto en la región noroeste del Chaco Paraguayo donde se aprovecha el agua del acuífero Yrendá Toba Tarijeño. Por lo tanto, la construcción de reservorios de agua de lluvia es una práctica común. El agua colectada en época de lluvias es almacenada en tajamares, que generalmente son construidos en sitios con suelos preferentemente arcillosos. En los lugares donde la napa acuífera salobre se encuentra cercana a la superficie (a menos de 4 m de profundidad), estos tajamares no deben ser muy profundos para evitar que el agua almacenada se salinice al entrar en contacto con la napa salobre.

En muchos casos, también en suelos bastante arcillosos, se infiltra agua subterránea muy salobre mientras el tajamar está vacío. A veces se forma una capa de hasta 10 cm de agua salobre en el fondo de un nuevo tajamar. Posteriormente, esa agua se diluye con el agua de lluvia, disminuye la salinidad y el agua almacenada se vuelve bebible. Después de varios años de uso de un tajamar, toda la salinidad, acumulada inicialmente en el fondo, desaparece por la dilución repetida y el consumo de los animales. El agua salobre de la napa no se puede infiltrar en un tajamar cuando está lleno, debido a que el agua de lluvia almacenada tiene un nivel más alto y ejerce una presión hidrostática hacia la napa. Por el contrario, el agua dulce del tajamar sí puede infiltrarse en el suelo y diluir la napa salobre. En lugares medio

arenosos, mucha agua podría infiltrarse a la napa salobre y hacerla más dulce con el tiempo. Hay casos en los que esta agua diluida en la napa pudo ser cosechada en años de extrema sequía, dejándola infiltrarse en pozos excavados en el fondo de los tajamares secos.

Otra técnica interesante para cosechar agua de lluvia, que se utiliza desde hace varios años en la región, consiste en la sistematización de superficies de terreno para mejorar la conducción y la colecta del agua (Wilbert Harder 2022)⁷. La misma es conducida a través de camellones y canales construidos en el terreno, con las pendientes necesarias para guiar los escurrimientos superficiales al reservorio (Figura 11).

Figura 11.

Sistematización de superficies de terreno para conducir y almacenar el agua de lluvia en camellones y canales, Laguna Capitán (Loma Plata).



Foto: Robert Neufeld 2022.

⁷ Comunicación personal

En los lugares donde la napa acuífera salobre se encuentra a menos de 4 m de profundidad, Cabrera *et al.* (2021) proponen que el suelo extraído, cuando se construye un tajamar, sea utilizado en los bordes para que quede por encima del nivel del suelo. Sin embargo, los autores también advierten que el talud del tajamar no sobrepase los 3 m de altura, debido a la posible salinización de las áreas adyacentes por la presión de la columna de agua sobre la napa acuífera salobre.

En las zonas más vulnerables a la salinización también se observa el uso de geomembranas (carpas gruesas) en los reservorios de agua que están más elevados. En estos casos el agua es almacenada primeramente en un “tajamar pulmón” desde donde es bombeada hasta un reservorio elevado. El propósito de bombear el agua a dicho reservorio es aumentar la capacidad (profundidad) sin aumentar la superficie de evaporación. La geomembrana es utilizada en estos tajamares elevados para evitar que la presión hidrostática del agua almacenada eleve la napa y aumente el riesgo de salinización del suelo en los alrededores. Es decir, toda la base del reservorio está cubierta por una carpa gruesa para evitar el contacto del agua almacenada con la napa, y evitar así el proceso de salinización del suelo (Figuras 12 y 13).

En muy pocos sitios también se colocan estas geomembranas y, posteriormente, se cubren con tierra para protegerlas de animales silvestres que podrían entrar y destruir el material, como los yacarés (*Caiman* sp.) y los carpinchos (*Hydrochoerus hydrochaeris*).

En la Figura 14 (pág. 46 y 47) se observa un tajamar con geomembrana cubierta de tierra, esta cobertura también ayuda a alargar la vida útil de la membrana por la menor exposición directa al sol. Otra medida para evitar el ingreso de animales a los tajamares es la colocación de cercos de alambre tejido alrededor del tajamar, como se observa en las Figuras 12 y 13. En la base de estos cercos suele colocarse una franja de la misma geomembrana gruesa para evitar el ingreso de reptiles, como iguanas y serpientes.

Figura 12.

Tajamar o reservorio de agua de lluvia impermeabilizado con una geomembrana.

