



SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

Tte. 1º Manuel Irala Fernández • 2021

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

Antero J. N. Cabrera, Wilbert Harder, Deisy P. Bareiro de Thiessen,
Emiliano Servín Maldonado, Víctor L. Basabe Ramírez

**Programa Paraguayo para el Desarrollo
de la Ciencia y la Tecnología**

Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción
Municipalidad de Tte. 1º Manuel Irala Fernández

2021

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

Antero J. N. Cabrera, Wilbert Harder, Deisy P. Bareiro de Thiessen,
Emiliano Servín Maldonado, Víctor L. Basabe Ramírez

Este material corresponde a un proyecto desarrollado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en colaboración con la Municipalidad de Tte. 1º Manuel Irala Fernández, con el financiamiento del Programa Paraguayo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (CONACYT).

Este documento se ha diseñado, diagramado e impreso en el marco del Proyecto Green Chaco, que apoya la producción sostenible de la carne y el aumento de su demanda, buscando un equilibrio entre producción y conservación. Es liderado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y como parte del Good Growth Partnership (GGP). Las opiniones expresadas en esta publicación no representan necesariamente las de las Naciones Unidas, incluidas el PNUD, ni los Estados Miembros de la ONU. Este documento no tiene fines de lucro, por lo tanto, no puede ser comercializado en el Paraguay ni en el extranjero. Están autorizadas la reproducción y la divulgación por cualquier medio del contenido de este material, siempre que se cite la fuente.

Cita recomendada

Cabrera, AJN; 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.

Tte. 1º Manuel Irala Fernández, febrero del 2021.

ISBN: 978-99925-218-8-5

Diseñado e impreso con el apoyo de:

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES)

Ariel Oviedo, Ministro

Graciela Miret, Directora de Planificación Estratégica, Punto Focal Titular del proyecto Green Chaco

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Silvia Morimoto, Representante Residente

Alfonso Fernandez de Castro, Representante Residente Adjunto

Veronique Gerard, Oficial de Programa, Desarrollo Sostenible

Equipo del proyecto Green Chaco

Rafael Gadea, Coordinador

Viviana Villalba, Asistente técnica

Marisol Jara Hüttemann, Comunicadora

Cesar Meden, Especialista Técnico

Ariana Leguizamon, Asistente técnica

Irene Santacruz, Asistente Administrativa

Corrección de texto: Cynthia Gamarra Lezcano y José Ruiz Olazar

Mapas y planos: Jorge R. Cabrera Cardus y Rosana Ibañez

Diseño y diagramación: Ernesto Vázquez



Presentación

El propósito de este manual de *Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua en el Chaco Central* es contribuir al estudio y análisis de los problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos en el Chaco, así como aportar algunas soluciones desde la perspectiva científica y pragmática.

Propone una visión didáctica sobre los temas particularmente relevantes para la gestión del recurso hídrico en base a la amplia gama de experiencias adaptativas analizadas y los trabajos científicos realizados con la población humana asentada en el territorio occidental. Sobre este punto, es importante mencionar que el Chaco paraguayo se enmarca en un contexto caracterizado por el déficit hídrico y fenómenos de inundación que afectan la calidad de vida de sus habitantes y las actividades económicas.

La pujante migración a los espacios urbanos de esta zona, atraída por el crecimiento económico, requiere soluciones cada vez más innovativas para asegurar la disponibilidad y el acceso al agua.

La demanda creciente del recurso hídrico, tanto para usos en la producción agropecuaria como en la industria y en la población humana, ha impulsado el desarrollo de una amplia gama de opciones resolutivas cada vez eficientes y adaptadas a las condiciones particulares de la región y sus habitantes.

El Chaco está llamado a ser uno de los principales productores de alimentos del país, con sistemas productivos que conjugan aspectos ambientales, económicos y sociales con miras a la sostenibilidad. Es que precisamente, el desarrollo sostenible solo será posible con el conocimiento profundo de la gestión del recurso hídrico.

La presente obra es, además de un valioso compendio de estrategias y tecnologías probadas para el manejo del agua, una contribución significativa para la generación de políticas que permitan desmitificar supuestos e incentivar el desarrollo económico basado en la amplia información técnica y científica generada para la gestión sostenible del recurso hídrico.

Moisés Santiago Bertoni Hicar



Contenido

Introducción	13
El Chaco Central	14
Aspectos socioeconómicos	14
La actualidad económica	14
Fisiografía	15
Las lluvias	15
La temperatura ambiente y humedad relativa	16
Los vientos	17
Suelos y vegetación	17
Relieve y red de escorrentía	18
Antecedentes históricos	20
Pueblos aborígenes	20
Inmigración occidental	21
Sistemas de cosecha y almacenamiento	25
Sistemas domiciliarios	25
Techos, canaletas y aljibes	25
Patios y áreas de servicio	36
Sistemas urbanos	38
Calles y avenidas	38
Otras áreas de servicio	40
Tajamares de infiltración	40

Sistema de deriva de agua de inundaciones o repuntes	42
Sistemas rurales	44
Áreas de infiltración y pozos someros	44
Tajamares tradicionales	46
Adecuación de obras viales	50
Áreas sistematizadas de cosecha de agua, tajamar y reservorio tipo represa	52
Referencias	65
Anexo A.	
Aplicación para cálculos de cosecha de agua según área de techos, volumen de reservorio requerido y demanda de agua por número de personas	68
Anexo B.	
Propuesta de herramienta financiera Préstamo de Inversión Aljibes Familiares	69
Anexo C.	
Propuesta del proyecto piloto para cosecha de agua en áreas públicas verdes en el Chaco Central paraguay	70
Anexo D.	
Propuesta de proyecto piloto de desarrollo comunitario mediante la colecta de agua para usos múltiples en la ruta Transchaco y franjas de dominio	72
Anexo E.	
Promoción de la escorrentía en zonas con vegetación natural	74
Agradecimientos	75

Lista de abreviaturas y símbolos

° C	grados centígrados
%	por ciento
ASCA	áreas sistematizadas de cosecha de agua
cm	centímetro
dm ³	decámetro cúbico
fn.	fortín
G	guaraníes
h	altura
ha	hectáreas
km	kilómetro
l	litros
LME	Laguna Mariscal Estigarribia
M	millones
m ²	metros cuadrados
m ³	metros cúbicos
ME	Mariscal Estigarribia
µmhos	micromhos
mm	milímetros
SENASA	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental
T1MIF	Teniente 1º Manuel Irala Fernández
USD	dólares norteamericanos
sf	sin fecha



Lista de fotografías

Fotografía 1.	
Pozo en Karlsruhe, Colonia Fernheim, 1930	23
Fotografía 2.	
Excavación de pozo en el Chaco, Colonia Fernheim, 1930	23
Fotografía 3.	
Excavación de pozo con ayuda de un caballo, Colonia Fernheim	24
Fotografía 4.	
Sistema de extracción de agua del pozo, Colonia Fernheim	24
Fotografía 5.	
Vivienda con sistema de colecta y aljibe de características mínimas	25
Fotografía 6.	
Canaletas con filtro contra insectos y otros residuos	28
Fotografía 7.	
Canaletas con sistema de registro para administración de agua cosechada	29
Fotografía 8.	
Aljibe de uso estratégico, comunidad Laguna Negra (Fotografía gentileza de V. Miguel - Macharety)	30
Fotografía 9.	
Exitoso sistema de colecta y aljibes comunitarios, comunidad Betania	30
Fotografía 10.	
Conjunto de aljibes para administración de agua cosechada de diferente calidad	31
Fotografía 11.	
Punto de administración de agua de lluvia cosechada de techos domiciliarios	31
Fotografía 12.	
Sistema domiciliar de cosecha de agua con aljibe prefabricado de fibra de vidrio	34
Fotografía 13.	
Patio domiciliar sistematizado para cosecha de agua. En primer plano alcantarilla de acopio de agua; en el plano de fondo, aljibe para agua de patio	37
Fotografía 14.	
Avenida sistematizada para colecta y transporte de agua, Neuland	38
Fotografía 15.	
Acumulación de sedimentos en canales de conducción de agua, punto importante de mantenimiento del sistema	39

Fotografía 16.

Mantenimiento en obras de colecta y transporte de agua, Loma Plata 40

Fotografía 17.

Reservorio impermeabilizado, almacenamiento de agua de área de servicios, Neuland 41

Fotografía 18.

Tajamar de infiltración alimentado por precipitaciones en calles y patios 42

Fotografía 19.

Pozos tipo bombilla con perforaciones múltiples en un tajamar de infiltración de agua 42

Fotografía 20.

Pozo somero tipo bombilla con bomba de diafragma 43

Fotografía 21.

Muro y canal de deriva de agua de lluvia al oeste de la ciudad de Loma Plata 44

Fotografía 22.

Tajamar tradicional, Comisión de Agua Rosa Mística, Tte. 1º Manuel Irala Fernández 48

Fotografía 23.

Alcantarillas de toma de agua en tajamares de sedimentación, diseñados para reducir introducción de sedimentos 49

Fotografía 24.

Tubos de acceso agua al tajamar principal para evitar erosión 49

Fotografía 25.

Cañería flotante como medidas de reducción del oleaje y la erosión de las paredes del reservorio 49

Fotografía 26.

Colecta de agua de escorrentía superficial en caminos, Zona Tte. Pico, Boquerón (Gentileza de A. Escobar Masi) 51

Fotografía 27.

Complejo de captación y almacenamiento de agua de la Planta Frigorífica Loma Plata, áreas de captación (1), tajamar pulmón (2), reservorios tipo tajamar represa (3) 53

Fotografía 28.

Área de captación de agua de lluvia adyacente, cortina rompeviento, Laubenheim, Colonia Menno 54

Fotografía 29.

Tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2), Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Intervenciones físicas demostrativas contra la desertificación y la sequía, IICA 59

Fotografía 30.

Camellones de cosecha de agua y criterios de construcción (ancho de camellones en metros y pendiente de canales en porcentaje de pendiente) 61

Fotografía 31.

Áreas sistematizadas de cosecha de agua. Izquierda, construcción adecuada; derecha, con errores construcción por la acumulación de agua en los canales 61



Lista de tablas

Tabla 1.

Frecuencia relativa de lluvias, cantidad y porcentaje del total según categorías.....17

Tabla 2.

Tasa de infiltración media para suelos típicos según
contenido de arena/limo/arcilla 18

Tabla 3.

Costos de materiales y mano de obra para aljibe tradicional de 30 m³ 35

Tabla 4.

Características de ciclos de lluvia anual y cantidad de agua cosechada 56

Tabla 5.

Cultivos comerciales con riego por goteo, requerimientos
de agua y niveles de producción esperados 56

Tabla 6.

Parámetros para construcción de camellones en áreas
sistematizadas de captación de agua..... 60

Tabla 7.

Presupuesto parcial típico para sistema de cosecha y almacenamiento
de agua con capacidad almacenamiento de 50.000 m³ 63

Tabla 8.

Comparación de costo del agua (G/m³) en sistemas
con área de captación y sistema tradicional de
cosecha y almacenamiento en el Chaco Central paraguay 64



Lista de imágenes y planos

Imagen 1.

Laguna de Mariscal Estigarribia, ubicación e identificación de cuenca de abastecimiento 19

Imagen 2.

Lámina esquemática de vivienda con áreas sistematizadas para cosecha de agua 37

Plano 1.

Perfil idealizado para sección de avenida sistematizada para cosecha de agua en zona urbana del Chaco Central 39

Imagen 3.

Imagen de sistema de colecta y almacenamiento de agua de lluvia en la zona de Campo Aroma, Filadelfia, Chaco 45

Imagen 4.

Representación esquemática de pozos de agua someros y sistema de recarga natural (Junker, 1995) 46

Imagen 5.

Levantamiento planialtimétrico en cuadrículas y planificación de esorrentía en proyecto de ASCA en el oeste del área de estudio 55

Plano 2.

Sección transversal de sistema de reservorios, Tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2), Tte. 1º Manuel Irala Fernández 59

Imagen 6.

Perfil de pared lateral de reservorio tipo represa con riesgo de deslizamiento por pendientes empinadas en las paredes internas 62



Introducción

La presencia del hombre en el Chaco meridional paraguayo ha estado marcada por el acceso al agua. Las escasas comunidades documentadas que poblaban la región, desde las incursiones de aventureros europeos en torno al año 1500, estaban limitadas por un relativo bajo acceso al vital recurso (Domínguez, 1904). La tecnología precolonial disponible fue socializada con los inmigrantes llegados a la zona central en la primera mitad de 1900. Desde entonces hasta hoy día, el chaqueño se ha adaptado y ha desarrollado nuevas formas de cosecha y almacenamiento de agua.

Las actividades antrópicas hasta nuestros días están directamente influenciadas por la administración del agua de lluvia. Los medios utilizados para este efecto poseen características propias a la región. Esto, más aún por haberse desarrollado localmente en tiempos de relativa baja comunicación con el mundo exterior y limitado acceso a las herramientas actuales de información global.

Las técnicas, estrategias y medios empleados para la administración del agua en la actualidad han

propiciado el desarrollo de una pujante industria ganadera y la transformación de productos a través de procesos industriales. Se estima que aproximadamente 4,5 millones de cabezas de ganado forman parte de los sistemas productivos en el Chaco Central y zonas de influencia. Productos derivados de este sector primario son industrializados localmente y corresponden a más del 30 % de la producción nacional de leche y un 20 % del comercio nacional de carne.

Este manual sistematiza los medios de cosecha y almacenamiento de agua de los diferentes grupos culturales de la región, y describe los detalles constructivos, de eficiencia técnica y económica. Recoge información del Chaco Central paraguayo, en un área de aproximadamente 150 km de radio, con centro en la ciudad de Filadelfia (22°20'00"S 60°01'00"O). Para la construcción de este documento, se combinan técnicas participativas de sistematización de la información, por ejemplo, grupos focales, informantes claves y visitas a experiencias exitosas, con investigación documental y estudios específicos desarrollados por el equipo técnico.

El Chaco Central

El Chaco paraguayo depende exclusivamente de la administración del agua de lluvia para el desarrollo de las actividades humanas, tal como ya se anticipó en la introducción a este trabajo. En este sentido, el conocimiento de las particularidades socioeconómicas y las características fisiográficas son de suma relevancia al momento de entender, planificar y administrar procesos relacionados con la gestión de recursos hídricos.

Aspectos socioeconómicos

El Chaco paraguayo ha sido históricamente un territorio hostil. Susnik (1983, citado por Vásquez, 2013) menciona que, a la llegada de los españoles a América, en el Chaco los indígenas mantenían cruentas luchas con el fin de exterminar a grupos rivales y procurar sus medios de subsistencia, constituidos principalmente por campos de caza.

Luego de los primeros enclaves industriales para la producción de tanino y otros asentamientos en la periferia del Chaco Central a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, son inmigrantes de origen europeo, pertenecientes a grupos religiosos anabaptistas, los que se instalan en el interior del Chaco paraguayo entre 1927 y 1947. Estos asentamientos se erigirían como el emporio del desarrollo, correspondiente a las actuales colonias menonitas.

La actualidad económica

En la actualidad, el Chaco Central alberga a más de 70 mil habitantes con orígenes culturales diversos. Se estima que un poco más del 60 % de los ciudadanos corresponden a paraguayos de origen indígena y el 40 %, a paraguayos de origen cultural menonita y criollos latinos (R. Zavala, comunicación personal¹).

