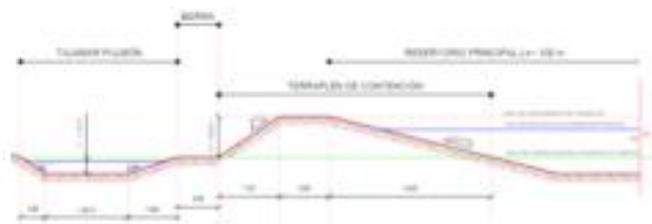


## SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL



Tte. 1º Manuel Irala Fernández

2021



CONSEJO NACIONAL  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA

PROCIENCIA  
PROGRAMA PARAGUAYO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA



Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Asunción

GOBIERNO  
NACIONAL

# 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. 1° Manuel Irala Fernández*

Tte. 1° Manuel Irala Fernández

2021

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

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

### SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

#### Equipo Técnico

Antero J. N. Cabrera	Facultad de Ciencias Agrarias - Sede Pioneros	Especialidad en métodos participativos de sistematización
Wilbert Harder	Facultad de Ciencias Agrarias - Sede Pioneros	Especialidad en gestión de Recursos Hídricos
Deisy Patricia Bareiro de Thiessen	Facultad de Ciencias Agrarias - Sede Pioneros	Especialidad en gestión de Recursos Hídricos
Emiliano Servín Maldonado	Facultad de Ciencias Agrarias - Sede Pioneros	Especialidad trabajos acciones participativos
Víctor Luis Basabe Ramírez	Municipalidad de Tte. 1° Manuel Irala Fernández	Especialista ambiental

*El presente corresponde a un proyecto desarrollado por Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. En colaboración con la Municipalidad de Tte. 1° Manuel Irala Fernández, con el financiamiento de Programa Paraguayo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - CONACYT*

#### *Cita recomendada*

Cabrera, AJN; Harder, W; Bareiro de Thiessen, D; Servin Maldonado, E; Basabe Ramirez, V. 2020. Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua en el Chaco Central. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tte 1ero Manuel Irala Fernández. 177p.

Tte. 1° Manuel Irala Fernández, Febrero del 2021



## Presentación

El Manual de SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL constituye aporte al estudio de los problemas y soluciones al manejo de los recursos hídricos en Chaco.

Propone una visión muy didáctica sobre algunos temas particularmente relevantes para la gestión del recurso hídrico en base a la amplia gama de experiencias adaptativas y trabajos científicos realizados desde que la población humana se acento en el territorio. El Chaco se enmarca en un contexto dominado por el déficit hídrico y fenómenos de inundación que afectan la calidad de vida de sus habitantes y el desarrollo económico.

El crecimiento económico y la pujante migración atraída por este a los espacios urbanos requiere de soluciones cada vez más innovativas asegurar la disponibilidad y el acceso al agua.

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

El Chaco esta llamado a ser uno de los principales productores de alimentos de la Región, basados en sistemas productivos con un adecuado balance entre los aspectos ambientales, económicos y sociales. El desarrollo sostenible solo será posible con el conocimiento profundo de la gestión del recurso hídrico.

La presente obra no es solo un importante compendio de estrategias y tecnologías probadas para el manejo del agua sino también una importante contribución para la generación de políticas que permitan incentivar el pujante desarrollo económico y disminuir las apreciaciones distorsivas basadas en supuestos y no en la amplia información técnica y científica generada para la gestión sostenible del recurso hídrico.

***Santiago Bertoni Hicar***  
***Ministro de Agricultura***

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

# SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CHACO CENTRAL

## Contenido

Introducción .....	1
El Chaco Central .....	3
Aspectos socio económicos .....	3
La actualidad económica .....	3
Fisiografía .....	4
Las lluvias .....	4
La temperatura ambiente y humedad relativa .....	5
Los vientos .....	6
Suelos y vegetación.....	6
Relieve y red de escorrentía .....	7
Antecedentes históricos .....	10
Pueblos aborígenes.....	10
Inmigración occidental.....	11
Sistemas de cosecha y almacenamiento .....	16
Sistemas domiciliarios .....	16
Techos, canaletas y aljibes .....	16
Pacios y áreas de servicio .....	28
Sistemas urbanos .....	30
Calles y avenidas.....	30
Otras áreas de servicio .....	33
Tajamares de infiltración .....	33
Sistema de deriva de agua de inundaciones o <i>repuntes</i> .....	36
Rurales .....	38

Áreas de infiltración y pozos someros .....	38
Tajamares tradicionales.....	40
Adecuación de obras viales.....	45
Áreas sistematizadas de cosecha de agua, tajamar y reservorio tipo represa .....	47
Referencias .....	62
ANEXO A. Aplicación para Cálculos de cosecha de agua según área de techos, volumen de reservorio requerido y demanda de agua según número de personas.....	66
ANEXO B. Propuesta de herramienta financiera Préstamo de Inversión Aljibes Familiares	67
ANEXO C. Propuesta de proyecto piloto para cosecha de agua en áreas públicas verdes en el Chaco Central Paraguayo .....	68
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.....	70
ANEXO E. Promoción de la escorrentía en zonas con vegetación Natural .....	72
Agradecimientos.....	73