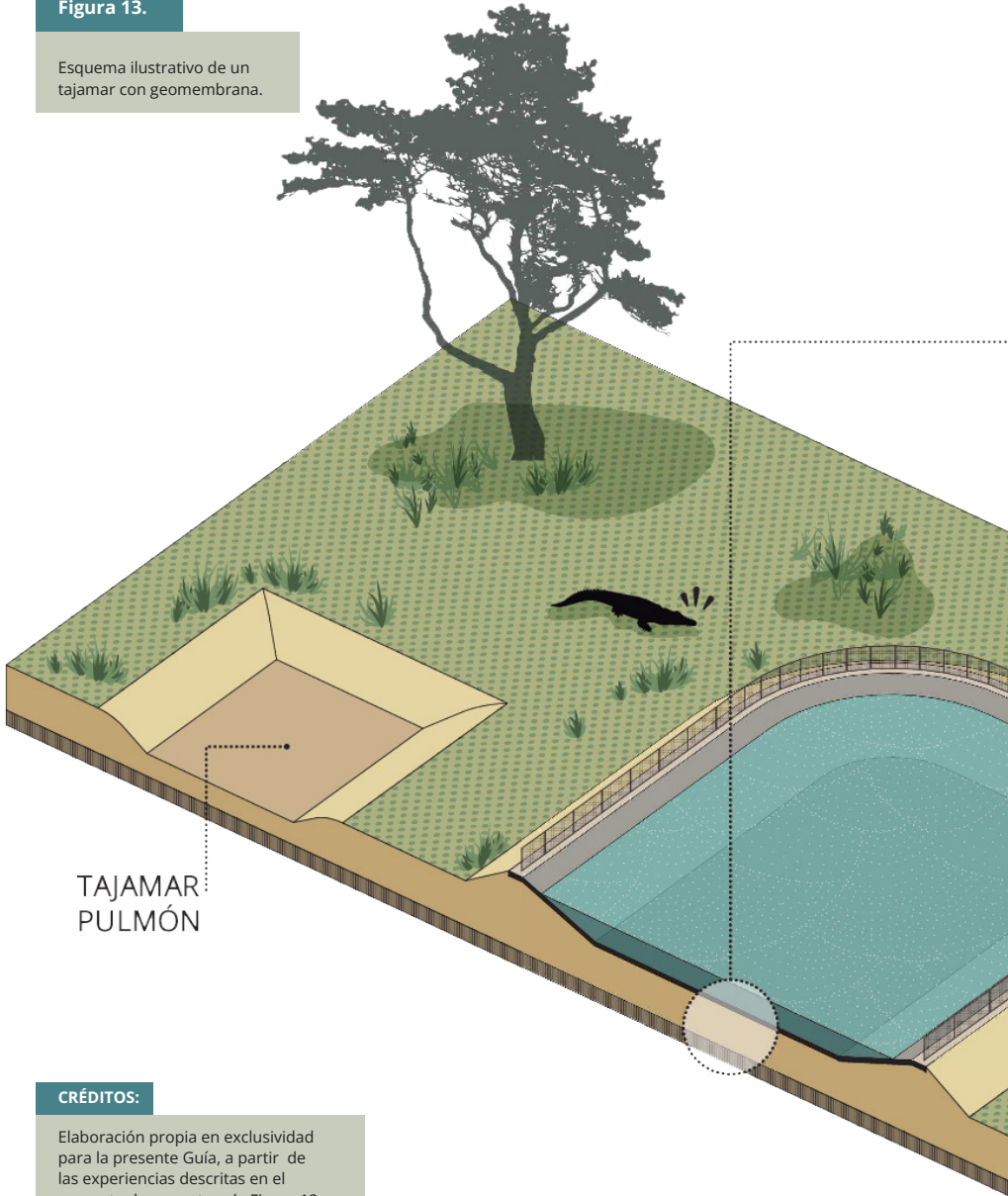


NOTA: Tajamar del Tambo Modelo y Cabaña (TAMYCA) de la Cooperativa Chortitzer, en Laguna Capitán.

Foto: Rafaela Laino 2022.

Figura 13.

Esquema ilustrativo de un tajamar con geomembrana.



TAJAMAR
PULMÓN

CRÉDITOS:

Elaboración propia en exclusividad para la presente Guía, a partir de las experiencias descritas en el presente documento y la Figura 12.



“En las zonas más vulnerables a la salinización también se observa el uso de geomembranas (carpas gruesas) en los reservorios de agua que están más elevados. En estos casos el agua es almacenada primeramente en un “tajamar pulmón” desde donde es bombeada hasta un reservorio elevado. El propósito de bombear el agua a dicho reservorio es aumentar la capacidad (profundidad) sin aumentar la superficie de evaporación. La geomembrana es utilizada en estos tajamares elevados para evitar que la presión hidrostática del agua almacenada eleve la napa y aumente el riesgo de salinización del suelo en los alrededores. Es decir, toda la base del reservorio está cubierta por una carpa gruesa para evitar el contacto del agua almacenada con la napa, y evitar así el proceso de salinización del suelo” (pág. 42)

Figura 14.

Tajamar impermeabilizado con geomembrana y cubierto posteriormente con una capa de tierra (Pozo Azul S.A.).



Foto:

Rafaela Laino 2022.



4.1.2 DRENAJE NATURAL DEL AGUA

Como se observó en el punto anterior (4.1.1), el agua de lluvia es almacenada y utilizada en las fincas del Chaco. Sin embargo, como también se describió anteriormente, el exceso del agua puede generar problemas de inundación, y esto es especialmente importante en la zona del cinturón con potencial de salinización, donde el terreno es topográficamente bajo y plano. Por lo tanto, con la napa salina cercana al nivel crítico, todo exceso de agua supone un riesgo de salinización. Ante este riesgo, una medida importante que se utiliza en la zona consiste en respetar los drenajes naturales de las aguas hacia los ríos y las lagunas, ya sean permanentes o intermitentes, aunque la mayoría de ellos permanecen secos durante varios meses o años. Aún así, ante la posibilidad de lluvias, es importante respetar estos drenajes naturales para evitar que el agua quede retenida (o represada) debido a que, en los lugares topográficamente más elevados, el agua ejerce una presión hidrostática que eleva la napa salobre en toda la zona, y la sal puede subir a la superficie por ascensión capilar en las partes más bajas. Por lo tanto, cuando se construyen los caminos, se utilizan varias medidas para asegurar el drenaje del agua de lluvia. Estas medidas abarcan un amplio rango de inversión económica dependiendo del potencial caudal de los cauces hídricos. Como ejemplo, podemos citar obras de infraestructura, como puentes de cemento (Figura 15) sobre los cauces de mayores caudales y también puentes más pequeños contruidos de madera (Figura 16).

También podemos citar otros ejemplos de menor inversión, como los badenes, que son tramos más bajos del camino con fondo de piedra, que se construyen en los lugares donde corre agua cuando llueve, como se observa en las Figuras 17 y 18.

Figura 15.

Puente sobre cauce seco en el momento de la foto (junio de 2022).



NOTA: Se observan los grandes canales de cemento bajo el puente donde en épocas de lluvias corren grandes caudales de agua.

Foto: Rafaela Laino 2022.

Figura 16.

Puente sobre cauce seco en el momento de la foto (junio de 2022). Puente hecho con postes y tablones de madera.



Foto: Rafaela Laino 2022.

Figura 17.

Baden (ejemplo 1) en lugares más bajos del camino donde drena el agua cuando llueve.



Foto: Robert Neufeld 2022.

Figura 18.

Baden (ejemplo 2) en lugares más bajos del camino donde drena el agua cuando llueve.



NOTA: Abajo se observa el orificio de un tubo que está situado a mayor profundidad para los caudales más bajos, entonces cuando sube mucho el nivel del agua y el tubo no alcanza para el caudal existente en ese momento, el agua sube y pasa encima del badén, Laguna Capitán.

Foto: Robert Neufeld 2022.

4.1.3 DRENAJE ARTIFICIAL DEL AGUA

Otra experiencia interesante se observa en un campo donde la napa freática salina está muy cerca de la superficie. Según las mediciones de conductividad realizadas en junio (2022), en los recorridos de campo para la realización de esta guía, el contenido de sal del agua subterránea en esta finca a 1,64 m de profundidad, correspondió a aproximadamente 30.000 ppm, es decir, casi tan salada como el agua del mar. Es importante destacar que, en años más lluviosos, la napa con similar concentración de sales se encontraba tan solo a los 90 cm de profundidad. Esto indica que la elevación de la napa salina se debe a la presión hidrostática ejercida por la infiltración del agua de lluvia en lugares adyacentes topográficamente más elevados, como se describe en el punto anterior 4.1.2, y no se debe a la infiltración del agua de lluvia a nivel local, porque si hubiese sido así la concentración de sales habría sido diluida por el agua de lluvia infiltrada.

Este lugar se inundaba en épocas de lluvias debido al lento drenaje del agua superficial. Además del agua de lluvia que se almacenaba en los tajamares, como se describe en el punto anterior 4.1.1, también el campo recibía toda el agua que escurría de los campos vecinos por encontrarse en una zona más baja. Debido a este excedente y acumulación del agua en el campo, la propiedad quedaba inundada de 2 a 3 meses. Por lo tanto, las sales afloraban y quedaban en la superficie una vez que se drenaba toda el agua, esto impedía realizar actividades productivas. El agua drenaba lentamente hacia una laguna salada (ver flechas negras en la Figura 19) y con el sistema de drenaje que se describe a continuación, se logró acelerar ese proceso de escorrentía natural. Por ejemplo, aguas que drenaban en 2 meses hacia la laguna, actualmente lo hacen en 2 días.

Figura 19.