A partir de la inmigración menonita a la región, la industria ganadera para la producción y procesamiento de carne y leche, así como rubros agrícolas de autoconsumo y renta, la han transformado en un polo económico de desarrollo. El Censo Agropecuario Nacional del año 2008 sitúa en más de 3,5 millones de cabezas la población de ganado vacuno, que genera más de 40 % de la carne nacional de exportación y constituye la segunda cuenca lechera más importante del país. Con relación a los rubros de producción agrícola, prevalecen los cultivos forrajeros, con menores proporciones de cultivos de maní, algodón, soja y otros. Los productos hortícolas son, generalmente, poco desarrollados; sin embargo, se visualiza un alto potencial de estos, como es ilustrado en el presente documento.

¹ Zavala, R. 2019. Entrevista semiestructurada. Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Paraguay

Fisiografía

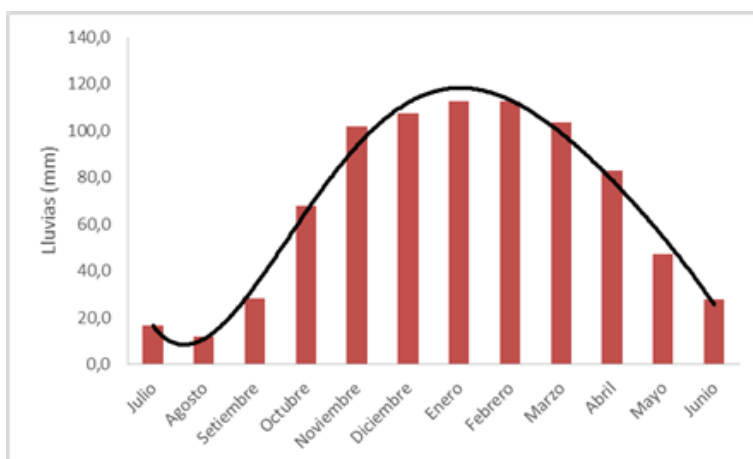
La región Occidental o Chaco en el Paraguay corresponde al 61 % del territorio nacional y alberga a un poco más del 3 % de la población. Chaco Central es como coloquialmente se denomina a la región meridional del Chaco paraguayo, que coincide en gran medida con la descripción de Cabrera y Willink (1973) para la nomenclatura de Chaco seco. Sin embargo, el área de estudio abarca zonas climáticas correspondientes a regiones subhúmeda seca y semiárida (Rediex 2009).

Las lluvias

Las precipitaciones en el Chaco Central son de ocurrencia estacional,

aproximadamente, el 80 % ocurren entre octubre y abril de cada año. Mientras los meses con mayor probabilidad de lluvias son los de febrero y marzo, en contrapunto, los meses más secos son los de julio y agosto, como se observa en el gráfico 1. Por otra parte, el análisis de la intensidad de lluvia para la ciudad de Loma Plata (tabla 1), nos indica una alta ocurrencia de precipitaciones $\leq$ a 30 mm, aproximadamente 25 % de los eventos. Sin embargo, lluvias intensas, mayores a 40 mm, son relevantes en la cosecha de agua para los sistemas locales. Los datos indican una frecuencia acumulada de 7 eventos anuales con estas características. La probabilidad de ocurrencia de estos eventos es mayor entre los meses de diciembre y marzo.

Gráfico 1. Tendencia en las lluvias con base a promedios mensuales para la zona de Loma Plata, Chaco paraguayo.



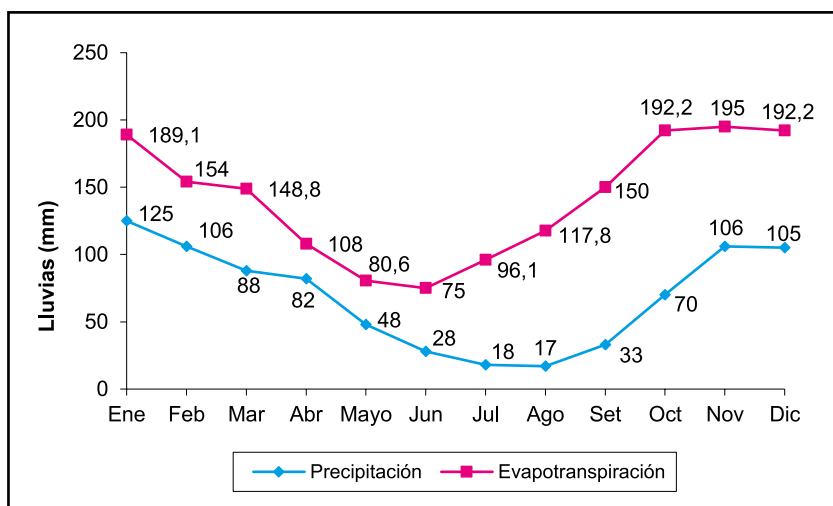
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del archivo Asoc. Civil Chortitzer - Loma Plata y CFP 1932-2020.

La temperatura ambiente y humedad relativa

La temperatura media en el Chaco Central es 24,8 °C. Estadísticamente, el mes más caluroso corresponde a enero y el más frío a julio, con 29,1 y 19,4 °C, respectivamente. Temperaturas altas, mayores a 35 °C, se registran normalmente en gran parte del año. Así también, son característicos los

niveles bajos de humedad relativa. Estas condiciones climáticas son importantes al identificar la evaporación como un problema relevante en sistemas de almacenamiento de agua al aire libre. Más aún, existe un déficit de evapotranspiración potencial durante todo el año considerando datos del gráfico 2.

Gráfico 2. Distribución de lluvia anual promedio y evapotranspiración potencial en Loma Plata, Chaco paraguayo.



Fuente: Harder *et al.* 2004.

Tabla 1. Frecuencia relativa de lluvias, cantidad y porcentaje del total según categorías.

Tamaño de la lluvia (mm)	Frecuencia anual de ocurrencia	Cantidad anual de precipitación	
		mm	%
<10	13,8	73,6	7,6
10-19	11,8	159,6	16,5
20-29	5,3	124,5	12,8
30-39	4,0	154,9	16,0
40-49	1,9	82,5	8,5
50-59	1,8	93,4	9,6
60-69	0,5	31,6	3,3
70-79	1,1	84,6	8,7
80-89	0,8	62,8	6,5
90-99	0,3	23,6	2,4
>100	0,6	78,8	8,1

Fuente: W. Giesbrecht y W. Harder, datos no publicados.

Los vientos

Otro componente que favorece la problemática de la evaporación es la ocurrencia de vientos de mediana y alta intensidad. Mitlöhner (1991) describe los vientos del Chaco Central como predominantes del cuadrante noroeste con marcada ocurrencia entre los meses de junio y octubre.

Suelos y vegetación

La formación de los suelos en el Chaco Central ha sido caracterizada por sedimentos de origen andino (Wiens, 1989) y la presencia de ríos prehistóricos, que definieron la distribución de los mismos y así los suelos de la región. Esta característica determina las

formas de manejo y posibilidades de administración del agua de lluvia. Por un lado, pueden identificarse áreas de mayor escurrimiento superficial, con sedimentos con alto contenido relativo de arcilla, donde son típicos los suelos tipo Luvisoles y Cambisoles, y la vegetación es de tipo bosque xerofítico denso semicaducifolio (Mereles, 2005). Entre estas se distinguen cauces que transportan agua estacional u ocasionalmente, coincidentes con la temporada de lluvias y precipitaciones intensas, estas últimas, coloquialmente denominadas correderas. Además, son de singular relevancias áreas relativamente deprimidas en el microrrelieve, conocidas como bajantes, playadas, o *Niederkamp* apreciadas por la posibilidad albergar tajamares.

Por otra parte, paleocauces colmatados con sedimentos relativamente de mayor tamaño (arena), localmente denominados *Campos*, con suelos pertenecientes al grupo de Regosoles, presentan características de infiltración, diametralmente opuestas a los suelos antes mencionados, observados en la tabla 2. Estos cauces de forma y extensión diversa ocupan aproximadamente el 15 % de la región. Más aún, la infiltración ocurrente en los mismos da la posibilidad de formación de lentes de agua dulce, utilizados desde tiempos anteriores a la colonización occidental y de suma importancia hasta nuestros días.

Relieve y red de escorrentía

El relieve de la región, si bien es relativamente plano, posee un gradiente de nivel decreciente noroeste-sureste, que conjuntamente a la red de cauces colmatados constituye un sistema de drenaje natural. A modo de ejemplo, entre las ciudades de Filadelfia y Loma Plata, distantes 20 km en línea directa,

existe una diferencia de altitud de 8 m. La red de escorrentía antes mencionada puede identificarse claramente en los eventos de lluvias intensas. Esta red de drenaje natural está presente en toda la región y se constituye por correderas ocasionales, hasta riachos con flujos de agua considerables, como el Río Verde o los Riachos San Carlos, Yacaré Sur y Yacaré Norte, entre los más importantes. Estos riachos se caracterizan por transportar agua salobre gran parte del año (DOA/BGR, 1998).

La misma red de escorrentía ofrece potencialidades y riesgos como áreas privilegiadas para la cosecha de agua, así como zonas susceptibles a inundaciones o salinización. Esto se ilustra en la Laguna de Mariscal Estigarribia (LME), donde puede apreciarse el rol de las microcuencas de escorrentía natural para conducir agua hasta un lugar de almacenamiento. Se ubica en un punto estratégico de la cuenca de escorrentía natural al noroeste de la ciudad de Mariscal Estigarribia.

Tabla 2. Tasa de infiltración media para suelos típicos según contenido de arena/limo/arcilla.

Tipo de suelo	Tasa de infiltración
Suelos arenosos:	25 a 40 mm/hora
Suelos franco limosos:	12 – 15 mm/hora
Suelos arcillosos:	1 – 5 mm/hora

Fuente: W. Harder y M. Giesbrecht, datos no publicados.

Esta laguna fue creada con la construcción de la pista del aeropuerto de Mariscal Estigarribia. No se cuenta con evidencia que indique que se haya realizado en forma planificada. Sin embargo, se constituye en un espejo de agua permanente de dimensiones considerables, aproximadamente, 11 has.

La microcuenca de esorrentía al noroeste de ME lo constituyen cauces naturales colmatados que conducen

agua en eventos de precipitación importantes. Estos abarcan áreas aún boscosas y áreas ya en uso agropecuario, como se puede observar en la imagen más abajo. Los cauces colmatados en la geografía mayormente plana del Chaco paraguayo son identificados fácilmente por antiguos pobladores y trabajadores de la región. Esto, conjuntamente con las bajantes, son reconocidos como lugares en los que, en alguna medida, es conveniente ubicar tajamares.

Imagen 1. Laguna de Mariscal Estigarribia, ubicación e identificación de cuenca de abastecimiento.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes varias de Google earth.

Antecedentes históricos

Sin duda, la presencia de comunidades humanas en el Chaco Central paraguayo ha estado marcada por el acceso al agua, desde los primeros grupos documentados, pasando por el inicio de la inmigración occidental hasta nuestros días. Es que esta región carece de cursos de agua permanentes, así como de manantiales.

Pueblos aborígenes

No sería correcto decir que históricamente las diversas etnias aborígenes presentes en el Chaco Central y alrededores han poseído igual tecnología de acceso a fuentes de agua. Esto, en alguna medida, por los hábitos poblacionales diferentes. Sin embargo, las comunidades presentes han socializado su tecnología inicial: desde pozos rudimentarios en zonas específicas del paisaje hasta plantas con tejidos que conservan agua y que pueden salvar la vida en casos extremos (M. Frish, comunicación personal²). En esta tierra semiárida, en la que a veces la presencia de 6, 8 o 10 meses de sequía puede resultar normal, las comunidades indígenas anteriormente se instalaban en zonas donde podían conseguir agua para uso y consumo, ya sean bajantes, lagunas, aguadas o cauces. En este sentido, Plett (1979) referencia a grupos de la etnia Lengua, asentados en la zona al sur de Fn. Toledo, a la llegada de los primeros colonos europeos. Ambos

grupos étnicos fueron favorecidos con el encuentro. Por otro lado, los primeros jugaron un papel preponderante ya antes de la Guerra del Chaco (1932-1935), sirviendo de baqueanos o guías a las tropas para poder encontrar las zonas de agua y los caminos más accesibles entre uno y otro lugar (Richard, 2008).

El componente tecnológico de acceso al agua, históricamente subvalorado, lo constituye también una serie de conocimientos sobre el territorio, las formaciones vegetales y así los sitios específicos donde podría encontrarse agua dulce. Ejemplo de estos son detalles sobre la vegetación típica de las bajantes o sitios que podrían almacenar agua, así como acceso hasta áreas de correderas o zonas de escorrentías superficiales que se activan con lluvias intensas. Más aun, Sthal (comunicación personal³) menciona la existencia de modelos de pozos rudimentarios en forma de escalera entre indígenas Lengua y Guaraní, estos últimos anteriores a los Lengua. En este sentido, otra práctica desarrollada por las comunidades indígenas era la de pozos de infiltración para acumulación de agua dulce. Una serie de pozos, que contribuían a la infiltración de agua, eran construidos alrededor de una principal en zonas bajas (Sosa, 1976).

En este proceso de intercambio tecnológico, el conocimiento sobre

² Frish, M. Entrevista semiestructurada. Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Paraguay

³ Sthal, 2018. Entrevista semiestructurada. Filadelfia, Paraguay.

plantas que conservan agua ha sido de relevancia principalmente en la primera mitad de 1900. Así, los conocimientos sobre el uso de cactáceas o el conocido como *yvy'a* (*Jacaratia corumbensis*) de la familia Caricaceae entre otros, han salvado vidas entre soldados beligerantes y en el ambiente de las primeras colonizaciones.

Otro aspecto social importante lo constituye el rol preponderante de las mujeres en la gestión del agua. Ellas son las que desde tiempos antiguos se encargan del acarreo y uso del agua en el hogar. Es importante hacer notar que el concepto agua es femenino. Sequera (sf) menciona que, en el caso de la gran mayoría de las culturas chaqueñas, son las mujeres las que tienen una relación predominante en la gestión y preservación del agua. Valorar su participación social contribuye a la afirmación de su rol cultural con el agua.

Inmigración occidental

Luego de los tiempos de la conquista, en los que no se consiguen afincar comunidades de forma permanente en el Chaco Central, la inmigración occidental se reinicia con los asentamientos de las misiones anglicanas en el extremo sur del área de estudio, y los obrajes tanineros en la periferia sureste. Las primeras, en las cercanías de zona hoy conocida como Pozo Colorado y al norte, en la zona denominada Cora'i (C. Hawksbee, comunicación personal⁴); por su parte, los denominados obrajes de los empréstitos tanineros, en San Carlos, km 145, entre otros. Sin embargo,

el desarrollo de asentamientos permanentes en el Chaco Central se da a partir de la inmigración de los primeros grupos menonitas, quienes encontraron soluciones para un acceso adecuado al agua, incorporando la tecnología local y conocimientos propios, en un constante sistema de prueba y aprendizaje.

Los primeros menonitas

Los antecedentes históricos sobre el conocimiento y acceso al agua de los colonizadores menonitas del Chaco Central se remontan a las vivencias y experiencias de dos grupos de inmigrantes que salieron de Ucrania, uno con destino a Canadá y otro, a Siberia; el uso y manejo del agua salada se da cuando este último grupo empieza a comprar otras tierras con cierto grado de salinidad. En esta oportunidad, los colonos tuvieron que aprender a manejar ecosistemas con agua salada, similares a la zona este de Loma Plata en el Chaco Central (Goerzen *et al.*, en preparación).

El primer grupo de colonos menonitas del Paraguay, proveniente de Canadá, se asentó en una zona con suelos arenosos, cercano al cambio de suelo del Solonetz al Cambisol. Esta condición les permitió cavar pozos de poca profundidad de 6 a 8 m, de los cuales podían extraer agua mineralizada de buena calidad, pero en poca cantidad.

Mientras los inmigrantes exploraron el monte chaqueño durante los primeros meses de su llegada en busca de maderas para construir, se dieron cuenta de que en la zona no existen manantiales, ríos ni lagos, siquiera un pantano que

⁴ Hawksbee, C. 2019. Entrevista semiestructurada. M. R. Alonso, Paraguay.

tenga agua todo el año. Pensaron que el río más cercano se encontraba a 60 km al sur. La falta de agua obligó a los pioneros a excavar pozos, hecho que para los pesimistas era una razón más para estar descontentos, y para otros, una situación preocupante.

La narración anecdótica cuenta que, en un viaje en carreta tirada por bueyes, oyeron hablar a los colonos canadienses sobre lo difícil que resultaba encontrar agua potable en el Chaco. Entonces, las empresas tanineras les recomendaron llenar los pozos salados varias veces con agua de lluvia para que el agua se vuelva dulce. Los inmigrantes consideraban esto imposible, pero con la experiencia pudieron confirmar su validez.

Los indígenas tampoco les dieron esperanza de encontrar agua dulce en los campos altos. Les dijeron que los lugares de agua dulce solo se encuentran en zonas bajas; donde crece árboles como el palo blanco y el paratodo. A pesar de todo, los colonos no se desanimaron, seguían cavando nuevos pozos, estaban dispuestos a obtener agua potable a cualquier precio. Al encontrarse alternativas, estas eran de uso corporativo. Inclusive en aquellas que, aunque no servían para consumo humano, podían ser usadas para el consumo del ganado.

El segundo grupo de colonizadores, constituido por los que migraron de Ucrania a Siberia, se asentaron en la Aldea N.º 1 de la Colonia Fernheim. Este grupo de colonos excavaron pozos manualmente con forma hexagonal o cuadrada, con paredes de maderas encastradas, aserradas

a mano (K. Neufeld, comunicación personal⁵). Durante los primeros 25 años, las excavaciones se realizaban sobre los regosoles. Se buscaban en las sabanas los lugares donde podría infiltrarse mayor cantidad de agua y allí excavaban. Descubrieron que, al labrar el suelo en los regosoles, podían encontrarla con facilidad, debido a la formación de lentes de agua dulce por infiltración. El agua de estos pozos debía ser extraída mediante un bombeo lento, experiencia adquirida en Siberia, no debían sobreexigir los pozos porque podría volverse dura y salina.

Las siguientes fotografías ilustran en alguna medida las experiencias relatadas.

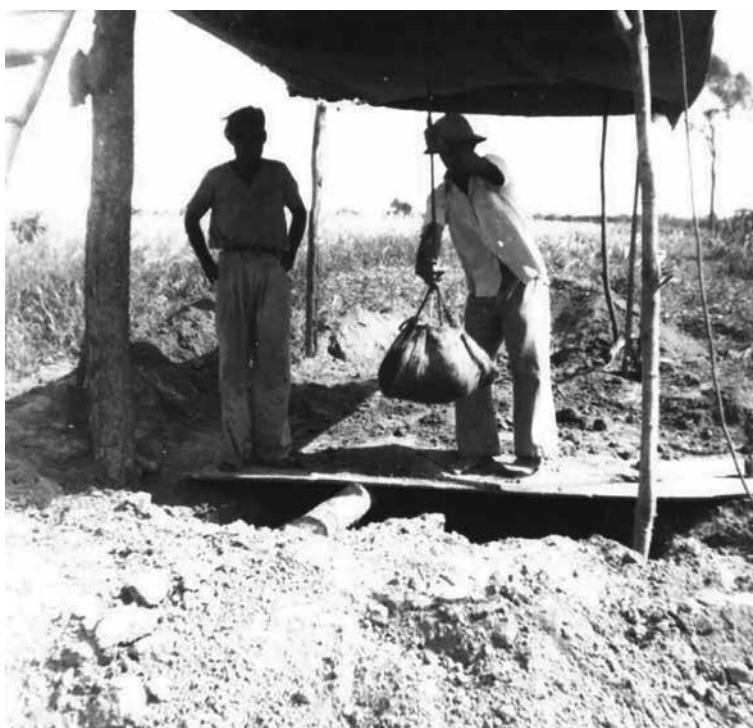
⁵ Neufeld, K. 2020. Entrevista semiestructurada. Filadelfia, Paraguay.

Fotografía 1. Pozo en Karlsruhe, Colonia Fernheim, 1930.



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita Colonia Fernheim.

Fotografía 2. Excavación de pozo en el Chaco, Colonia Fernheim, 1930.



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita Colonia Fernheim.

Fotografía 3. Excavación de pozo con ayuda de un caballo para extraer la tierra, Colonia Fernheim, 1950.



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita, Colonia Fernheim.

Fotografía 4. Sistema de extracción de agua del pozo, Colonia Fernheim.



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita, Colonia Fernheim.

Sistemas de cosecha y almacenamiento

Para la organización de los sistemas descritos en este documento, los mismos han sido ordenados según el ámbito en el cual son utilizados, sean estos domiciliarios, urbanos o rurales.

Sistemas domiciliarios

Techos, canaletas y aljibes

El sistema por excelencia para cosecha de agua de uso doméstico en el Chaco Central es el de los techos domiciliarios o de edificaciones en general. Al inicio de la colonización occidental, los techos domiciliarios eran contruidos a partir de pasto seco, principalmente, espartillo (*Elionurus muticus*). Posteriormente, las colonias menonitas utilizaron material cocido en forma de tejas, tipo francesas, que requieren de una pendiente considerable para funcionar adecuadamente. Esto último, siguiendo la tradición de construcción en regiones con temperaturas extremas bajas y nieve, de las cuales provenían los inmigrantes. En

la actualidad, más de tres cuartos de las edificaciones en el área de influencia de este estudio poseen techos contruidos a partir de chapas galvanizadas, con particularidades que han sido aprendidas considerando las características climáticas de la región.

Estos sistemas están contruidos básicamente por los techos de cosecha de agua, canaletas de conducción y reservorios de almacenamiento (fotografía 5), y tienen una relación directa con la condición social de las familias, siendo uno de los principales objetos de mejoría en busca de bienestar.

Es importante remarcar que la disponibilidad de agua, especialmente a nivel familiar, donde estos sistemas son utilizados, está determinada por un correcto ajuste de los componentes, área de cosecha (techos), colectores (canaletas) y depósitos de almacenamiento (aljibes). Esto sin desmeritar los aspectos relacionados con la gestión del sistema (reparaciones, limpieza, etc.).

Fotografía 5. Vivienda con sistema de colecta y aljibe de características mínimas.



Techos

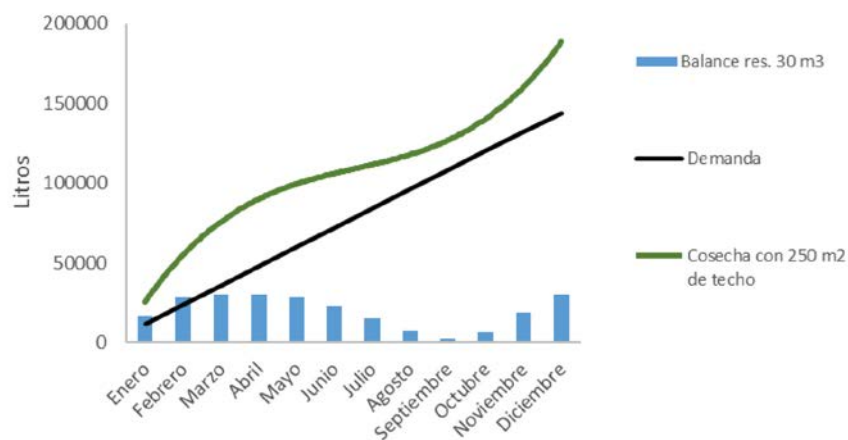
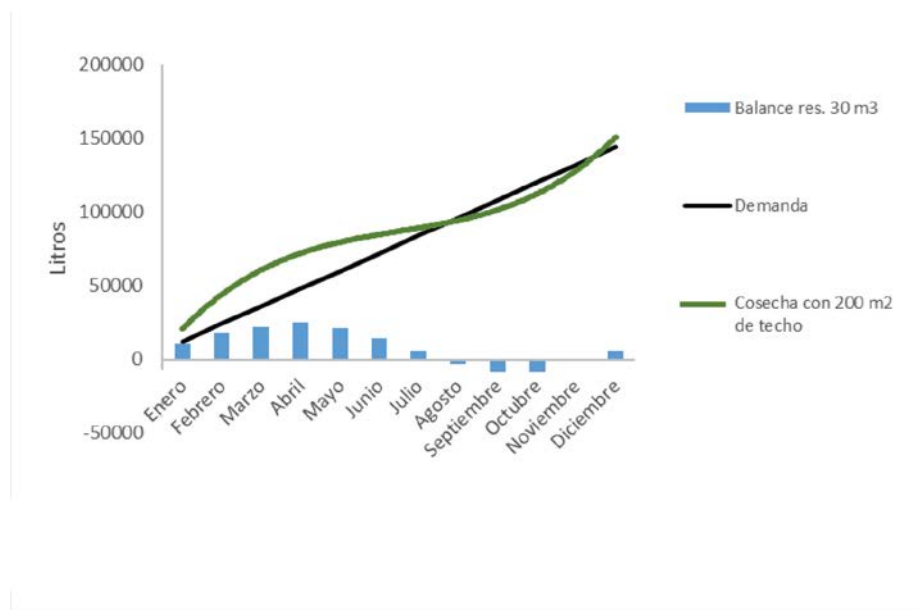
En el Chaco Central paraguayo, cada edificación debe poseer un sistema de cosecha y almacenamiento, prácticamente como regla ética de construcción. Cada metro cuadrado de techo adecuadamente mantenido cosecha alrededor de $0,8 \text{ m}^3$ de agua/año. Sistemas construidos y administrados correctamente pueden poner a disposición más de 90 % del agua cosechada.

La superficie cubierta por los techos, principalmente en edificaciones domiciliarias, responden al requerimiento de agua. Es común observar viviendas de techos amplios que buscan mayor área de cosecha. Sin embargo, solo el adecuado ajuste de los componentes del sistema asegura la disponibilidad de agua para el grupo familiar, con especial énfasis entre el área de cosecha y los depósitos de almacenamiento. Como ejemplo, una vivienda tipo de 200 m^2 puede cosechar 150 m^3 de agua en un año con precipitaciones promedio. Sin embargo, podemos esperar meses con déficit de

agua si consideramos una familia tipo de cuatro miembros y un consumo de 100 litros por persona. En este sentido, con similares precipitaciones, un área de colecta superior, ejemplo 250 m^2 de techo, con un volumen de reservorio de 30 m^3 , ofrecería agua disponible todo el año.

La disponibilidad de agua está determinada en función de la superficie de cosecha, la capacidad de almacenamiento y la administración del sistema. Lo anteriormente mencionado puede encontrarse en el gráfico 3. Una familia de 4 miembros, con un área de cosecha de 200 m^2 y un sistema de reservorio de 30 m^3 , todavía posee un déficit de agua en los algunos meses del año. En este sentido, la mayor capacidad de almacenamiento no contribuirá a disminuir este déficit. Sin embargo, mayor área de cosecha (250 m^2) proveerá agua todo el año. En el anexo A se encuentra a disposición cálculos simples para la obtención del volumen de reservorio en función al área de cosecha y consumo para un grupo familiar.

Gráfico 3. Análisis anual de la relación entre consumo, cosecha y almacenamiento de una familia tipo con diferentes superficies de áreas de cosecha de agua (techos).



Canaletas

Las canaletas de conducción llevan el agua hasta los aljibes. Si bien los modelos y materiales utilizados son variados, predomina la chapa galvanizada. Frecuentemente, las canaletas de conducción incluyen sistemas de filtro o deriva de agua sucia. Las fotografías siguientes ilustran estos mecanismos de filtro (fotografía 6) y deriva de agua sucia (fotografía 7), que se constituyen en herramientas de gestión del acceso al agua de calidad.

Aljibes

La usanza de construcción en la región es la de aljibes cilíndricos de ladrillos de material cocido, de entre 5 a 40 m³ de capacidad de almacenamiento. Sin embargo, otros tipos aljibes, por ejemplo, de cemento, prefabricados y de fibra de vidrio en diferentes esquemas, han mostrado ser efectivos con costos comparativos similares. El desarrollo de este tipo de infraestructura es un indicador del nivel social de la familia, por favorecer el acceso al agua y

Fotografía 6. Canaletas con filtro contra insectos y otros residuos.



Fotografía 7. Canaletas con sistema de registro para administración de agua cosechada.



contribuir directamente al bienestar del grupo familiar. Su uso estratégico es importante al momento de la distribución de agua durante eventos de sequía (fotografía 8) y en ambientes comunitarios con los pueblos originarios (fotografía 9).

Es común que la inversión en la fabricación de aljibes conlleve una importante erogación. Disponer de herramientas financieras para el desarrollo de este tipo de infraestructura podría constituirse en una estrategia para favorecer el bienestar de los grupos familiares y objeto de políticas de Estado para la región. Una propuesta de mecanismo financiero está descripta en el anexo B.

El uso de dos o más aljibes es otra práctica recomendada por facilitar la administración del agua y contribuir a la calidad del agua disponible, que se fundamenta en el riesgo que implica el almacenamiento en un solo aljibe ante posibles accidentes, como rotura o contaminación (fotografía 10). También se recomienda utilizar un aljibe para agua relativamente de menor calidad, por ejemplo, la que deriva de las primeras lluvias, y otro para agua de consumo humano. La administración de estos sistemas se realiza en los registros de acceso a los diferentes aljibes, fotografía 11. Aunque existen sistemas automáticos de deriva de agua, estos son relativamente poco comunes.

Fotografía 8. Aljibe de uso estratégico, comunidad Laguna Negra (144 m² área de cosecha, 25 m³ de capacidad de reserva, > 25 años de uso).



Fotografía gentileza de V. Miguel - Macharety).

Fotografía 9. Exitoso sistema de colecta de agua y aljibes comunitarios, comunidad Betania (área de cosecha 250 m², 30 m³ de capacidad de reserva, > 20 años de uso).



Fotografía 10. Conjunto de aljibes para administración de agua cosechada de diferente calidad.



Fotografía 11. Punto de administración de agua de lluvia cosechada de techos domiciliarios.



Aljibes familiares tipo tradicional

La construcción de aljibes con ladrillos cocidos es un oficio valorado y que posee un grado de especificidad importante. Por lo general, las familias solicitan la construcción de aljibe con características específicas, buscando reducir el costo y alcanzar la mayor capacidad de almacenamiento agua. El precio de referencia a la fecha, está alrededor de 650 G/l de reservorio. Seguidamente, se resume los diversos pasos para la construcción de aljibes domiciliarios.

1. Excavación del pozo: La fosa para el aljibe debe ser realizada en un lugar no muy distante de la casa ni muy cercano que ponga en peligro la estructura de la misma. El diámetro dependerá de la capacidad del aljibe y debe ser mayor que el diámetro exterior; esto para permitir la maniobrabilidad en el caso de encofrados o para realizar de manera segura el revoque exterior. Se debe colocar en el fondo un colchón de arena lavada de 10 cm de espesor, que será utilizado como la prebase. Concluida esta parte, se procederá a construir la losa del fondo, con un hormigón armado de 15 cm de espesor sobre la prebase ya construida, con recubrimiento de 5 cm, dándole la forma abovedada, con una pendiente hacia el centro de 4 a 5 cm, y los hierros serán colocados según los diámetros de la fosa.