Esquema sobre imagen satelital. Sistema de drenaje artificial de canales internos (dentro de la finca) y externos (en los bordes).



CRÉDITO:

Ilustración propia elaborada en exclusividad para la presente Guía, a partir de datos relevados de la experiencia de Ricky Wiebe.

Este sistema de drenaje artificial consistió en la excavación de canales internos (dentro de la finca) y externos (en los bordes) del establecimiento con los cuales se logró conducir sistemáticamente el agua de lluvia y de escorrentía. En la Figura 20 se observan los trabajos de realización de estos canales.

Figura 20.

Trabajo de excavación de canales para la conducción (drenaje) de aguas de lluvias en Alto Paraguay.



Foto: Gentileza de Ricky Wiebe.

Figura 21.

Canal terminado con agua de lluvia.



Foto: Gentileza de Ricky Wiebe.

El agua de lluvia es conducida al tajamar de almacenamiento del establecimiento (flechas azules de la Figura 19), y las aguas de escorrentía excedentes y las provenientes de áreas vecinas son interceptadas y conducidas por los canales logrando un desagüe (o drenaje) más acelerado que el natural (como se observa en la Figura 21 y en la Figura 19 en flechas negras). De esta manera se logró que el agua permanezca menos tiempo en las zonas altas, y por lo tanto haya menos infiltración y menor presión hidrostática ejercida sobre la napa freática, y con ello se disminuyó el tiempo de riesgo de salinización en las zonas más bajas, como la zona donde se ubica este establecimiento.

En la Figura 22 se observa la superficie del suelo luego de permanecer inundado por 3 meses en el año 2013, posteriormente (Figura 23) la misma parcela cubierta por pasto Estrella en el año 2016 luego de la implementación del sistema de conducción del agua de lluvia por los canales internos y externos de la propiedad.

La aplicación de esta técnica permitió desarrollar la ganadería en esta zona anteriormente improductiva. Actualmente la superficie de la finca está cubierta por pasturas permanentes, implantadas y nativas, como se describe en la siguiente sección 4.2.4. De ahí la importancia de la planificación estratégica de la conducción del agua de escorrentía sobre la propiedad y los alrededores.

Figura 22.

Superficie de un terreno de Alto Paraguay luego de permanecer inundado por 3 meses en el año 2013.



Foto: Gentileza de Ricky Wiebe.

Figura 23.

Misma parcela (Figura 22) cubierta por pasto Estrella en el año 2016 luego de la implementación del sistema de conducción del agua de lluvia por canales.



Foto: Gentileza de Ricky Wiebe.

4.2. MANEJO DEL SUELO

Además del manejo del agua, también el manejo del suelo es fundamentalmente importante para producir en forma sostenible en las zonas vulnerables a la salinización en el Chaco. En esta sección se detallan algunos aspectos de la cobertura del suelo, tanto la original como la del cambio de uso de suelo. Se describen también algunas actividades de laboreo del suelo y se presentan las variedades de pastos más utilizados en estas zonas.

4.2.1 COBERTURA NATURAL ORIGINAL

La salinidad de las aguas subterráneas y la salinización superficial tienen relación con varios factores como la topografía, las precipitaciones, el drenaje y la cobertura del suelo, entre otros, y todos estos factores también influyen en la cobertura vegetal. Un estudio realizado en el área del cinturón de salinización potencial en el Chaco (Figura 10) demostró que en los sitios donde la napa freática salina se encuentra muy cercana a la superficie, el bosque desempeña un papel regulador de la profundidad de la napa (Glatzle *et al.* 2020). Es decir, el bosque cumple de cierta manera una función de biodrenaje, sacando agua de la napa hacia la atmósfera mediante la evapotranspiración. Probablemente, lo observado en este estudio se da por la alta y continua tasa de transpiración del bosque, la intercepción del agua de lluvia en la hojarasca y, además, por la capacidad de las especies nativas de ejercer potenciales de agua muy negativos (tensión alta de succión). El mismo estudio confirma la necesidad de conservar las cortinas forestales alrededor de las lagunas para reducir el riesgo de ascenso capilar de las aguas salinas, y, por lo tanto, evitar la salinidad de las tierras secas más allá de la franja salina

natural. Esto se da gracias a la alta capacidad de varias especies nativas de extraer agua de la napa salobre y gracias a su capacidad de transpirar más agua, que corresponde a las precipitaciones. Por lo tanto, hasta cierto nivel estas especies nativas son capaces de mantener baja la napa y reducir la vulnerabilidad del sistema a la salinización, aún en el caso de que no cubran la totalidad de la superficie. Esto es especialmente importante para los bordes de las lagunas ubicadas dentro del cinturón de salinización potencial en el Chaco (Figura 10), ya que en estos lugares la profundidad de la napa, sin el mencionado efecto de las especies nativas, tiende a ser ideal para el ascenso capilar y la consecuente salinización del suelo como se menciona en el punto 3.3.

En este punto es importante resaltar que el cumplimiento de la legislación paraguaya favorece esta función de biodrenaje, además de otras funciones y servicios ecosistémicos, cuando se dejan las áreas de reserva natural de acuerdo a la Ley Forestal N°422/1973. La misma establece que las propiedades rurales de más de 20 ha en zonas forestales deberán mantener el 25% de su área de bosques naturales. Así también, la Ley de Recursos Hídricos N°3239/2007, que establece que los propietarios ribereños deberán mantener los bosques protectores (100 m) a ambas márgenes de las fuentes de agua (Figura 24); y la Resolución N°1242/2012, que reglamenta el ancho de las franjas de bosques entre las parcelas para la Región Occidental o Chaco.

Figura 24.

Cobertura de bosques protectores a ambas márgenes de un cauce hídrico en Laguna Bombacha (Boquerón).



Foto:

Rafaela Laino 2022.

Con el cumplimiento de la legislación vigente, y la realización de otras prácticas que se describen en esta guía, se podría seguir produciendo sin que la napa freática salina cause mayores problemas en el cinturón de salinización potencial en el Chaco (Figura 10), como se viene haciendo en varios establecimientos desde hace varias décadas.

Como ya se ha mencionado, las especies de árboles y arbustos que se encuentran en los bosques del Chaco Central son, hasta cierto punto, tolerantes a las condiciones salinas de la zona. Por ejemplo, se destacan el Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi*), el Labón (*Tabebuia nodosa*), el Viñal (*Prosopis ruscifolia*), el Guaimí Pire (*Ruprechtia triflora*), los algarrobos (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*) y el Algarrobillo (*Prosopis affinis*), entre otros. Estas especies además de proveer sombra (Figura 25), alimento, forraje, leña, postes, madera y carbón; también podrían disminuir la concentración de sales temporalmente en el suelo a través de la fitorremediación, ayudando a mantener el nivel del agua subterránea salada a una profundidad segura (biodrenaje). Es decir, estas especies utilizan mecanismos naturales para compartimentar las sales y sobrevivir en estas condiciones por su carácter de bioacumuladoras (Guida-Johnson *et al.* 2017).