2. Mampostería o pared de elevación de ladrillos (comunes 0,15 cm): Se debe construir la pared circular, sobre la losa de fondo y hasta 0,50 m antes de llegar al nivel natural del terreno, e iniciar la recogida hasta dicho nivel,

formando una bóveda y luego elevar una mampostería de 0,15 de sección cuadrangular de 0,60 m libre, sobre la cual se hará la terminación del aljibe, hasta 0,80 m del nivel natural del terreno.

Para todo tipo de aljibe, se usarán ladrillos macizos de calidad comprobada para asegurar la construcción (en ningún caso los ladrillos huecos), y la mezcla deberá ser 1:3 (cemento-arena lavada), cuidando de que a medida que se eleve la pared para el aljibe, el espacio que quede entre la pared levantada y la pared del terreno natural, quede relleno totalmente con la mezcla utilizada 1:3 para la pared (evitar la porosidad externa y las raíces de los árboles).

3. Revoque interior impermeable: Concluida la mampostería, se procederá a revestir totalmente el interior del aljibe, con un revoque impermeable de mezcla 1:3 (cemento-arena lavada), con tapaporos y trama de poliéster tejida a dos capas, luego hay que darle una terminación tratando de dejar la pared y el fondo perfectamente lisos, de manera a facilitar su lavado. Actualmente, se enfatiza la importancia del uso en la mezcla del revoque de productos impermeabilizante. Para la mezcla deberá utilizarse agua limpia que no contenga sal para evitar terminaciones de baja calidad que se descascaran y filtran el agua acumulada en el corto plazo; hay que tener en cuenta que el contenido de sal en la tierra es elevado.

La parte abovedada deberá ser revocada tanto interna como exteriormente. La parte exterior de la

mampostería deberá ser revocada con una azotada con la misma mezcla que se utiliza para el asiento de los ladrillos.

El cerramiento superior se hará con pared de 0,15 m, utilizando preferentemente ladrillos macizos, con juntas rellenas, sobre la parte superior de la bóveda. Las dimensiones deberán ser de 0,90 m x 0,90 m y 0,80 m de altura sobre el nivel natural del terreno y, como terminación, un revoque sobre el ladrillo de tal modo que sea liso, sobre la cual irá asentada la tapa metálica galvanizada con una cerradura para evitar el ingreso de cualquier insecto o animales.

4. Relleno y compactación: La parte o el espacio entre las mamposterías revocadas y el suelo natural deberán ser rellenos y compactados de modo que no queden espacios que provoquen asentamientos en la periferia de los aljibes.

5. Contrapiso y piso: El alisado alrededor del brocal (ancho = 1 m) se construirá con un contrapiso de hormigón de cascote de 7 cm de espesor y sobre este, un piso de alisado de cemento (cemento: arena lavada 1:3), perimetral al tanque y hasta 1,00 m del brocal construido, con ligera pendiente hacia la parte externa, considerando que hay zonas donde el terreno es muy falso.

La impermeabilización de los aljibes con geomembranas plásticas es una técnica reciente, que permite reparar aljibes con pérdidas por grietas. Esta práctica consiste en cubrir las paredes con el material mencionado (diámetro 200 μ m). El costo de mercado es de alrededor de 90 G/l y posee una vida útil mínima de 5 años.

Aljibes prefabricados

Los aljibes de placas de cemento prefabricadas son una alternativa relativamente reciente en la región. Esta tecnología documentada por diversas fuentes, presenta costos comparativos a otros sistemas, como ventajas y desventajas particulares.

El proceso en forma resumida consiste en la preparación del sitio con la excavación de la fosa, la fabricación de placas de cemento que constituirán el aljibe propiamente dicho y el posterior ensamblaje. En los modelos desarrollados localmente, dos tercios del reservorio se encuentran por encima del nivel del suelo.

Un aljibe de placas de cemento de 10 m³ construido en el Chaco Central cuesta actualmente 750 G/l de agua almacenada. Sin embargo, como se menciona en este documento, la proporción del costo ocupado por la mano de obra es significativamente mayor. Esto podría ser una ventaja en comunidades con abundancia relativa de mano de obra ociosa.

Entre las ventajas de este tipo de construcción se encuentran (Anaya Garduño, 1998):

1. Las herramientas de construcción para dichos aljibes son de tipo convencional, comunes entre constructores regionales.
2. La extracción del agua es sencilla por la parte superior, sin necesidad de equipos adicionales.
3. Posee un tiempo de construcción

relativamente inferior a los aljibes tradicionales.

4. El costo de construcción es comparable al de aljibes tradicionales con una mayor proporción del costo destinado a mano de obra.
5. Puede construirse en familia o en trabajo asociativo.

En contrapartida, algunas desventajas son:

1. La experiencia específica requerida para la construcción de las placas y los moldes de no se halla disponible con facilidad en la región.
2. Las uniones entre placas de cemento tienen, frecuentemente, problemas de fisuras y pérdidas de agua.

Experiencias con este tipo de tecnología en comunidades de pueblos originarios han resultado exitosas, sin embargo, aún no han sido reproducidas en forma extensiva.

Reservorios de fibra de vidrio

Aljibes prefabricados de fibra de vidrio han tomado popularidad en los últimos años (fotografía 12). Una serie de fabricantes proveen localmente unidades de entre 0,5 a 50 m³. El precio para la implementación de este tipo de reservorios es de 710 G/l, incluyendo la instalación básica. Comparado con los aljibes de ladrillos cocidos, las características de practicidad en la construcción al momento de la instalación y relativa rápida puesta en funcionamiento, favorecen su utilización, especialmente, en el ámbito empresarial, considerando que otro tipo de unidades demandan el transporte de volúmenes importantes de materiales de diversa índole para su construcción.

En comunidades de pueblos aborígenes con sistemas comunitarios se han observado experiencias sobresalientes con este tipo de unidades.

Fotografía 12. Sistema domiciliario de cosecha de agua con aljibe prefabricado de fibra de vidrio.



Costo y financiación

La inversión en la construcción de aljibes oscila entre 400 a 1.200 G/l, dependiendo del tipo de material de construcción y la capacidad. Aunque invertir en aljibes es común y a la vez una necesidad en la región, se han encontrado escasas herramientas financieras específicas, solo disponibles en algunas instituciones del ámbito cooperativo.

La adquisición de este tipo de reservorios es considerable desde la

perspectiva de un grupo familiar. Se observa, comúnmente, una relación entre volumen de almacenamiento y costo, donde a mayor volumen menor costo por litro de agua almacenada. Así, un aljibe de 30 m³ metros cúbicos de capacidad demanda aproximadamente 20 millones de guaraníes, en torno a los 2900 USD. El detalle de los costos de un aljibe típico de material cocido se encuentra contenido en la tabla 3.

Para grupos familiares con uno de sus miembros asalariados, una inversión

Tabla 3. Costos de materiales y mano de obra para aljibe tradicional de 30 m³

Materiales de construcción	Cantidad	Unidad / medida	Costo unitario	Costo total
Ladrillo T3N 2. ^o	3.200	u	1.150	3.680.000
Cemento 50 kg	32	u	69.000	2.208.000
Triturada 4. ^o especial p/kg	2.500	kg	200	500.000
Arena lavada p/kg	10.000	kg	135	1.350.000
Hidrófugo de 18 l	1	u	106.350	106.350
Ladrillo T3 1A	80	u	1.290	103.200
Ladrillo laminado recta 1. ^o A	50	u	2.250	112.500
Varilla del 8	2	u	49.500	99.000
Varilla del 10	1	u	58.000	58.000
Membrana 24 m x 3 m	24	m	9.000	216.000
Agua para la construcción	550	l	450	247500
MANO DE OBRA				
Excavación para el pozo	1	u	5.100.000	5.100.000
Base de hormigón 5 cm	6	m ²	200.000	1.200.000
Pared de ladrillo	9	m ²	200.000	1.800.000
Revoque de base y pared	12	m ²	200.000	2.400.000
Tapa de hormigón de 8 cm grosor	6	m ²	200.000	1.200.000
TOTAL				20.380.550

Fuente: Facultad de Ciencias Agrarias UNA Sección Chaco, A. Oporto, datos no publicados.

de 17.5 millones de guaraníes a un plazo de 84 meses y una tasa del 7,5 % constituye una inversión plausible de aproximadamente 300 mil guaraníes mensuales (45 USD). Considerando la alta incidencia de este tipo de inversiones en el bienestar familiar, podrían ser objeto de subsidios o políticas preferenciales con relación al costo del dinero utilizado en estas inversiones. Un modelo de producto financiero específico para la construcción de aljibes se detalla en el anexo B.

Patios y áreas de servicio

La sistematización de los patios domiciliarios, así como la de otras áreas de servicio, por ejemplo, estacionamientos o sendas, es cada día más frecuente. Tiene como objetivo principal conseguir mayor disponibilidad de agua para usos múltiples, como en jardines, sanitarios, áreas de lavado y varios más. Aunque no se disponen de datos sistemáticos sobre la eficiencia de estas áreas, a modo de ejemplo, un área sistematizada domiciliar de 1750 m² consigue llenar un aljibe de 35 m³ con 40 mm de precipitación (R. Goerzen, comunicación personal⁶), equivalente a una eficiencia de cosecha aproximada al 50 %.

La imagen 2 ilustra uno de los modelos pioneros en la ciudad de Filadelfia, con área de patio sistematizada para cosechar agua. Como medida de diseño, puede observarse que los árboles se encuentran ubicados en el perímetro de la propiedad. Además, gran parte de las áreas de cosecha están cubiertas con pasto para disminuir

el arrastre de sedimentos. Un aspecto muy importante es que la nivelación del terreno está desarrollada para conducir el agua al punto periférico más bajo de la propiedad, donde se encuentra el punto de entrada del agua al reservorio.

La fotografía 13 muestra el punto de entrada del agua al aljibe con su rejilla correspondiente, que coincide con un área donde el agua se acumula transitoriamente contribuyendo a la decantación de basura y sedimentos. En este caso, si bien el agua que llega al reservorio puede arrastrar una cantidad importante de sedimentos, un sistema de extracción de agua que alcanza el fondo del reservorio contribuye a devolver gran parte de estos sedimentos hasta la superficie. En el modelo antes descrito, son importantes las medidas que reduzcan el arrastre de sedimentos y basura. En este sentido, se han evitado las pendientes pronunciadas, la remoción de suelo en el área de cosecha y se ha propiciado el crecimiento de pasto en áreas sin cobertura.

Sistemas urbanos

Calles y avenidas

En el ámbito urbano, calles y áreas de servicio poseen una sistematización para el drenaje y conducción del agua. En un ambiente con un relieve casi plano esta sistematización permite evitar problemas con inundaciones temporales o raudales ante eventos climáticos de lluvias intensas. Más aún, en el Chaco Central estos sistemas contribuyen a la cosecha de agua para usos múltiples. Por lo general, el agua es conducida

⁶ Goerzen, R. 20218. Entrevista semiestructurada. Filadelfia, Paraguay.

Imagen 2. Lámina esquemática de vivienda con áreas de patio sistematizadas para cosecha de agua.



Fotografía 13. Patio domiciliar sistematizado para cosecha de agua. En primer plano, alcantarilla de acopio de agua; en el plano de fondo, aljibe para agua de patio.



hasta tajamares de infiltración para posteriormente ser extraída y utilizada. La fotografía 14 y el plano 1 ilustran un perfil correspondiente un sistema de cosecha de agua para una avenida en la ciudad de Neuland.

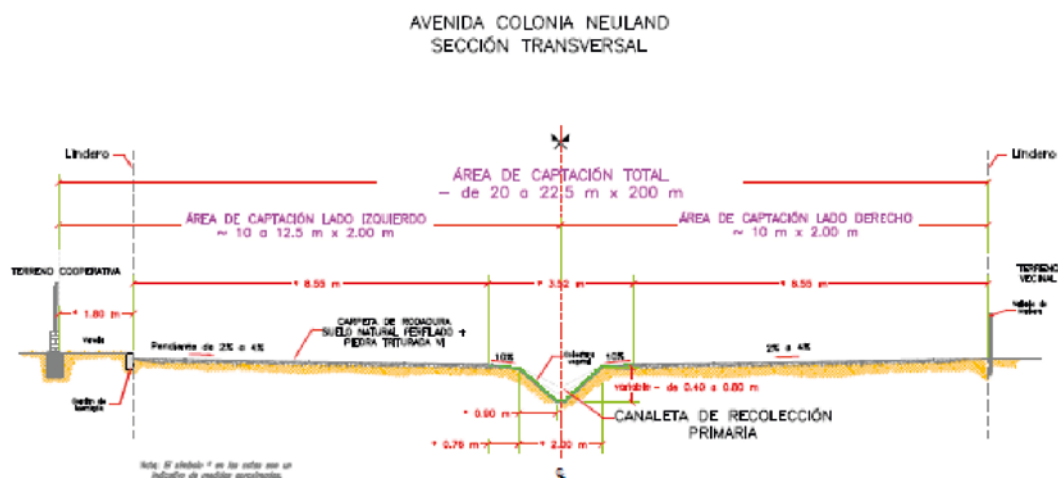
La ingeniería de estas obras es de singular importancia al contribuir a su eficiencia y reducir los gastos de mantenimiento. La eficiencia en las mismas no está limitada a obras puntuales, sino que

a un sistema interrelacionado que permite la rápida colecta y transporte del agua a las áreas deseadas. En este sentido, avenidas dobles con canales centrales son comunes en diversas áreas urbanas en el Chaco Central (fotografías 14, 15 y 16). La pendiente del perfil de tránsito de vehículos varía entre 2 y 5 %. Sin embargo, la misma es ajustada periódicamente al momento del mantenimiento de los terraplenes (plano 1).

Fotografía 14. Avenida sistematizada para colecta y transporte de agua, Neuland.



Plano 1. Perfil idealizado para sección de avenida sistematizada para cosecha de agua en zona urbana del Chaco Central.



La ciudad de Filadelfia posee este mismo sistema en una organización de calles asfaltadas (fotografía 15). Los detalles de la infraestructura han sido modificados en función de la eficiencia que ofrecen. En cada caso, un componente importante

del mantenimiento constituye la limpieza de sedimentos a lo largo de los canales de conducción y puntos críticos, ilustrada en la fotografía 16, para una de las avenidas principales en la ciudad de Loma Plata.

Fotografía 15. Acumulación de sedimentos en canales de conducción de agua, punto importante de mantenimiento del sistema.



Fotografía 16. Mantenimiento en obras de colecta y transporte de agua, Loma Plata.



Otras áreas de servicio

Otras áreas de servicio comienzan a ser sistematizadas para la cosecha de agua, especialmente en el marco de actividades que demandan su uso intensivo. En este caso, áreas de estacionamiento, accesos y patios son organizados para el fin antes mencionado.

La fotografía 17 ilustra la cosecha de agua en el área correspondiente a un taller de maquinarias de la Cooperativa Neuland. Una serie de canales conducen el agua de toda el área sistematizada hasta un tajamar impermeabilizado. El agua almacenada, por lo general,

posee un contenido de sedimentos considerable, por lo que es utilizada principalmente para el lavado de maquinarias. Sistemas de decantación o filtrado de sedimentos previo ingreso al área del reservorio podrían ser algunos puntos de mejora a desarrollar para estos sistemas.