Otro mecanismo de tolerancia a condiciones salinas es la absorción selectiva mediante la cual la planta absorbe agua dejando fuera a ciertos iones. Esto puede generar el efecto opuesto al de la bioacumulación al concentrar las sales en la zona radicular y de esta forma aumentar la salinidad del suelo alrededor de la planta. De hecho, en la zona hay productores que reportan que ciertas manchas calvas han sido originadas por la presencia

anterior de un árbol de Palo Santo. Más detalles de las posibles causas del origen de las manchas calvas se presentan en la siguiente sección 4.2.2.

El Viñal (*Prosopis ruscifolia*) es una de las especies más tolerantes a la sal. De hecho, es indicadora de suelos muy salinos y pionera en la restauración de las formaciones leñosas en las zonas donde la napa freática salina se encuentra cercana a la superficie (PSAC 1998). Sin embargo, podría llegar a ser considerada maleza o invasora en una pastura debido a la rápida distribución de sus semillas por el ganado, y a las espinas muy fuertes que podrían lastimar al ganado, y afectar las ruedas de los tractores cuando entran a las pasturas (Figura 26).

4.2.2 MANEJO DE MANCHAS CALVAS

Con relación a la cobertura y la salinidad del suelo, es importante resaltar la formación de manchas calvas o desnudas, que son áreas que carecen de vegetación o presentan en ocasiones vegetación halófitas adaptada a una mayor salinidad. Estas manchas también son llamadas peladares. El suelo en estas áreas presenta menor contenido de materia orgánica, y mayor salinidad y sodicidad en comparación al suelo circundante (Giesbrecht 2008). Para recuperar su fertilidad es importante conocer la causa de su origen. Sin embargo, en Paraguay existen muy pocos estudios acerca del origen de los peladares. Juzgándolos por su ubicación, su forma, color del suelo y la presencia o no de plantas halófitas, parecen tener diferentes orígenes. Según la experiencia de los autores de esta Guía (Glatzle y Neufeld) y la revisión de la escasa

Figura 25.

Ganado descansando bajo la sombra de Prosopis en una finca.



Foto: Rafaela Laino 2022.

Figura 26.

Espina de Viñal (*Prosopis ruscifolia*) - Alto Paraguay.



Foto: Rafaela Laino 2022.

literatura existente, a continuación, se presenta una posible clasificación de manchas calvas según tres tipos de orígenes:

- Por los antiguos nidos de hormigas Ysaú (*Atta* sp.): este proceso de salinización ya se describió anteriormente al final de la sección 3.2 (tipos de salinización). Se puede agregar que estas manchas pueden persistir por varios años, hasta décadas, después de la muerte de las hormigas. También se ha observado la recuperación natural, donde luego de varias décadas, las cámaras subterráneas de cría de las hormigas y de incubación de sus hongos se empiezan a romper, y al colapsar la superficie el montículo convexo del antiguo hormiguero cae y forma una depresión cóncava. Por lo tanto, el agua de lluvia se empieza a acumular en el centro, se filtra y provee buenas condiciones para el crecimiento de pastos y arbustos. En estos casos, los bordes de los peladares quedan calvos por mucho más tiempo. Desde arriba (vista aérea), a veces se observan círculos (o media lunas) de suelo desnudo en las pasturas, que indican la presencia anterior de hormigueros (Figura 27).

Figura 27.

Manchas calvas en una pastura.



NOTA: Las mismas tienen formas de círculos y media lunas originados por la presencia de viejos hormigueros en proceso de reverdecimiento en varios estadios.

Fuente: Albrecht Glatzle 1999.

- Por ascensión capilar: son manchas que se observan alrededor de las lagunas saladas, donde la napa freática salobre se encuentra a poca distancia de la superficie del suelo. Por esta razón, estos peladares parecen ser consecuencia del ascenso capilar del agua de la napa, que al evaporarse deja las sales en la superficie. En este caso, las manchas suelen extenderse en forma alargada en las márgenes de las lagunas y algunos cauces intermitentes, como se observa en la Figura 28. Por otro lado, dentro del cinturón de salinización potencial del Chaco (Figura 10) se observan manchas calvas circulares de un diámetro de hasta 10 m, con aspecto de suelo mojado y vegetación halófitas (Figura 29). Estos peladares también parecen ser manchas salinas originadas por ascensión capilar de la napa salobre. Sin embargo, su origen no se conoce con exactitud. Actualmente se está llevando a cabo una investigación para entender mejor este fenómeno (Neufeld *et al.* 2022).

Figura 28.

Salinización por ascensión capilar.



NOTA: En la imagen se observan las manchas calvas en forma alargada en los bordes de las lagunas.

Fuente: Albrecht Glatzle 1999.

Figura 29.

Un peladar en forma circular con vegetación halófila.



Foto: Robert Neufeld 2022.

- Por actividades antrópicas: estas manchas tienen que ver con el método de desmonte que se usaba antiguamente, ya que, al usar palas totalmente cerradas en las topadoras, al juntar la biomasa del monte en franjas también se juntaba buena parte del suelo superficial. Por lo tanto, estas franjas quedaban levemente más elevadas y se favorecía así al escurrimiento del agua de lluvia y a la menor infiltración. En este caso, los peladares se dan en forma alargada como se observa en la Figura 30. Sumado a ello, como parte de ese método de desmonte, toda esta biomasa acumulada era quemada, por lo tanto, las cenizas que quedaban contribuían al aumento de la salinidad del suelo localmente.

Figura 30.

Foto aérea tomada con un dron donde se observan las manchas calvas de forma alargada en la misma ubicación y dirección de las franjas donde se quemaba la biomasa acumulada luego del desmonte.



Foto: Robert Neufeld y Santiago Medina 2022.

Es importante destacar que otras hormigas cortadoras como las Akeké (*Acromyrmex* sp.), a pesar de hacer nidos más pequeños comparando con los nidos de Ysaú, también alcanzan importantes profundidades y pueden ampliar el tamaño de los peladares. Esto se da debido al consumo exclusivo de pasto, que da una ventaja selectiva a las malezas de hoja ancha, especialmente si el número de nidos es elevado. Además, existen también otros factores como el sobrepastoreo y el pisoteo. Se debe tener en cuenta que el ganado vacuno siempre prefiere utilizar los lugares más elevados como dormideros, este hecho aumenta aún más la compactación de los peladares.

Dependiendo del posible origen de las manchas calvas, podrían aplicarse diferentes medidas que ayuden a recuperar la fertilidad de esas zonas. Por ejemplo, en el caso de los antiguos hormigueros, con el tiempo se podría recuperar la fertilidad de la mancha calva con trabajos de nivelación, subsolaje y la siembra de pastos poco exigentes como el *Urochloa mosambicensis* (sobre las especies de pastos se habla más adelante en la sección 4.2.4). Por otro lado, en los lugares en los cuales el peladar se originó por ascensión capilar de la napa salobre, se recomienda no realizar actividades, sino dejar crecer la vegetación nativa que a tolera esas condiciones, como bien se detalló en el punto anterior 4.2.1.