Tajamares de infiltración

Tajamares de infiltración en las zonas urbanas son comúnmente observados en el Chaco Central, aunque también son comunes en zonas rurales, siguiendo el mismo principio básico. La infiltración artificial agua de lluvia en suelo

Fotografía 17. Reservorio impermeabilizado de almacenamiento de agua en área de servicios, Neuland.



arenoso es una práctica que se viene desarrollando desde los tiempos de las comunidades indígenas. De hecho, fueron encontrados vestigios de pozos someros en zonas arenosas en áreas que hoy día ocupa el centro urbano de la colonia Neuland (E. Reimer, comunicación personal⁷).

El principio básico consiste en propiciar la acumulación de agua en zonas con suelos arenosos en estructuras construidas, por ejemplo, pozos, tajamares o en áreas bajas, propiciando su infiltración, con diferentes fines, tal como describen Godoy et al. (1994) y listados a continuación:

- Utilizar el acuífero freático como depósito de almacenamiento de los excedentes del agua superficial durante los periodos de lluvias intensas.
- Almacenar agua dulce en el acuífero de agua salada.
- Aumentar la disponibilidad de agua dulce en el acuífero.
- Disminuir la salinidad del agua del acuífero.
- Tratamiento del agua por purificación natural en el subsuelo.

Los objetivos descritos para esta práctica son comprobables en la actualidad en los centros urbanos del Chaco Central. Sin embargo, es importante mencionar que la calidad y el contenido de sales del agua proveniente de esta fuente varían ampliamente. Como ejemplo, la salinidad puede aumentar a medida que se extrae el agua, y se reduce a niveles por debajo de 1.000 $\mu\text{mhos/cm}$ luego de una precipitación que propicia la recarga del acuífero.

⁷ Reimer E. 2019. Entrevista semiestructurada. Neuland, Paraguay.

Los tajamares de infiltración deben estar ubicados en sitios con suelos arenosos, típicos de los paleocauces, y en sitios donde pueda ser transportada el agua para propiciar su infiltración. La fotografía 18 ilustra un tajamar de infiltración alimentado por agua conectada en el espacio correspondiente a las calles. Este tipo de procesos es típico para la región.

La extracción del agua se realiza por medio de pozos conocidos localmente

como tipo bombilla en diferentes versiones (fotografías 19 y 20). En la actualidad, estos consisten en pozo de pequeño diámetro excavados, generalmente, de forma manual, con profundidad de 8 a 12 m de profundidad.

Sistema de deriva de agua de inundaciones o repuntes

Este sistema consiste en una serie de infraestructuras destinadas a la deriva de agua de escorrentía precautelando

Fotografía 18. Tajamar de infiltración alimentado por precipitaciones en calles y patios.



Fotografía 19. Pozos tipo bombilla con perforaciones múltiples en un tajamar de infiltración de agua.



Fotografía 20. Pozo somero tipo bombilla con bomba de diafragma.



la inundación de áreas urbanas o habitadas. En forma específica, el ejemplo más importante consiste en el sistema de deriva y almacenamiento ubicado al oeste de la ciudad de Loma Plata.

La esorrentía superficial de grandes volúmenes de agua provenientes de las precipitaciones intensas y generalizadas ocurre ocasionalmente de forma repetitiva en diferentes zonas del Chaco. Este tipo de eventos, conocidos coloquialmente como repuntes, han generado la inundación de barrios en la ciudad de Loma Plata y otras zonas urbanizadas de la región.

Actualmente, en respuesta a estos eventos en la ciudad antes citada, se ha desarrollado un sistema de muro de protección y área de almacenamiento de agua. Parte de esta es utilizada posteriormente para fines múltiples. El sistema permite la deriva del agua de las esorrentías superficiales mediante un muro y canal de 7 km de longitud que la transporta hasta el área de almacenamiento, constituida por un área primaria con 100.000 m³ de capacidad aproximada y 2 reservorios de 380.000 m³. La fotografía 21 ilustra el sistema de muro y canal descrito con anterioridad.

Fotografía 21. Muro y canal de deriva de agua de lluvia al oeste de la ciudad de Loma Plata.



Sistemas rurales

Áreas de infiltración y pozos someros

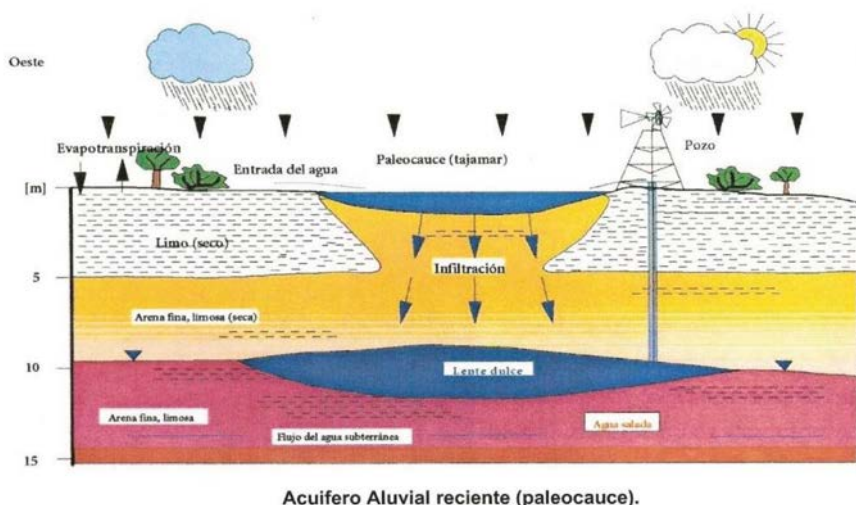
El agua en las depresiones del terreno, que propician la infiltración, da origen a la acumulación de agua dulce en el perfil del suelo. Esto puede darse de forma natural o favorecida por intervenciones en propósito. Los tajamares de infiltración son un ejemplo importante. Sin embargo, la imagen 3 ilustra uno de los sistemas de almacenamiento de agua más importantes de la región, emplazado al norte de Filadelfia, en el lugar denominado Campo Aroma. Gestionado por la cooperativa local, consta de un sistema de conducción de agua hasta una depresión arenosa en el terreno que propicia la acumulación de grandes cantidades de agua en el suelo. La posterior extracción del agua da lugar a uno de los sistemas de abastecimiento más importantes para la comunidad de Filadelfia. Doce pozos

someros pueden llegar a extraer un millón de litros de agua por día con una mínima incidencia en el nivel estático de los pozos (A. Friesen, comunicación personal⁸).

Los pozos someros pueden ser encontrados en el Chaco Central, en zonas de paleocause colmatados de suelos arenosos. Están constituidos por lentes de agua dulce provenientes de la infiltración de las lluvias, como se observa en la figura siguiente. Son relativamente fáciles de construir. Con el tiempo, se han cambiado los pozos excavados manualmente a los perforados con herramientas propias, conocidos como tipo bombilla (imagen 4). La capacidad de suministro y nivel de minerales es variable. Sin embargo, el uso intensivo de esta fuente de agua ocasiona su deterioro con el incremento de los niveles de sal.

⁸ Friesen, A. 2020. Entrevista semiestructurada. Filadelfia, Paraguay.

Imagen 4. Representación esquemática de pozos de agua someros y sistema de recarga natural (Junker, 1995).



Tajamares tradicionales

Reservorios de agua excavados al nivel del suelo con profundidades que varían comúnmente entre 1 a 5 m son coloquialmente denominados tajamares. Según contratistas locales, tajamares con capacidades entre 5.000 a 20.000 m³ son los más solicitados. La construcción se realiza típicamente mediante equipo de tractores y excavadoras tipo trilla. Los detalles de construcción adoptan medidas que buscan reducir las acciones de mantenimiento de las obras al tiempo de mejorar la eficacia de la cosecha de agua. Por otra parte, aunque este tipo de reservorio de agua posee desventajas puntuales relacionadas con las pérdidas de agua o necesidades de mantenimiento, los mismos demandan gestión mínima para el funcionamiento y se constituyen en el medio de

almacenamiento de agua para usos múltiples más utilizado en la región.

Los tajamares son construidos en sitios con características específicas de suelo y microrrelieve. Por un lado, los suelos deben ser de tipo arcilloso, con contenidos mayores a 40 % de arcilla (luvisoles, Solonetz, gleysoles) que posean infiltración del agua limitada. La profundidad en el perfil del suelo de esta característica, determinará la profundidad que podría alcanzar el tajamar.

Al mismo tiempo, el nivel de la napa acuífera es otro determinante de la profundidad que puede alcanzar el tajamar. En sitios con una napa acuífera salobre cercana a la superficie ($\leq 4\text{m}$), los tajamares no pueden ser muy profundos. Esto por el riesgo de

salinización por el contacto con la napa salobre. Para compensar esta limitante, la tierra extraída puede utilizarse en la construcción de reservorios por encima del nivel del suelo. En este último caso, el talud del reservorio no debería elevarse por sobre 3 m de altura, precautelando un perfil hidráulico muy elevado que propicie la salinización de áreas adyacentes. Esto debido a la precisión del perfil de agua sobre la napa acuífera salobre.

En el Chaco Central los tajamares son contruidos en bajantes o correderas o en sitios con características de suelo mencionados anteriormente. La primera correspondiente a depresiones en el microrrelieve, con vegetación prístina típica, relativa abundancia de palo blanco (*Calycophilum multiflorum*). Además, los tajamares pueden ser contruidos en áreas conectadas al microrrelieve de cauces colmatados no arenosos, que transportan agua ocasionalmente en eventos de lluvias intensas.

Simple en su construcción, se realizan con tractores equipados con palas hidráulicas tipo traíllas y alternativamente un tractor con púa para escarificar (aflojar) el suelo a ser removido, que es colocado en extremos opuestos de la excavación de manera que no impida el escurrimiento de agua hacia el tajamar (fotografía 22). Esta forma de excavación es considerada la más económica. Otras modalidades contemplan la construcción, con la tierra removida, de tanques elevados tipo australiano (*Turkey nest*) o reservorios de agua elevados, descritos más adelante.

Como desventaja relativa, los tajamares poseen pérdidas de agua que deben ser consideradas. Estas pérdidas se dan principalmente por la evaporación y la infiltración. La exposición de la superficie del agua a altas temperaturas y vientos propicia que la misma se evapore. La mayor profundidad de los tajamares contribuye directamente al reducir la evaporación total de la reserva de agua. Según mediciones realizadas en la Est. Exp. Isla Po'i (W. Harder, datos no publicados), se estima que para un tajamar típico la pérdida de agua en días de altas temperaturas y vientos intensos está en torno de los 0,01 m/día del nivel del agua.

En contrapunto, la gestión que demanda este tipo de infraestructura contruida adecuadamente es mínima. Esto cobra importancia al poder estar funcionando en sitios distantes poco frecuentados, por ejemplo, reservas estratégicas para eventos de sequía o establecimientos ganaderos de producción extensiva.

El costo de construcción de este tipo de infraestructura oscila entre 6000 a 7000 G/m³ (0,86 a 1 USD/m³ de volumen. Sin embargo, el sistema completo debe incluir una serie de obras complementarias que mejoren su eficiencia y reduzcan las necesidades de mantenimiento. El presupuesto para un sistema típico es incluido al final de esta sección.

Obras complementarias. Canales de cosecha de agua, tajamares de sedimentación, alcantarillas de acceso de agua, reductores de oleaje, alambrada perimetral, entre otras son obras complementarias que

contribuyen con la eficiencia de los tajamares convencionales, mientras la construcción de reservorios elevados tipo tanque australiano corresponde a una herramienta para el manejo del agua utilizada en el sistema de transporte.

Los canales de cosecha de agua son colectores sencillos de 0,5 m de profundidad, con longitud y orientación variada, contruidos en función del microrrelieve, y tienen el propósito de facilitar la conducción del agua hasta el tajamar. Estos son determinantes para su eficiencia.

Los tajamares de sedimentación tienen como objetivo reducir los requerimientos de mantenimiento en el tajamar principal por el arrastre de sedimentos que ingresan con el agua. Aunque esta práctica es relativamente

poco frecuente, las experiencias revisadas muestran que contribuye significativamente a prolongar la vida útil del tajamar principal. Por su parte, las alcantarillas son obras que regulan el acceso de sedimentos al tajamar principal. Diversas modelos pueden observarse en las fotografías 23 y 24). Los reductores de oleaje con cañerías de 1,5" orientadas en sentido este/oeste, que consideran los vientos predominantes (fotografía 25), muestran efectos positivos en la reducción de la erosión de las paredes del tajamar y de reservorios descriptos más adelante en este documento. En el mismo sentido de preservar las paredes del tajamar de la erosión, debe restringirse el acceso de animales al tajamar mediante alambradas perimetrales, estas son obras indispensables en los sistemas de cosecha de agua.

Fotografía 22. Tajamar tradicional, Comisión de Agua Rosa Mística, Tte. 1.º Manuel Irala Fernández.



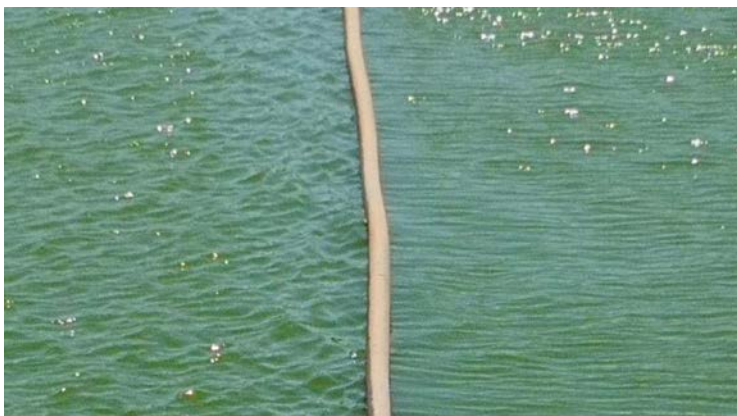
Fotografía 23. Alcantarillas de toma de agua en tajamares de sedimentación, diseñados para reducir introducción de sedimentos.



Fotografía 24. Tubos de acceso del agua al tajamar principal para evitar la erosión.



Fotografía 25. Cañería flotante como medidas de reducción del oleaje y, por consiguiente, la erosión de las paredes del reservorio.



Tanque australiano. Son reservorios de agua elevados contruidos con el suelo de la excavación del tajamar y que permiten la distribución de agua en forma práctica y segura. Nelson (1985) las describe como obras utilizadas en Queensland y Northen Austalia para el suministro de agua al ganado.

Aunque estas obras tienen una eficiencia relativamente baja en la proporción de suelo removido y agua almacenada de entre 15 a 20 %, permiten tener cuerpos de agua elevados con la presión requerida para el transporte por cañería a los diferentes puntos de uso. Son extremadamente relevantes en los sistemas de producción ganadera locales.

Las dimensiones están definidas por el caudal y distancia al que será transportada el agua. La altura final está determinada por el diámetro inicial de la base. Dimensiones típicas para un sistema de transporte de agua varían de 7 a 10 m de altura.

El tanque australiano posee un sistema de bombeo para elevar el agua al reservorio. Por lo general el bombeo se realiza mediante un molino de viento con pistón hidráulico o motobombas eléctricas a combustión. Recientemente se ha popularizado el uso de sistemas con motobombas eléctricas de energía solar debido a la practicidad en el uso y mantenimiento.

La ventaja principal del sistema es la practicidad, la relativa baja intensidad de gestión, que permite asegurar un cuerpo de agua elevado, que proporciona seguridad ante eventos impredecibles como cortes de energía o desperfectos en general.

Adecuación de obras viales

La superficie destinada a obras viables es potencialmente un área de captación de agua. De hecho, su arquitectura, que combina idealmente un área abovedada y cunetas de acumulación y/o transporte, es utilizada de forma práctica por establecimientos agropecuarios conectando a tajamares de almacenamiento. Carreteras y caminos poseen un alto grado de escurrimiento de agua de lluvia, se estima que un 90% en carreteras asfaltadas y no menos del 60 % en terraplenes del agua de lluvia caída pueden ser cosechadas y almacenadas para fines múltiples. La arquitectura en las obras viales, así como la compactación de las mismas, especialmente en los terraplenes, son las características que propician el escurrimiento y la potencial cosecha del agua. Fuentes anecdóticas hablan de que la observación de la escorrentía de agua de caminos terraplenados propicia el desarrollo de áreas mayores para la cosecha de agua de lluvia en el Chaco Central.

La adecuación de estas áreas incluye como desafío la conducción y el almacenamiento del agua. La conducción se realiza primeramente por la sistematización de las cunetas o franjas de seguridad de los caminos, con lo que se transporta el agua hasta tajamares de almacenamiento o de infiltración. El tipo de suelo influye directamente en la eficiencia de la conducción y almacenamiento del área a ser adecuada. Suelos con alto contenido de arcilla son mejores para este tipo de adecuación por su baja capacidad relativa de infiltración. Uno

de los desafíos técnicos es el cambio en las medidas de mantenimiento de las cunetas y franjas de dominio a fin de mantener funcionalidad para la conducción del agua. La fotografía siguiente ilustra este concepto, donde la construcción de una alcantarilla posibilitará la conducción del agua caída sobre un camino interno a un tajar de almacenamiento.

Se ha estudiado el potencial de cosecha de agua de la ruta Transchaco y, como resultado, se obtiene una potencial captación de 45.000 m³/km con 750 mm de precipitación anual. Esto podría

dar lugar a la cosecha y almacenamiento de agua para usos diversos, por ejemplo, productivos o sociales (anexo C).

En este paquete tecnológico, los mecanismos de gestión y administración son de similar importancia a las obras de ingeniería propiamente dichas. Más aún cuando estos se relacionan con sistemas de uso comunitario o social. Ambos aspectos aún demandan desarrollo y sistematización adecuados para su implementación generalizada en nuestro medio. Sin embargo, iniciativas piloto pueden contribuir de forma importante a su adecuación.

Fotografía 26. Colecta de agua de escorrentía superficial en caminos, zona Tte. Pico, Boquerón (Gentileza de A. Escobar Masi).



Áreas sistematizadas de cosecha de agua, tajamar y reservorio tipo represa

La sistematización de superficies de terreno para la cosecha de agua es una tecnología que ha cambiado los paradigmas de la producción agropecuaria y la industria en el Chaco Central. Experiencias iniciales en estas técnicas en la región fueron desarrolladas en los primeros años del siglo XXI a partir de observaciones sobre el flujo de agua en caminos y cunetas.

Estas primeras pruebas fueron lideradas por el Ing. Agr. Wilhelm Giesbrecht y colaboradores. En resumen, constituye la sistematización de superficie de terreno en camellones y canales para la cosecha de agua, imitando a los caminos terraplenados, y el almacenamiento en tajamares y reservorios de gran capacidad. A partir de superficies relativamente pequeñas se pueden cosechar grandes volúmenes de agua que permiten el desarrollo de cultivos e industrias de uso intensivo de agua. Ejemplos de estos son los cultivos de hortalizas y la industria láctea y cárnica en el Chaco Central.

Esta forma de cosecha de agua es también conocida en Australia como *Roaded catchment*, en condiciones climáticas similares a las del Chaco, con características diferenciales claras como tipos de suelo y diseño del área sistematizada.

La ventaja principal de este sistema en el Chaco está en la posibilidad de almacenar agua en un perfil más profundo con menor exposición a la radiación y vientos, reduciendo las pérdidas por evaporación. Además, permite mejorar la relación entre volumen de tierra movida y capacidad de almacenamiento de agua.

Como regla del pensamiento, se observa que una hectárea de área sistematizada permite la cosecha de 5000 m³ de agua en años con lluvias promedio en torno a los 800 mm. El complemento a este sistema de cosecha está dado por el sistema de almacenamiento, que consiste en tajamares de almacenamiento transitorio, denominados comúnmente pulmón, y reservorios de almacenamiento más duraderos tipo represa.

El sistema íntegro puede observarse en la fotografía 27, ilustrada a partir del sistema de cosecha de agua para la planta frigorífica de la Cooperativa Chortitzer en el Chaco Central.

Los pasos para la construcción de áreas sistematizadas de cosecha de agua son: identificación del sitio, planificación de gabinete y trabajos de construcción (Harder, 2017).

Fotografía 27. Complejo de captación y almacenamiento de agua de la Planta Frigorífica Loma Plata, Áreas de captación (1), tajamar pulmón (2), reservorios tipo tajamar represa (3).



Identificación del sitio

La elección del sitio adecuado es clave para el éxito de este tipo de sistemas de cosecha y almacenamiento de agua. Son preferibles los lugares bajos con escorrentía ocasional de agua, mejor aun si forman partes de los sistemas superficiales de drenaje, como ya se había expuesto en el caso de la laguna de Mariscal Estigarribia, en la sección correspondiente a relieve y escorrentía. En particular, el sitio seleccionado debe poseer las características descritas en la construcción de tajamares para agua superficial. La posibilidad de construir tajamares en sitios con contenido de arcilla elevado en profundidad constituye una ventaja económica y técnica porque posibilita profundizar las excavaciones realizadas. Sitios con alto contenido de arena pueden dar lugar

a reservorios contruidos mediante la impermeabilización con geomembrana, hoy día comunes en el noroeste de nuestra área de estudio.

Franjas de poca vegetación contiguas a cortinas rompeviento o áreas boscosas son propicias para el desarrollo de ASCA (áreas sistematizadas de cosecha de agua). Estas áreas poseen baja cobertura vegetal por efecto de la competencia con las raíces de los árboles del monte y en sistemas agrícolas son de producción relativamente menor (fotografía 28).

En sitios con napa acuífera salobre poco profunda (< 4 m), no deberían ser contruidos reservorios con perfil de agua muy elevado, esto considerando el riego de salinización de áreas adyacentes por el empuje del agua salobre a la

Fotografía 28. Área de captación de agua de lluvia adyacente a cortina rompeviento, Laubenheim, Colonia Menno.



superficie. Este proceso podría ocasionar la salinización del tajamar pulmón y áreas inmediatas adyacentes.

Otras áreas de servicios, como caminos y franjas de dominio de los mismos, son también oportunos para ASCA, y han sido comentados con anterioridad en este documento.

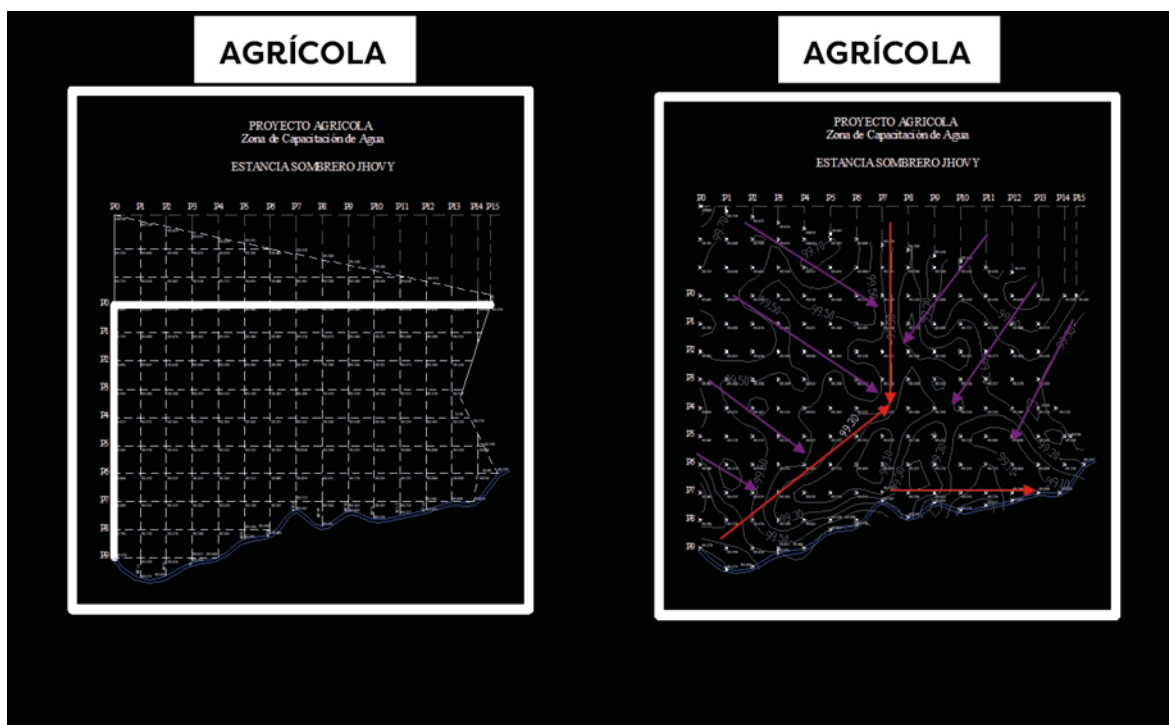
Planificación

La primera parte de la planificación selecciona la mejor ubicación geográfica para el desarrollo de la sistematización del área de cosecha de agua, considerando el régimen de escorrentía superficial y la topografía propia del lugar. La planificación de gabinete debe buscar el mejor diseño arquitectónico

de la obra, que evite el movimiento excesivo de suelo optimizando la cosecha de agua y facilitando el mantenimiento mecanizado. En este sentido, la altimetría del terreno se realiza hoy día mediante sistemas tradicionales de nivel y jalones o sistema RTK (*Real Time Kinematic*). Los primeros productos de la planificación de gabinete los constituyen levantamiento planaltimétrico en cuadrículas y planificación de escorrentía (imagen 5).

Otro aspecto importante en la planificación de gabinete lo constituye el dimensionamiento de la obra, que se realiza en función de la actividad que atenderá el suministro de agua y la variabilidad interanual y estacional

Imagen 5. Levantamiento planialtimétrico en cuadrículas y planificación de escorrentía en proyecto de ASCA en el oeste del área de estudio.



Fuente: E'a. Sombrero Jhovoy, gentileza de H. Arrellaga.

de las precipitaciones. Es común la implementación de este tipo de sistemas para establecimientos ganaderos, emprendimientos de áreas de riego, desarrollos industriales o provisión de agua a poblaciones. Por su parte, los diferentes componentes del dimensionamiento de la obra se encuentran relacionados entre sí, dependiendo del tipo de uso.

En la actualidad, como regla de planificación práctica, se estima que

áreas de captación eficientes en el Chaco Central rinden entre 1800 a 5000 m³ de agua cosechada según las características de los ciclos de lluvia anuales (tabla 4).

En cuanto al dimensionamiento para emprendimientos ganaderos, el cálculo de agua requerida se encuentra relacionado con la decisión gerencial del volumen de agua de reserva que se desea tener. Es frecuente el cálculo sobre reserva de agua para 18 meses.

Tabla 4. Características de los ciclos de lluvia y cantidad de agua cosechada.

Características	Cantidad de agua cosechada (m ³)
Años críticos 400 a 500 mm	1800
Años semicríticos 500 a 700 mm	3200
Años normales 700 a 800 mm	5000

Fuente: Elaboración propia, a partir de entrevistas con usuarios de áreas sistematizadas de captación de agua.

Sin embargo, el dimensionamiento para sistemas ganaderos con genética de alto valor, por ejemplo, cabañas de cría y tambos, debería basarse en años críticos, considerando que en otros tipos de emprendimientos, como engorde de ganado, el productor podría vender gran parte de sus animales ante un evento climático extremo.

En el ámbito agrícola, el cálculo de área a ser sistematizada y áreas de reservorios requeridas se realiza en función del requerimiento de agua de los cultivos a realizar y el volumen de agua adicional planificado para esta actividad.

Experiencias exitosas en sistemas de riego utilizando metodologías de alta eficiencia, como el riego por goteo, observadas en el Chaco Central en las últimas décadas, se ven en la tabla 5.

Una vez definido el volumen requerido, se dimensiona el área de captación y el tajamar pulmón. Es muy importante considerar que la capacidad del tajamar pulmón debe ser suficiente para almacenar el agua de áreas de captación en un evento climático de por lo menos 100 mm. Al mismo tiempo, el diseño del tajamar pulmón influye directamente en el diseño y

Tabla 5. Cultivos comerciales con riego por goteo, requerimientos de agua y niveles de producción esperados.

Rubro	Requerimiento de agua (m ³)	Producción esperada por ha
Cebolla	4000	40 t
Algodón	3000	3 t
Batata	3000	25 t
Tomate	7000	100 t
Pepinos	7000	70t

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos no publicados.

capacidad del reservorio tipo represa en una relación 1:3, al utilizarse para la construcción de este último la tierra extraída del primero.

Experiencias a campo de área sistematizadas de cosecha y almacenamiento de agua en el Chaco Central muestran que el 60 % de las precipitaciones ocurridas en años típicos pueden ser cosechadas y almacenadas. En este sentido, la intensidad y cantidad de las lluvias es determinante.

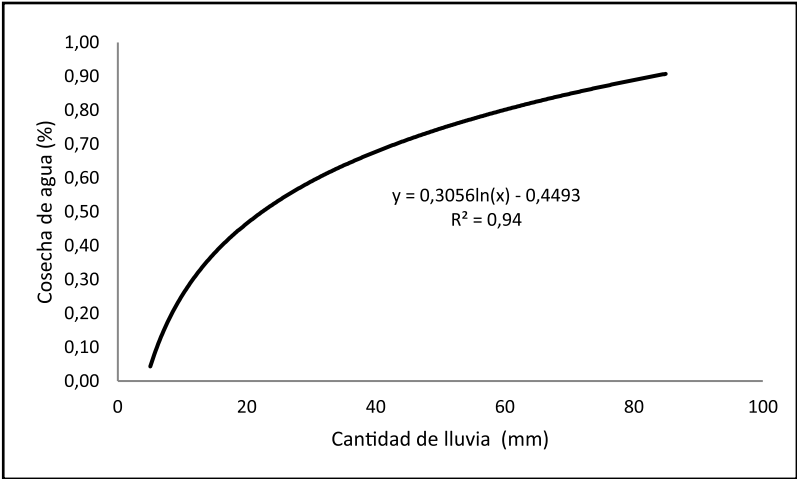
La intensidad de las lluvias y el coeficiente de escorrentía del área de captación influyen directamente en la cantidad de agua cosechada. La intensidad en las lluvias es la relación entre la cantidad de agua caída en un tiempo determinado (Critchley y Klaus, 1991, Prinz, 1996). Por su parte, el coeficiente de escorrentía está influenciado por varios factores como: tipo de suelo, vegetación y pendiente. Los autores antes mencionados también

describen la *lluvia umbral* como la cantidad de lluvia requerida para que exista alguna escorrentía.

Estudios realizados en Est. Exp. Isla Po'i, Chortitzer Komite Ltda., estiman que la lluvia umbral para un área de captación típica en la zona es de 5 mm (Harder y Giesbrecht, datos no publicados), coincidiendo con literatura internacional para sistemas similares (Baek y Coles, 2013).

Lluvias de baja intensidad poseen un porcentaje de cosecha reducido en contraposición a las de elevada intensidad. Así, lluvias mansas cosechan menor cantidad de agua que lluvias intensas. Igualmente, la cantidad de precipitación posee un porcentaje de cosecha de agua que sigue la misma relación, aunque no exactamente proporcional. El gráfico 4 ilustra la predicción de agua cosechada a un volumen de lluvia dado.