Glatzle (1999) reportó resultados de ensayos realizados para la recuperación de manchas calvas, mediante la labranza vertical profunda con subsolador, y la implantación de pasturas. La labranza se realizó con el fin de aumentar la infiltración del agua en estos sitios, con lo cual las sales fueron lavadas y la provisión de agua al suelo posibilitó la instalación de plantas. Este mé-

todo tuvo éxito relativo porque la pastura se estableció en las manchas, pero después de algunos años empezó a desaparecer, requiriendo la repetición de la labranza. Se estima que con algunas repeticiones se podría recuperar la productividad en estas manchas mediante el incremento del contenido de materia orgánica del suelo y el aumento de la infiltración. La adición de yeso (CaSO_4) al suelo podría ayudar a recuperar las manchas al desplazar al Sodio (Na) de los sitios de intercambio y posibilitar su lavado a capas más profundas, reduciendo así la sodicidad del suelo superficial. Estos métodos necesitan seguir siendo estudiados a nivel local.

Entre los productores visitados para la realización de esta Guía, hay algunas experiencias de recuperación de peladares. La técnica consiste en agregar sobre estas áreas una combinación de heno con estiércol (cama de establo). A pesar de que el experimento se halla en la etapa inicial, ya se están observando resultados positivos. Con el agregado de la materia orgánica sobre los peladares, se logra proteger al suelo del impacto de las gotas de lluvia y reducir el escurrimiento, lo cual conlleva a una mayor infiltración del agua en el suelo. Además, con el suelo cubierto, se disminuye la evaporación del agua retenida, y con el enraizamiento de la cobertura vegetal aumenta la permeabilidad del suelo y se reduce la compactación. De esta manera se espera lavar cierta cantidad de sales hacia la napa. En la Figura 31, se observa una parte de una mancha calva donde luego de la cobertura con heno-estiércol se cultivó sorgo.

Como se observa en la Figura 32 se está avanzando con una investigación liderada por la Fundación Ideagro para profundizar sobre el fenómeno de la mancha calva (Neufeld *et al.* 2022).

Figura 31.

Tratamiento de cobertura heno-estiércol sobre una mancha calva, donde posteriormente se cultivó sorgo, en Laguna Capitán (Loma Plata).



Foto:

Marcelo Insaurralde 2022.

Figura 32.

Imagen de una mancha calva donde se están haciendo mediciones para el estudio que está llevando a cabo la Fundación Ideagro.



Foto:

Robert Neufeld 2022.

4.2.3 LABOREO DEL SUELO

En la zona se utilizan distintos implementos para el laboreo del suelo, como el rolo aireador, el rolo cuchilla y el rolo Ripper. Dependiendo del implemento y la estrategia que emplean, algunos productores utilizan por ejemplo el rolo aireador, una o dos veces al año. Mientras que otros lo utilizan con menores frecuencias. En la zona del cinturón vulnerable a la salinización, la presión de las malezas leñosas, especialmente el Viñal (*Prosopis ruscifolia*), es muy grande. De hecho, una parcela en la cual no se realiza el control de malezas puede quedar arbustizada en cuestión de pocos años. Sin embargo, como se detalla en la sección anterior 4.2.1, cierta densidad de estos arbustos ayudará a mantener la napa salobre un poco más baja evitando la ascensión capilar de la sal.

Con el rolo aireador (Figura 33), como lo dice su nombre, se airea el suelo, permitiendo un mejor desarrollo de las raíces e intercambio de gases, pero principalmente se crean hoyos para la infiltración del agua al suelo y se crean micrositos más favorables (más húmedos) para la germinación de semillas de pastos (Figura 34).

Al lograr la infiltración del agua de lluvia, se adiciona agua al suelo, que es fundamental para el desarrollo de la pastura, y también se logra cierto lavado de sales manteniendo una zona superficial del suelo menos salina. Además, con el uso de este implemento, también se logra cierto control de malezas herbáceas pequeñas.

Figura 33.

Rolo aireador utilizado para el mantenimiento de las pasturas y el aumento de la infiltración del agua en parcelas agrícolas, estación experimental Isla Poí.



Foto: Gentileza de José González 2022.

Figura 34.

Distribución uniforme del agua, luego de una lluvia, en una parcela agrícola luego del laboreo con el rolo aireador.



Foto: Gentileza de Eduard Sawatzky 2022.

El rolo cuchilla (Figura 35), o a veces también el corta raíces (Figura 36), es utilizado para el control de malezas herbáceas. Este implemento puede poner en riesgo la supervivencia de pasturas, especialmente las estoloníferas, que son aquellas que no se propagan por semillas. Por lo tanto, como este implemento corta las raíces de todas las plantas horizontalmente a una profundidad entre 15 a 25 cm, si después de su utilización no caen lluvias por un tiempo prolongado, las pasturas pueden llegar a perderse.

Otro implemento utilizado para promover el lavado de las sales es el rolo Ripper porque trabaja a mayores profundidades que el rolo aireador. Este implemento puede trabajar a 20, 30 o hasta 40 cm de profundidad dependiendo de la potencia del tractor. Es un escarificador que se utiliza mucho para rejuvenecer las pasturas en las manchas calvas.

También se suelen utilizar herbicidas para el control de malezas de hoja ancha. Los mismos son aplicados mediante una pulverizadora jumbo o pulverizadora de brazos. Frecuentemente también se aplica un insecticida para el control de hormigas cortadoras en las pasturas, porque además de alimentarse del pasto, como se vio en la sección 3.2, la presencia de hormigueros también podría generar salinización.

Muchas veces, una mayor densidad de hormigas cortadoras implica una ventaja selectiva para las malezas de hoja ancha, que no suelen ser consumidas por las hormigas. Entonces un tratamiento (puntual) esporádico de ambas, malezas y hormigas, se ofrece como una medida efectiva para mantener la productividad de la pastura.

Figura 35.

Rolo cuchilla al cual se le puede enganchar el corta raíces (Figura 36).



Foto: Gentileza de Luis Macchi 2022.

Figura 36.

Corta raíces utilizado para el control de malezas.



Foto: Gentileza de Luis Macchi 2022.

4.2.4 ESPECIES DE PASTOS ADAPTADOS A CONDICIONES SALINAS

Las prácticas que se han detallado hasta ahora en esta Guía ayudan a reducir las limitaciones productivas de esta zona, con potenciales problemas de salinización. Sin embargo, los excesos y la escasez del agua son características comunes en el Chaco y las herramientas de controlar estas variables son limitadas.

Por lo tanto, otra medida de adaptación a las condiciones salinas en estas áreas es la utilización de especies de pastos tolerantes a la salinidad. Además, las pasturas nativas junto con las cultivadas constituyen coberturas continuas del suelo durante todo el año, y como se describe en las secciones 4.2.1 y 4.2.2, la cobertura del suelo es otro factor importante para evitar el afloramiento de las sales en la superficie.

Según la experiencia de los productores asentados sobre el cinturón de salinidad potencial, el pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) es el que mejor se adapta a los suelos con ciertas concentraciones de sal y encharcables, aunque si el encharcamiento es muy prolongado también podría llegar a marchitarse. Los potreros anteriormente cubiertos principalmente por Viñales (*Prosopis ruscifolia*), son los que presentan la mayor vulnerabilidad como se vio en la sección 4.2.1. En esos lugares, el pasto que mejor crece es el Estrella. Sin embargo, la susceptibilidad del Estrella a las hormigas cortadoras, langostas y gusanos ha limitado su amplia difusión, sobre todo en forma de monocultivo.

El pasto que ha demostrado que mejor se adapta a las condiciones extremas, tanto de inundación como de sequía, estrictamente en suelos fuertemente arcillosos, y que también tolera considerables concentraciones de sales es el Bambatsi (*Panicum*

coloratum). Se llama Makarikari-Grass y es procedente del borde de la enorme depresión Makarikari-Pan (de 100 km de diámetro) en Botswana, muy salobre, sin efluente, con suelo desnudo, cubierto con 10 cm de agua hasta el horizonte al final de la época lluviosa y totalmente seco durante medio año como mínimo. Una vez establecido el Bambasti (Figura 37), es muy persistente, pero es muy difícil establecerlo y existe una limitada oferta de semillas en el mercado.

En otros potreros menos salobres, donde además del Viñal (*Prosopis ruscifolia*), había otros árboles como el Palo Santo (*Bulnesia sarmientoii*), el Labón (*Tabebuia nodosa*) y el Guaimí Pire (*Ruprechtia triflora*); actualmente, además del Gatton Panic (*Panicum maximum*), se usan también otros Panicum como el Mombaza y el Tanzania, junto a otros pastos nativos como el *Setaria aff. globulifera* y el *Trichloris crinita*. Generalmente, en los micrositios más bajos se usa el pasto Estrella y el Callide (*Chloris gayana*) (Figura 38), y en los más arenosos se usa el Pangola (*Digitaria decumbens*) y el Urochloa (*Urochloa mosambicensis*).

En los demás potreros se ve también al Gatton Panic y al Bermuda (*Cynodon dactylon*), que también tiene considerable tolerancia a suelos salobres. Algunos productores están probando otro *Panicum* llamado Zuri que al parecer se encaña menos que el Mombaza.

En la elección de las especies de pastos a utilizar, un factor importante es la forma de siembra. El pasto Estrella es muy utilizado y preferido por muchos productores, sin embargo, también existen otros pastos que son más fáciles de instalar por su capacidad de producir semillas. Esto permite que puedan ser sembrados al momento de las labores de aireación o con la sembradora. Entre estos se destacan los *Chloris gayana* llamados Callide y Épica, para zonas salinas más bajas y arcillosas porque toleran el encharcamiento.

Además, el pasto Dicantio (*Dichanthium aristatum*) también es una interesante opción para las mismas condiciones, aunque es mucho menos tolerante a la salinidad. En situaciones de inundaciones profundas o muy prolongadas los pastos podrían morir, pero debido a su alta producción de semillas, después de la inundación germinan y restituyen la población (Glatzle 1999).

Para estas situaciones con inundaciones prolongadas, se tuvo muy buena experiencia con Tangola, que es un cruzamiento espontáneo natural estéril entre el Tanner grass (*Brachiaria arrecta*) y el grama Angola (*Brachiaria mutica*) procedente de Brasil. El Tangola también tolera ciertos niveles de salinidad, así como inundaciones prolongadas de hasta 50 cm de profundidad del agua, pero no aguanta épocas prolongadas de sequía. Este pasto ya encontró considerable aceptación y difusión en los establecimientos ubicados en las zonas más lluviosas del cinturón vulnerable a la salinidad en el chaco (Figura 10).

Figura 37.

Pasto Bambatsi de color verde azulado consorciado con otros pastos nativos.



Foto: Gentileza de Luis Macchi 2022.

Figura 38.

Pasto Callide, con sus largos y ramificados estolones, cubriendo al Gatton Panic que había muerto a causa del anegamiento y las cigarras de espuma (*Zulia entrerriana* y *Deois* sp.).



Foto: Albrecht Glatzle.

5 SALINIZACIÓN EN OTRAS PARTES DEL MUNDO

El proceso de salinización está relacionado a diversos factores naturales, biológicos y antropogénicos, es un fenómeno complejo que ocurre en varias partes del mundo. En Cuba, los trabajos se han orientado fundamentalmente a conocer el grado de resistencia de gramíneas y leguminosas a las condiciones de salinidad, específicamente mediante el estudio de caracteres morfológicos y agronómicos. Se recomienda, primeramente aplicar medidas fitotécnicas en suelos salinizados, como la utilización de especies tolerantes, y continuar con los programas de mejoramiento genético que permitan potenciar estos caracteres (Mesa 2003).

En Australia se han seleccionado varias especies de pastos con mayor tolerancia a la salinidad, entre los cuales se destacan los Grama Rhodes (*Chloris gayana*). Por ejemplo, entre los cultivares diploides está el Reclaimer, que es una variedad mejorada del Katambora y del Finecut, con mayor tolerancia a los suelos salinos y sódicos, además tiene la característica de cubrir el suelo y adaptarse muy bien al pastoreo. También están los Grama Rhodes del grupo tetraploides, como el Callide que se

viene utilizando desde hace varios años y fue posteriormente reemplazado por el Épica, con una tolerancia incrementada a la salinidad y con alta producción de estolones que permiten una rápida cobertura del suelo en condiciones salinas. Estas variedades tienen difusión en Australia, aunque la proporción de pasturas sembradas en Australia tropical es pequeña en comparación con la de los pastizales naturales.

Estas variedades también tienen difusión en otros países, como Argentina y Brasil, y como se detalla en la sección 4.2.4, también hay experiencias interesantes en Paraguay. Hace más de 30 años que el pasto Callide formó parte del ensayo de pastoreo en Río Verde, con semillas importadas de Australia (Glatzle 1999), en aquel entonces aún no había semilla de Callide en Argentina. Entre tanto el Callide, reemplazado hoy día por el Épica, forma parte integral de las mezclas de pastos en muchas estancias del Chaco un poco más húmedo. No cubre grandes superficies, pero constituye un complemento valioso en los micrositios aptos con suelos arcillosos, con cierto anegamiento y poco salobres.

Además de estas prácticas de adaptación, existen otras medidas aplicadas en situaciones donde la salinidad, principalmente secundaria, llegó a un punto donde las actividades productivas están siendo severamente afectadas, como por ejemplo en la zona del río Murray en Australia. Donde, debido a la vulnerabilidad natural a la salinización, sumado al cambio de uso de suelo desde hace varias décadas, las aguas de este río vienen aumentando su nivel de salinidad por el aporte del agua salada de la napa freática. Para disminuir este problema se intercepta el agua de la napa, la cual se extrae mediante pozos de bombeo antes de que drene al río. Estas aguas saladas son conducidas a lagunas abiertas, donde luego de la evaporación quedan las sales que son utilizadas a nivel industrial. Es importante destacar que esta medida requiere de una importante inversión económica.