Gráfico 4. Relación de agua cosechada y cantidad de lluvia caída para eventos independientes.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos Est. Exp. Isla Po'i, Chortitzer Ltda.

Trabajos de construcción

El trabajo de construcción de los componentes de un área sistematizada de cosecha y almacenamiento de agua posee un orden definido. Se inicia con el tajamar pulmón y luego el reservorio tipo represa. Posterior a la culminación de estas dos estructuras, se desarrolla el área de captación de agua.

Detalles del sistema de tajamar pulmón y reservorios tipo represa pueden observarse en la fotografía 29 y el plano 2, que representan un corte trasversal de los mismos, ilustrados a partir de obras pertenecientes a la Municipalidad de Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Presidente Hayes.

Características constructivas

Como primera actividad, se prepara el área correspondiente al talud del reservorio tipo represa, luego se procede a la construcción del tajamar pulmón y posteriormente el reservorio propiamente dicho.

La capa superficial de tierra con alto contenido de materia orgánica, coloquialmente denominada tierra negra, es removida del área correspondiente a la construcción del talud del reservorio y del tajamar pulmón hasta una profundidad de entre 40 a 80 cm. Este material podrá ser utilizado posteriormente en la coronación y en la parte externa del talud del reservorio.

Seguidamente se procede a la excavación del tajamar pulmón. Este consiste en un tajamar convencional, de entre 3 o 4 m de profundidad, que recibirá inicialmente el agua cosechada. Su diseño, generalmente con forma de L o U,

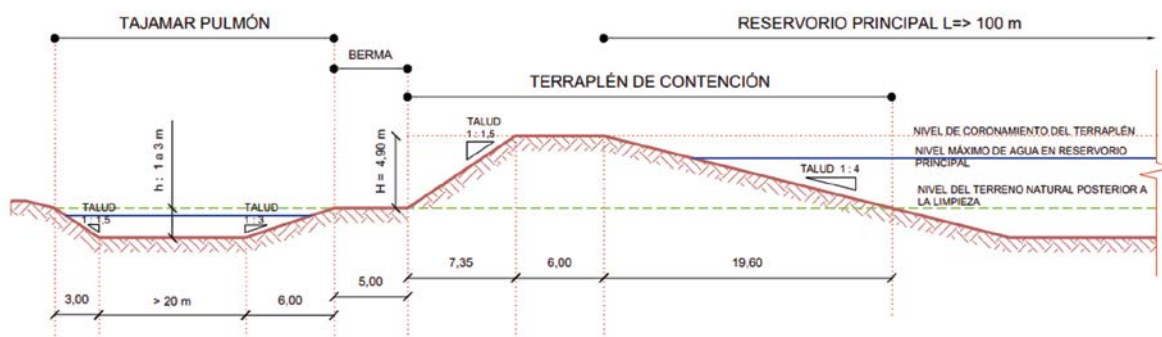
inmediatamente continuo al reservorio, sigue las características descriptas para tajamares convencionales. Esta infraestructura es de vital importancia con lugar sedimentación de partículas arrastradas desde el área de captación. Así también, su diseño debe contribuir al fácil mantenimiento en la limpieza periódica de estos sedimentos. La capacidad mínima del mismo debe posibilitar el almacenamiento de una lluvia ≥ 100 mm.

Con la tierra extraída del tajamar pulmón, se inicia la construcción del talud correspondiente al reservorio principal. Este material, así como el extraído de la parte central del reservorio, posibilita el desarrollo de obras con una relación de volumen de tierra y capacidad de almacenamiento de agua de aproximadamente 1:3. Por su parte, el material con mayor materia orgánica colocado en el talud externo y en la coronación, permitirá el desarrollo de vegetación herbácea (gramíneas) que evitan la fácil erosión. Un punto crítico en esta obra es el talud interno, que debe precautelar la erosión y la sedimentación interna. Para esto, la pendiente recomendada es de 1:4. Otra medida indicada es el uso de herramientas de contención de oleaje, ilustradas anteriormente (fotografía 25).

Fotografía 29. Tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2), Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Intervenciones físicas demostrativas contra la desertificación y la sequía, IICA.



Plano 2. Sección transversal de sistema de reservorios, tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2), Tte. 1º Manuel Irala Fernández.



Área de captación (camellones y canales)

Una vez delimitada el área de trabajo para el área de captación, se procede a eliminar la cobertura vegetal a fin facilitar la nivelación propiamente dicha y los trabajos posteriores con las máquinas. La construcción de los camellones y canales de las áreas de captación es realizada una vez concluida la marcación planialtimétrica, de suma importancia para la eficiencia. Una rastra pesada realiza el trabajo de ablandar la superficie a ser nivelada en el área de captación. El movimiento de tierra se realiza con niveladoras de arrastre, palas hidráulicas tipo trailla y/o motoniveladoras.

La forma abovedada de los camellones, así como detalles en la pendiente de los canales entre camellones y canales colectores, puede observarse en la tabla 6 y la fotografía 30. Las características observadas son consideradas adecuadas en función de la relación entre movimiento

de tierra y eficiencia de la obra. Aunque es probable que una arquitectura diferente podría resultar en obras más eficientes en relación a la cantidad de agua cosechada, las características descriptas son consideradas adecuadas localmente considerando la relación entre movimiento de tierra y eficiencia de la obra.

Otro aspecto es la distancia entre canales primarios. Una distancia entre de 6 a 8 m es utilizada frecuentemente para canales entre camellones, porque responde a una medida adecuada para su construcción con motoniveladoras.

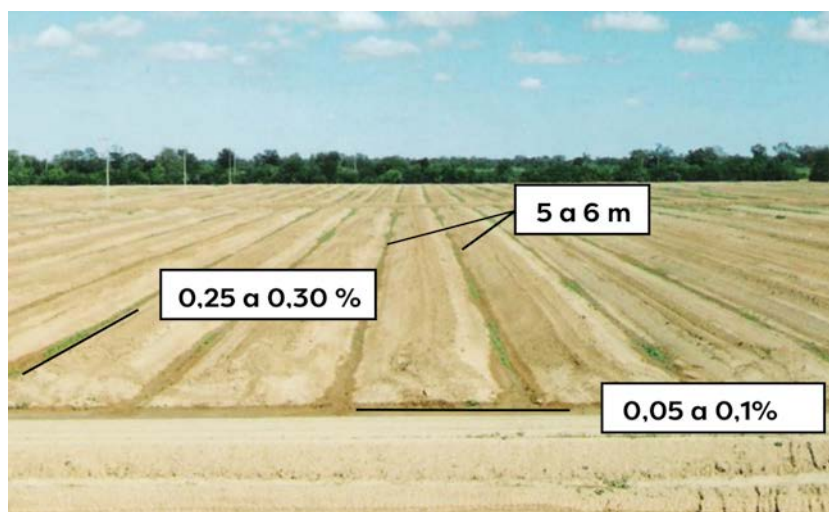
Con relación a los costos, estos pueden variar dependiendo de las horas y máquinas requeridas en cada situación, y el tipo de máquina utilizada, motoniveladora o tractores con pala hidráulica del tipo trailla. El presupuesto de construcción de contratistas locales oscila entre G 3 a 4,5 millones por ha, unos 428 a 642 USD.

Tabla 6. Parámetros para construcción de camellones en áreas sistematizadas de captación de agua.

Distancia entre los camellones	5 a 6 m
Canales entre los camellones	Forma de V o planos
Pendiente	
Canales entre los camellones	0,25 a 0,30%
Canales colectores	0,10 a 0,15%
Canales principales	0,05 a 0,1%

Fuente: Provisión de Agua para la producción agropecuaria del Chaco Central (Harder 2015).

Fotografía 30. Camellones de cosecha de agua y criterios de construcción (ancho de camellones en metros y pendiente de canales en porcentaje de pendiente).



En la fotografía 31 se muestran dos áreas de captación. Una de ellas con errores de construcción evidentes que son observados con las lluvias correspondientes. Cada productor consultado ha manifestado haber seguido criterios comunes descriptos anteriormente en sus áreas de

captación. Sin embargo, también mencionaron que las correcciones de defectos de construcción son comunes y mejor realizadas luego de los eventos lluviosos. Estos también son evidentes por la proliferación de plantas en áreas con acumulación de agua.

Fotografía 31. Áreas sistematizadas de cosecha de agua con 2,5 años de uso (izquierda, construcción adecuada; derecha, con errores de construcción por la acumulación de agua en los canales).



Mantenimiento

El mantenimiento de la obra condiciona la eficiencia de la misma en el tiempo, en relación con las áreas de captación y reservorios.

Los dos objetivos principales de las actividades de mantenimiento en las áreas de captación son el control de malezas y la colmatación de los canales. Los mecanismos utilizados hoy día para ello son: la utilización de cuchillas tipo pala niveladora, la utilización de herbicidas contra malezas, o ganado menor para el pastoreo del área de cosecha. Sin embargo, este último método contribuye a la acumulación de sedimentos en el tajamar pulmón reduciendo la vida útil de los mismos. Esta práctica no es recomendada en otras regiones con obras de infraestructura similares, por aumentar la contaminación del agua con material orgánico (Stanton, 2005).

Por su parte, el mantenimiento de los reservorios elevados, en lo referente a la prevención de la formación de galerías en la sima, debería realizarse, como mínimo, anualmente. Estas galerías

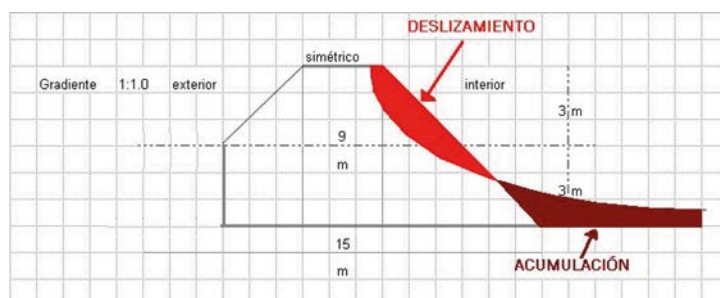
formadas por la erosión de las lluvias, pueden generar brechas de agua y pérdidas importantes en los reservorios. La reparación de estas brechas es, por lo general, onerosa.

El diseño adecuado de las paredes internas de los reservorios reduce la necesidad de mantenimiento y la acumulación de sedimentos en el reservorio por deslizamiento (imagen 6). Así, pendientes $\geq 4:1$ reducen el peligro de deslizamiento y, por ende, de mantenimiento de la infraestructura. Por su parte, la siembra de gramíneas en las paredes externas de los reservorios, aunque recomendada, no es muy frecuente.

Equipos y sistemas de bombeo

El sistema de bombeo del tajamar pulmón al reservorio elevado es dimensionado en función de la envergadura de la obra. Un sistema de bombeo típico consiste en una bomba centrífuga eléctrica, como ejemplo de 2 hp para un sistema con 10 ha de área de cosecha y capacidades de almacenamiento de 10.000 m³ y 40.000 m³ de capacidad para el tajamar pulmón y reservorio elevado,

Imagen 6. Perfil de pared lateral de reservorio tipo represa con riesgo de deslizamiento por pendiente empinada en las paredes internas.



Fuente: Scheuer, 2010.

respectivamente. Con una altura de talud en el reservorio elevado de 6 m, el sistema antes mencionado alcanzaría una capacidad de 35 m³/h.

El costo estimado de bombeo al interior del reservorio, con un sistema típico, es de 20 G/m³.

Costos de construcción

La siguiente sección ofrece una aproximación a los costos de construcción de sistema de cosecha y almacenamiento que incluye el área sistematizada de captación, tajamar pulmón, reservorio elevado y equipamientos. La construcción del tajamar y reservorio elevado demanda el porcentaje mayor de la inversión.

Tabla 7. Presupuesto parcial típico para sistema de cosecha y almacenamiento de agua con capacidad de 50.000 m³

Ítem	Cantidad	Unidad	Costo unitario (G)	Costo total (G)	Costo total (USD)
Construcción de reservorio	40.000	m ³	4.000	160.000.000	22.857
Construcción de tajamar pulmón	10.000	m ³	7.000	70.000.000	10.000
Limpieza y destronque	12	ha	2.000.000	24.000.000	3.429
Construcción de camellones (motoniveladora)	10	ha	4.000.000	40.000.000	5.714
Sistema de bombeo eléctrico	1	u	10.000.000	10.000.000	1.429
Vallado perimetral (Alambrado 5 hilos)	1,86	km	10.000.000	18.600.000	2.657
Caño para tanque de alta presión	100	m	20.000	2.000.000	286
Instalación de bomba centrífuga y conexión a cañería	1	global	500.000	500.000	71
Llave paso salida de tanque elevado	2	u	500.000	1.000.000	143
Conexión eléctrica, transformador, cables y caseta	1	global	57.000.000	57.000.000	8.143
Asesoramiento y proyección	1	global	7.000.000	7.000.000	1.000
Total				390.100.000	55.729

Fuente: : Elaboración propia, basado en precios de mercado, 2020.

Costo del agua

El agua proveniente de sistemas de cosecha y almacenamiento con áreas sistematizadas de captación es significativamente más barata que la obtenida en sistemas con tajamares tradicionales, influenciado por la cantidad de precipitaciones anual y la eficiencia general del sistema vinculada al mantenimiento, que incide directamente en el costo.

Bareiro de Thiessen (2013) muestra diferencias sustanciales entre el costo

del agua provenientes de sistemas de cosecha y almacenamiento de agua tradicionales y de sistemas con áreas sistematizadas de captación (tabla 8). Esta diferencia es observable en la actualidad con valores que se encuentran en torno a 1100 G/m³ y 800 G/m³ para diseños típicos de 10.000 m³ en sistemas tradicionales y 50.000 m³ de ASCA, con reservorio elevado. Esta diferencia se debe a la mayor capacidad de los ASCA y reservorio elevado que distribuyen erogación en costos fijos.

Tabla 8. Comparación de costo del agua (G/m³) en sistemas con área de captación y sistema tradicional de cosecha y almacenamiento en el Chaco Central paraguayo.

Sistemas de colecta y almacenamiento de agua	Año normal (800 mm)	Año semicrítico (600 mm)	Año crítico (450 mm)
Sistemas con áreas de captación	700	1148	1707
Sistemas tradicionales sin área de captación	1736	2317	3086

Fuente: Análisis de costos de dos sistemas de colecta y almacenamiento de agua para uso agropecuario en el Chaco Central (Bareiro de Thiessen, 2013).

Referencias

Anaya Garduño, M. 1998. *Sistemas de captación de agua para uso doméstico en América Latina y el Caribe* (en línea). México, IICA. 154 p. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B1218E/B1218E.PDF>.

Bareiro de Thiessen, D. P. 2013. *Análisis de costo de dos sistemas de colecta y almacenamiento de agua para uso agropecuario en el Chaco Central*. Tte. 1º Manuel Irala Fernández, Universidad Nacional de Asunción. 71 p.

Baek, CW; Coles, NA. 2013. An artificial catchment rainfall-runoff collecting system: Design efficiency and reliability potential considering climate change in Western Australia. *Agricultural Water Management* 121:124-134.

Critchley, W; Klaus, S. 1991. *Water Harvesting. A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production*. FAO. Roma, s.e. 161 p.

Cabrera, AL; Willink, A. 1973. *Biogeografía de América Latina*. Washington, D.C. US, s.e., (Serie de biología.). 120 p. p.