Foto: Lidia Núñez

6 CONSIDERACIONES FINALES

La salinización es el resultado de procesos naturales (salinización primaria), también se da como consecuencia de actividades antrópicas y biológicas (salinización secundaria) o por una combinación de estos factores, como se detalla en la sección 3.2. En algunos lugares de Irán, por ejemplo, el problema es atribuido principalmente a causas naturales como el clima y la geología (Masoudi *et al.* 2006). Mientras que, en otros sitios de Argentina, el cambio de uso de suelo constituye la mayor influencia en los procesos de salinización, y el cambio de coberturas nativas tiene mayor influencia que el clima y la topografía (Nosetto *et al.* 2013).

De acuerdo al tipo de salinización, al grado de afectación de este problema y a las oportunidades de drenaje natural o artificial, hay prácticas que pueden ser aplicadas para poder producir de la forma más sustentable posible, como las que se han descrito en el punto 4 de esta Guía, relacionadas al manejo del agua y del suelo.

Hay medidas y prácticas adoptadas en varias partes del mundo, en diferentes contextos, con distintos niveles de inversión económica y diferentes impactos, como los ejemplos que se mencionan en la sección 5. Por lo tanto, es crucial conocer y principalmente profundizar el estudio de las prácticas que mejor se adaptarán en cada situación.



Foto: Lidia Núñez

7

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a:

Ricky Wiebe, Hans Harder, Alvin Gerbrand, Wenders Giesbrecht y Ernest Bartel por compartir sus experiencias para ser plasmadas en esta Guía.

Wilbert Harder, Mark Hiebert, Marcelo Insaurrealde, Natalia Escobar y Matthew Giesbrecht por la asesoría en los talleres y/o recorridos de campo.

Norbert Dueck por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

Rosalía Goerzen por sus aportes, contactos e ideas muy útiles para la elaboración de esta Guía, además de acompañar en una de las salidas de campo.

Wilmar Bartel, Sandra Fariña y Fernando Larroza por colaborar en la sección de la historia geológica del Chaco.

Sandra Isaak de Ratzlaff, Liliane Bergen y Sergio Ríos por compartir las fotografías de los fósiles encontrados en el Chaco.

Antonio Medina y Santiago Medina por su apoyo en la elaboración del mapa de zonas con potencial salinización en el Chaco.

Arnold Thielmann por compartir la experiencia de la Planta Desalinizadora de Filadelfia.

Al equipo de WWF-Paraguay por su apoyo en la primera visita al Chaco Central para la realización de esta Guía.

Adeline Friesen por sus aportes en la sección de los tipos de sales y usos.

Luis Macchi por sus aportes y su revisión en la sección de laboreo del suelo y especies de pastos adaptados a la salinización.

Antero Cabrera, Christian Vogt y Patricio Pederzani por brindar información y documentos útiles para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G. 2004. Paleobiogeografía de la Región Mesopotámica. INSUGEO, Miscelánea 12: 25-30.
- Arana, M. D.; Natale, E.; Ferretti, N.; Romano, G.; Oggero, A.; Martínez, G.; Posadas, P.; Morrone, J. J. 2021. Esquema biogeográfico de la República Argentina. Opera lilloana 56, Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Bender, F., Flathe, H. 1961. Groundwater conditions in the Chaco Boreal of Paraguay. Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover: 173-185.
- Borroto, M., Borges, O., Gell, P., Saiz, J., Mendez, A. 1997. Plantas resistentes a la salinidad en Cuba. *Agrotecnia de Cuba* 27:62.
- Cabrera A.J.N., Harder W., Bareiro de Thiessen, D., Servín Maldonado E., Basabe Ramírez V. 2021. Sistemas de captación y almacenamiento de agua en el Chaco Central. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tte. 1º Manuel Irala Fernández. 75 p.
- De Barros Gomes C., Comin-Chiaramonti P., Fernández Velázquez V. 2000. The mesoproterozoic rhyolite occurrences of Fuerte Olimpo and Fuerte San Carlos, Northern Paraguay. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (4), 785-788.

- Dregne, H.E., Xiong, Z., Xion, S. 1995. Soil salinity in China. En: Dregne, H.E. (Ed). Tech University Press, Texas: p. 28.
- Fariña, S., Larroza, F., Cabral, N. 2022. Mapa de zonificación de áreas críticas de salinización del Chaco Paraguayo. Informe técnico, The Nature Conservancy - ONGAGUA. 84 p.
- Giesbrecht Dueck, M.B. 2008. Riego suplementario y su efecto sobre características físico- químicas del suelo y el rendimiento al algodón en el Chaco Central. Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.
- Giesbrecht, M.B y Nägele, A. 2009. Daño causado por hormigas (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.) en la pastura y el suelo. Informe técnico no publicado, Hochstadt.
- Glatzle, A. 1999. Compendio para el manejo de pastura en el Chaco Central. Proyecto Estación Experimental Chaco Central (MAG-GTZ). El Lector, Asunción. 204 p.
- Glatzle, A., Lambert, R., Núñez-Cobo, J., Smeenck, A., Musálem, K., Laino, R. 2020. Groundwater dynamics, land cover and salinization in the dry Chaco in Paraguay. *Ecohydrology & Hydrobiology* 20 (2): 175-182.

- Goerzen, R., Dürksen, T., Käthler, H., Warkentin, M., Bench, G., Friesen, A. Wieler, A. 2011. Guía para el uso del agua. Comité de agua de la Cooperativa Colonizadora Multiactiva Fernheim Ltda. Filadelfia, 28 p.
- Guida-Johnson, B., Abraham, E.M., Cony, M.A. 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 49 (1): 205-215.
- Klassen, P. 2007. Tierra de sol, sangre y sudor. Un libro sobre el Chaco Paraguayo. 2da Ed. Imprenta Off y Graph, Filadelfia, 263 p.
- Larroza, F. 2002. Explotación y aprovechamiento de los recursos hídricos del Chaco Central Paraguayo. Tesis de Doctorado, Programa de Posgraduación en Recursos Minerales e Hidrología. Instituto de Geociencias, Universidad de Sao Paulo. Sao Paulo, 97 p.
- Larroza, F., Fariña, S. 2005. Caracterización Hidrogeológica del Sistema Acuífero Yrendá (SAY) en Paraguay: Recurso Compartido con Argentina y Bolivia. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Tomo IV, Córdoba: 125-134.
- Masoudi M.; Patwardhan, A. M.; Gore, S. D. 2006. A new methodology for producing of risk maps of soil salinity. Case study: Payab Basin, Iran. J. Appl. Sci. Environ. Manag. 10(3):

9-13.

Mesa D. 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37 (3): 217-226.

Mingramm, S., Russo, A., Pozzo, A., Cazau, L. 1979. Sierras Subandinas. En: Turner J.C.M. (ed.) *Geología Regional Argentina*. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias: 95-137.

Miraglia, L. 1963. Vulcanismo Postpliocénico del Paraguay. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay* 7 (2): 1-52.

Mitlöhner, R. 1998. Caracterización de sitios en el Chaco Central Paraguayo a través de la capacidad de succión vegetal y la presión osmótica potencial. Informe técnico del Proyecto Sistema Ambiental del Chaco. Tomo IV: Informes Técnicos. Cooperación Técnica Paraguayo-Alemana, MAG-BGR.

Neufeld, R., Giesbrecht, M.B, Duerksen, M., Escobar, N. En proceso. Origen y recuperación de áreas calvas con un bajo potencial productivo en parcelas pastoriles del Chaco Central. Proyecto de investigación en ejecución, Ideagro 2022.

Nitsch, M. 1998. 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. Informe técnico del Proyecto Sistema Ambiental del Chaco. Tomo IV: Informes Técnicos. Cooperación Técnica Paraguayo-Alemana, MAG-BGR.

Nosetto M.D., Acosta A.M., Jayawickreme D.H., Ballesteros S.I., Jackson R.B., Jobbágy E.G. 2013. Land-use and topography shape soil and groundwater salinity in central Argentina. *Agricultural Water Management* 129, 120-129.

Proyecto Sistema Ambiental del Chaco (PSAC). 1998. Inventario, evaluación y recomendaciones para la protección de los espacios naturales de la Región occidental del Paraguay. Tomo I: Informe Final. Kruck, W. (ed.) Cooperación Técnica Paraguayo-Alemana, MAG-BGR.

Sprechmann, P., Aceñolaza, F.G., Gaucher, C., Nogueira, A.C.R., Pérez, M.I. 1999. Tránsito Paranaense: Paleoestuario o Brazo del Tethys, del Mioceno medio y/o superior en Sudamérica. Actas del 9º Congreso Latinoamericano de Geología. Montevideo, Sociedad Latinoamericana de Geología: 10-15.

Wiens, F. 1995. Evaluación económica del uso de la tierra al este de Loma Plata, Chaco Central – Oriental. Informe técnico del Proyecto Sistema Ambiental del Chaco. Tomo IV: Informes Técnicos. Cooperación Técnica Paraguayo-Alemana, MAG-BGR.



Foto: Lidia Núñez

FICHA TÉCNICA DE FIGURAS

Nota preliminar general sobre mapas temáticos:

Los datos específicos de cada figura se encuentran consignados al pie de cada ilustración, luego, los datos generales fueron obtenidos y/o recuperados de:

- Para mapas del Paraguay: Cartografía digital del Instituto Nacional de Estadística (INE).
- Límites nacionales de América del Sur: OSM (Open Street Map).
- Límites nacionales del mundo: Diva GIS para (utilizado para georeferenciar los rasters de eras geológicas).
- Datos para vectorización de América del Sur recuperada de: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/projections/lambert-conformal-conic.htm>.
- Red Hidrológica de América del Sur: Datos de Aquastat de las Naciones Unidas (ONU) <https://data.apps.fao.org/catalog/iso/12d7d96a-b0ea-4aea-aedc-b9c9a80cab7f>. Más información sobre el particular, es una colección que se obtiene de bases de la WWF-Paraguay y de cálculos a partir de los DEM del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission de la NASA).
- Imágenes de teledetección de Landsat 5 para las fechas indicadas en las imágenes de los aluviales.
- Mapa de base topográfico, de ESRI TOPO recuperado de: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>.

Figura 1: Cronología de las eras geológicas.

NOTA: Tiempo transcurrido en millones de años (ma).

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos para Conceptual Ventures en exclusividad para la presente Guía, a partir de datos recuperados de <https://biologia4eso.weebly.com/eones-eras-y-periodos.html>.

Figura 2: Mar de Salamanca, hace aproximadamente 80 ma, durante el Cretácico tardío.

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de información del Proyecto PALEOMAP Paleodigital Elevation Models (PaleoDEMS) for the Phanerozoic PALEOMAP Project, datos recuperados de: <https://www.earthbyte.org/paleodem-resource-scotese-and-wright-2018/>

Figura 3: Mar del Chaco hace aproximadamente 17 ma, durante el Mioceno medio a tardío.

CRÉDITOS: Elaboración propia para la presente Guía a partir de información del Proyecto: PALEOMAP Paleodigital Elevation Models (PaleoDEMS) for the Phanerozoic PALEOMAP Project, datos recuperados de: <https://www.earthbyte.org/paleodem-resource-scotese-and-wright-2018/>

Figura 4: Restos de un Mastodonte (*Notiomastodon platensis*), hallado cerca de Fuerte Olimpo durante los trabajos de excavación de un tajamar.

CRÉDITOS: Foto gentileza de la Asociación Civil Fernheim.

Figura 5: Fósil de un armadillo gigante del género *Neosclerocalyptus* de la familia Gliptodonte, hallado en 2020 en Paratodo.

CRÉDITOS: Foto gentileza de Sergio Ríos.

Figura 6: Abanico Aluvial del Pilcomayo

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de imágenes editadas de Landsat 5 -1986 RGB 742 y datos espaciales generales (shapefiles) detallados en el encabezado del presente apartado.

Figura 7: Abanico Aluvial del del Parapití.

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de imágenes editadas de Landsat 5 -1986 RGB 742 y datos espaciales generales (shapefiles) detallados en el encabezado del presente apartado.

Figura 10: Cinturón de salinización potencial en el Chaco (en forma de S).

NOTA: Los puntos visitados para la realización de esta Guía se fueron realizados durante los meses de junio y julio 2022 (resaltados círculos). Los demás colores (paleta de marrones de los distintos polígonos) corresponden a las diferentes texturas del suelo.

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de datos espaciales de clasificación de texturas de suelo de Rosalía Goerzen y Santiago Medina 2022. Los datos espaciales generales (shapefiles) se encuentran detallados en el encabezado del presente apartado.

Figuras 8, 27, 28, 38: Fotos de Albrecht Glatzle.

Figuras 9, 11, 17, 18, 29, 30, 32: Fotos de Robert Neufeld 2022.

Figura 12: Esquema axonométrico y detalle constructivo de un tajamar tipo.

CRÉDITOS: Elaborado por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de las experiencias escritas asentadas en la presente Guía y las figuras 13 y 14.

Figuras 13, 14, 15, 16, 24, 25, 26: Fotos de Rafaela Laino 2022.

Figura 19: CAD sobre imagen digital. Sistema de drenaje artificial de canales internos (dentro de la finca) y externos (en los bordes).

CRÉDITOS: Ilustración elaborada por Silvia Arévalos en exclusividad para la presente Guía, a partir de datos relevados de la experiencia de Ricky Wiebe.

Figuras 20, 21, 22, 23: Fotos gentileza de Ricky Wiebe.

Figura 31: Foto de Marcelo Insaurralde 2022.

Figura 33: Foto gentileza de José González 2022.

Figura 34: Foto gentileza de Eduard Sawatzky 2022.

Figura 35, 36, 37: Fotos gentileza de Luis Macchi 2022.

Fotos de las págs. 9,11, 37, 81, 83: Lidia Núñez



**GUÍA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE
EN ZONAS VULNERABLES
A LA SALINIZACIÓN EN EL
CHACO PARAGUAYO**



Esta edición fue impresa gracias al apoyo de:



ISBN: 978-99925-3-877-7



9 789992 153877