DOA/BGR. 1998. *Proyecto sistema ambiental del Chaco: inventario, evaluación y recomendaciones para la protección de los espacios naturales en la Región Occidental del Paraguay* (en línea). Kruck, W. San Lorenzo - Paraguay, DOA/MAG, (no. 1). 142 p. Disponible en <http://www.geologiadelparaguay.com.py/PSAC-Tomol.PDF>.

Domínguez, M. 1904. *La Sierra de la Plata. Primeros Pasos de la Conquista*. s.l., s.e. 56 p.

Godoy, E; García, D; Fariña, S. 1994. *Recarga artificial del acuífero freáticos en Filadelfia, Chaco Central Paraguayo*. Memorias del Congreso Brasileiro de aguas subterráneas: 385-394.

Harder, W; Thiessen, H; Klassen, N. 2004. *Libreto de Agua. Colecta, Almacenamiento, Utilización y Reciclaje de Agua en el Chaco Central*. Loma Plata, INTTAS. 71 p.

Harder, W. 2015. *Provisión de Agua para la producción agropecuaria del Chaco Central del Paraguay* (en línea). Roque Saenz Peña, Consultado 21 oct. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-coop__chortitzer__ltda__paraguay_wilbert_harder.pdf

Harder, W. 2017. *Técnicas de manejo de agua: tipo y características de la cosecha de agua aplicadas en el Chaco Paraguayo - casos prácticos* (en línea). Tte. 1º Irala Fernández. Disponible en <https://cifca.agr.una.py/documentos/audio%20wilbert%20harder%201.mp3>.

Junker, M. 1995. *Interpretación de las mediciones de conductividad eléctricas para la investigación de la recarga artificial y un método para el cálculo de la infiltración para un tajamar en el acuífero freático del Chaco Central*. In Aguas subterráneas, Reserva estratégica, económica y vital. San Lorenzo. p. 124-136.

Rediex, I. 2009. *Atlas Geográfico del Chaco Paraguayo* (en línea). Asunción, Rediex. 52 p. Disponible en <https://geologiadelparaguay.com.py/Atlas-Geografico-del-Chaco.pdf>.

Mereles, MF. 2005. *Una aproximación al conocimiento de las formaciones vegetales del Chaco Boreal, Paraguay*. Rojasiana 6 (2): 5-48.

Mitlöhner, R. 1991. *Protección contra el viento en el Chaco Central, Paraguay*. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 37 p.

Nelson, KD. 1985. *Design and Construction of Small Earth Dams* (en línea). Melbourne, Inkata Press. 116 p. Disponible en <https://soilandhealth.org/copyrighted-book/design-and-construction-of-small-earth-dams/#afterpost>.

Prinz, D. 1996. *Water Harvesting: Past and Future*. En: Pereira, L. S. (ed.), *Sustainability of Irrigated Agriculture*. Proceedings, NATO Advanced Research Workshop, Vimeiro, 21- 26.03.1994, Balkema, Rotterdam, 135-144

Plett, R. 1979. *Presencia Menonita en el Paraguay* (en línea, sitio web). Consultado 25 dic. 2019. Disponible en http://www.edupratt.com/2517_rudolf_plett_welk/18553_presencia_menonita_en_el_paraguay_1979__por_rudolf_plett.html.

Richard, N. 2008. *Mala Guerra: Los indígenas en la Guerra del Chaco (1932-1935)*. s.l., Servilibro & CoLibris. 422 p.

Scheuer, D. 2010. *Impresiones de mi visita a las Colonias Menonitas establecidas en el Chaco Paraguayo*. Loma Plata, Coop. Chortitzer Ltda. 172 p.

Sequera, G. sf. *Diagnóstico Integral Participativo. Una aproximación Antropológica a favor de la lucha contra la pobreza y contra la destrucción*. s.l., s.e.

Sosa, HC. 1976. *Posibilidades de recarga de Acuíferos por infiltración en el Chaco Paraguayo*. Estudios Paraguayos, Revista de la Universidad Católica VII(1):169-174.

Stanton, D. 2005. Roaded catchments to improve reliability of farm dams (en línea). Western Australia, Perth, Department of Agriculture and Food, (Farm notes, no. 4660). 25 p. Disponible en <https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1113&context=bulletins>.

Vázquez, F. 2013. *Geografía Humana del Chaco Paraguayo*. Asunción, ADEPO. 341 p.

Wiens, F. 1989. *Tectónica y sedimentación fanerozoica de la cuenca del Chaco (Paraguay)*. *Agua subterránea Chaco Paraguayo*. 9-26.

Anexo A

Aplicación para cálculos de cosecha de agua según área de techos, volumen de reservorio requerido y demanda de agua por número de personas.

Esta aplicación digital permite calcular la cosecha, demanda y balance mensual de agua para una vivienda familiar en función de la superficie de coleta (techos), número de integrantes y demanda adicional de agua.

Cálculo de balance hídrico para una vivienda en el Chaco Central paraguay				Meses	Precipitación útil mm	Consumo total	Demanda acumulada	Cosecha y almacenamiento de agua	Balance
Área de cosecha m ² *	0	Nº de personas	Otros (l/día)	Total	Enero	0,00	0	0	0
Consumo estimado **	0	0	0	0	Febrero	0,00	0	0	0
Total precipitación anual	0				Marzo	0,00	0	0	0
					Abril	0,00	0	0	0
					Mayo	0,00	0	0	0
					Junio	0,00	0	0	0
					Julio	0,00	0	0	0
					Agosto	0,00	0	0	0
					Septiembre	0,00	0	0	0
					Octubre	0,00	0	0	0
					Noviembre	0,00	0	0	0
					Diciembre	0,00	0	0	0
					Total		0		

Ejemplo de su aplicación con una vivienda con 300 m² de techo, para un grupo familiar de 4 personas y usos adicionales de agua.

Cálculo de balance hídrico para una vivienda en el Chaco Central paraguay				Meses	Precipitación útil mm	Consumo total	Demanda acumulada	Cosecha y almacenamiento de agua	Balance
Área de cosecha m ² *	300	Nº de personas	Otros (l/día)	Total	Enero	121,07	15250	15250	32688
Consumo estimado **	4	100	183000		Febrero	102,66	15250	30500	27719
Total precipitación anual	800				Marzo	85,23	15250	45750	23012
					Abril	79,42	15250	30500	21443
					Mayo	46,49	15250	30500	12552
					Junio	27,12	15250	30500	7322
					Julio	17,43	15250	30500	4707
					Agosto	16,46	15250	30500	4446
					Septiembre	31,96	15250	30500	8630
					Octubre	67,80	15250	30500	18305
					Noviembre	102,66	15250	30500	27719
					Diciembre	101,69	15250	30500	27458
					Total		183000		

Anexo B

Propuesta de herramienta financiera
Préstamo de Inversión Aljibes Familiares.

SUJETO DE CRÉDITO

Personas mayores de 18 años de edad, cabezas de familia, incluidas en el RUC.

LÍMITE DE FINANCIAMIENTO

Hasta el 100 % (cien por ciento) del costo total del proyecto social.

Hasta USD 3.000 o su equivalente en guaraníes.

DESTINO

Financiación de Proyectos de Inversión de construcción o instalación de aljibes domiciliarios.

TASA DE INTERÉS: inflación + 2 %.

PLAZO: Hasta 3 (tres) años.

MODALIDAD DE PAGO:

INTERÉS: Pagos mensuales o semestrales.

CAPITAL: Amortización del capital mensual o semestral.

RÉGIMEN DE UTILIZACIÓN

El desembolso a empresas habilitadas para inicio de obras: 60 %.

El desembolso de cancelación, previa verificación de obras: 40 %.

GARANTÍA

No aplica

REQUISITOS

Residencia en los distritos de Mariscal Estigarribia, Filadelfia, Loma Plata, Tte. 1° Manuel Irala Fernández, Bahía Negra, Carmelo Peralta, Puerto Casado.

No haber recibido este producto con anterioridad.

DOCUMENTOS

- Fotocopia autenticada de la cédula de identidad policial vigente o documento equivalente del beneficiario y cónyuge.
- Certificado de vida y residencia.
- Declaración jurada de georeferencia de la obra.
- Carta oferta de empresas calificadas.
- Declaración jurada de constitución familiar o responsabilidad de personas.

Anexo C

Propuesta de proyecto piloto para cosecha de agua en áreas públicas verdes en el Chaco Central paraguayo.

El objetivo de la propuesta es el desarrollo de áreas públicas autosuficientes en agua mediante la cosecha y almacenamiento en el Chaco Central paraguayo.

En los pueblos y ciudades del Chaco Central paraguayo, las áreas públicas verdes son escasas por la alta demanda de agua, en las condiciones climáticas semiáridas de la región. Los espacios verdes demandan volúmenes importantes de agua para su mantenimiento durante largos periodos del año, con el gasto económico que ello involucra. Esto no es una excepción en una región donde las actividades antrópicas están determinadas por las posibilidades de cosecha y almacenamiento de agua.

Esta propuesta desarrolla un sistema de cosecha, almacenamiento y utilización de agua en áreas públicas verdes en los centros urbanos e instituciones de la región. El sistema tiene como objetivo autoabastecer las necesidades de agua del espacio verde, y que al mismo tiempo pueda ser utilizada otros fines de interés.

La propuesta es desarrollada para el Chaco Central paraguayo, en una región con precipitaciones de entre

700 a 800 mm anuales concentradas en la temporada estival. Se realizó mediante la planificación de los espacios y requerimiento de equipos e infraestructura en gabinete. Participaron estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, sede Chaco, en la cátedra de Gestión de Recursos Hídricos. Para el desarrollo arquitectónico, se contó con la asistencia de equipos informáticos y software específicos. Contempla la distribución de áreas verdes, pasillos de circulación y espacio de servicio. Además, se incluye el diseño del sistema de conducción del agua e infraestructura de almacenamiento. El apoyo del equipo técnico del proyecto Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua en el Chaco Central, CONACYT/FCA-UNA, contribuyó en el trabajo.

El área diseñada tiene una superficie total de 2500 m², con 50 m de lado. La relación de áreas verdes, pasillos y áreas de servicio es 50:50. Está equipada en las partes verdes con sistema de riego por goteo subterráneo como tecnología climáticamente inteligente para la región. Se estima un requerimiento de 0,4 m³ de agua adicional por metro cuadrado de área verde. El coeficiente de cosecha de agua (0-1) para áreas verdes y pasillos

se estima 0,5 y 0,9, respectivamente. El potencial de cosecha anual para años típicos es de 1100 m³. La infraestructura de almacenamiento incluye aljibe de almacenamiento e infraestructura de conducción, constituida por seis aljibes de hormigón armado de 110 m³ cada uno y un sistema de canaletas de conducción con trampas de residuos. El costo total estimado es de 817 millones de guaraníes, la infraestructura de almacenamiento de agua corresponde al 40 %, las obras de espacios verdes y áreas de circulación y servicios 54 % y otros, 6%.

Anexo D

Propuesta de proyecto piloto de desarrollo comunitario mediante la colecta de agua para usos múltiples en la ruta Transchaco y franjas de dominio.

El objetivo de la presente propuesta es el desarrollar un sistema innovador para la colecta de agua para usos múltiples en el Chaco Central paraguayo. El proyecto consiste en la instalación de un sistema de captación, almacenamiento y utilización de agua que posibilite el desarrollo de actividades de relevancia socioeconómica.

La región Occidental o Chaco en el Paraguay posee un clima que varía de húmedo a semiárido, con precipitaciones estacionales de entre 500 y 1100 mm anuales. Las actividades antrópicas en gran parte del Chaco paraguayo dependen de la cosecha, almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia. Recientemente, en el Chaco Central, áreas sistematizadas para este efecto posibilitan la colecta de volúmenes que permiten usos múltiples como el desarrollo de centros urbanos, industrias y sistemas de producción agropecuarios intensivos.

Este documento describe las características básicas de la infraestructura requerida y del componente de gestión.

El proyecto se desarrolló con el apoyo de estudiantes de la Facultad de Ciencias

Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción sede Chaco, en la cátedra de Gestión de Recursos Hídricos, y el equipo técnico del proyecto Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua en el Chaco Central, CONACYT/FCA-UNA.

El trabajo posee dos componentes: uno relacionado con la infraestructura requerida para la colecta, almacenamiento y utilización del agua, y otro componente organizacional relacionado con la gestión del sistema para el funcionamiento adecuado en beneficio a la comunidad.

La propuesta para el primer componente consiste en un área sistematizada de 2000 m de largo por 98 m de ancho. En ella se diferencian cuatro tipos de infraestructura: área de carpeta asfáltica y banquina, camellones de colecta, canaletas de transporte de agua y áreas de almacenamiento de agua. Las áreas de colecta propiamente dichas están constituidas por la carpeta asfáltica y banquetas, y los camellones de colecta en la franja de dominio. Los primeros, sin modificaciones significativas, tienen un potencial de cosecha de litros 22 dm^3 en años típicos,

con una eficiencia del 90 %. Por su parte, los camellones de colecta en la zona de franja de dominio tienen una eficiencia del 60 % con un potencial de 68 dm^3 en años típicos. El potencial de colecta total es de 90 dm^3 para años típicos. Las canaletas de transporte de agua están impermeabilizadas con hormigón y conducen la misma a la zona de almacenamiento primario denominado tajamar tipo pulmón. Posteriormente, esta es bombeada a los tajamares tipo represa de almacenamiento más duradero, con una profundidad que

va, desde la superficie de lámina al fondo, entre 2 a 3 m y no menos de 5 m, respectivamente. La capacidad total de la infraestructura de almacenamiento de agua es no menor a 50 dm^3 .

El componente de gestión del sistema consiste en la conformación de una comisión de usuarios constituidos en una organización de tipo junta de saneamiento, que gestiona el sistema y administra la utilización adecuada del agua para beneficio de la comunidad.

Anexo E

Promoción de la escorrentía en zonas con vegetación natural.

Recomendaciones para la promoción de la escorrentía para colecta de agua en microcuencas del Chaco Central:

1. Identificación y análisis de microcuencas en función de su ubicación, conectividad y orientación a cuencas zonales.
2. Planificación y evaluación de la eficiencia de sistema colector mediante observación de nivel de la lámina de agua y relación con eventos de precipitación individuales.
3. Limpieza de vegetación en áreas de escorrentía (4 de ancho en el lecho del microrrelieve).
4. Limpieza de vegetación en correderas auxiliares (45° al lecho principal).
5. Construcción de canaletas colectoras (por ejemplo, 2,5 m x 0.5 m x n) en lecho principal.
6. Limpieza anual sistemática de la vegetación natural y canaletas colmatadas para promoción de la mayor escorrentía del agua a los cauces.
7. Adecuación de obras viales (alcantarillas de drenaje y terraplenes de deriva).

Agradecimientos

Los autores de este material desean agradecer a las personas que han proporcionado información de forma desinteresada en su carácter de informantes claves.

Cynthia Gamarra Lezcano y José Ruiz Olazar, por su apoyo en la edición del material.

Jorge R. Cabrera Cardus y Rosana Ibañez, por su aporte en la elaboración de los planos en este material.

A los colegas de la Carrera de Licenciatura en Administración Agropecuaria, Sección Chaco y otras dependencias de Facultad de Ciencias Agrarias, por sus comentarios y contribución en la redacción del material.

Al equipo de oficiales CONACYT vinculados al proyecto, por su colaboración en la conclusión exitosa del presente trabajo.



APOYAN:



TEKOHÁ HA
AKARAPUÁ KATUIRÁ
Mosenondcha
Ministerio del
AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TETĀ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL

*Paraguay
de la gente*



Plataforma Nacional
de Commodities
Sustentables



GOOD
GROWTH
PARTNERSHIP



ISBN: 978-99925-218-8-5