## Lista de abreviaturas

1era	Primera
2da	Segunda
°C	Grados centígrados
%	Por ciento
ASCA	Áreas sistematizadas de cosecha de agua
cm	Centímetro
com pers	Comunicación personal
dm <sup>3</sup>	Decámetro cúbico
Ftn.	Fortín
Gs	Guaraníes
h	Altura
ha	Hectáreas
km	Kilómetro
L	Litros
LME	Laguna Mariscal Estigarribia
M	Millones
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
ME	Mariscal estigarribia
µmhos	Micromhos
mm	Milímetros
SENASA	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental
T1MEF	Teniente 1ero Manuel Irala Fernández
USD	Dólares norteamericanos
sd	Sin fecha

## Lista de Fotografías

Fotografía 1.	Pozo en Karlsruhe, Colonia Fernheim 1930.....	14
Fotografía 2.	Excavación de pozo en el Chaco, Colonia Fernheim 1930 .....	14
Fotografía 3.	Excavación de pozo en que se extraía la tierra con ayuda de un caballo Colonia Fernheim .....	15
Fotografía 4.	Sistema de extracción de agua del pozo, Colonia Fernheim .....	15
Fotografía 5.	Vivienda con sistema de colecta y aljibe de características mínimas.....	17
Fotografía 6.	Canaletas con filtro contra insectos y otros residuos.....	19
Fotografía 7.	Canaletas con sistema de registro para administración de agua cosechada ...	20
Fotografía 8.	Aljibe de uso estratégico, comunidad Laguna negra (Fotografía gentiliza V. Miguel - Macharety .....	21
Fotografía 9.	Exitoso sistema de colecta y aljibes comunitarios comunidad Betania.....	21
Fotografía 10.	Conjunto de aljibes para administración de agua cosechada de diferente calidad .....	22
Fotografía 11.	Punto de administración de agua de lluvia cosechada de techos domiciliars .....	22
Fotografía 12.	Sistema domiciliars de cosecha de agua con aljibe prefabricado de fibra de vidrio .....	26
Fotografía 13.	Patio domiciliars sistematizado para cosecha de agua. En primer plano alcantarilla de acopio de agua, en el plano de fondo aljibe para agua de patio.....	29
Fotografía 14.	Avenida sistematizada para colecta y transporte de agua, Neuland .....	31
Fotografía 15.	Acumulación de sedimentos en canales de conducción de agua, punto importante de mantenimiento del sistema (Filadelfia).....	32
Fotografía 16.	Mantenimiento en obras de colecta y transporte de agua Loma Plata .....	32
Fotografía 17.	Reservorio impermeabilizado almacenamiento de agua de área de servicios (Neuland) .....	33
Fotografía 18.	Tajamar de infiltración alimentado por precipitaciones en calles y patios .	35
Fotografía 19.	Pozo somero tipo bombilla con bomba de diafragma.....	35
Fotografía 20.	Pozos tipo bombilla con perforaciones múltiple en un tajamar de infiltración de agua .....	36
Fotografía 21.	Muro y canal de deriva de agua de lluvia al oeste de la ciudad de Loma Plata .....	37

Fotografía 22.	Tajamar tradicional Comisión de agua Rosa Mística Tte 1ero Manuel Irala Fernández .....	43
Fotografía 23.	Alcantarillas de toma de agua en tajamares de sedimentación, diseñados para reducir introducción de sedimentos.....	43
Fotografía 24.	Tubos de acceso agua al tajamar principal para evitar erosión.....	44
Fotografía 25.	Cañería flotante como medidas de reducción del oleaje y por consiguiente de la erosión de las paredes del reservorio.....	44
Fotografía 26.	Colecta de agua de escorrentía superficial en caminos Zona Tte Pico – Boquerón (Gentileza A. Escobar Masi) .....	46
Fotografía 27.	Complejo de captación y almacenamiento de agua de la Planta Frigorifica Loma Plata – Areas de captación 1, tajamar pulmon 2, reservorios tipo tajamar represa 3 ....	48
Fotografía 28.	Área de captación de agua de lluvia adyacente cortina rompeviento Laubenheim, Colonia Menno .....	49
Fotografía 29.	Tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2) Tte. 1ero Manuel Irala Fernández Reservorio (Intraversiones físicas demostrativas contra la desertificación y la sequía- IICA) .....	55
Fotografía 30.	Camellones de cosecha de agua y criterios de construcción (Ancho de camellones en metros y pendiente de canales en porcentaje de pendiente) .....	57
Fotografía 31.	Fotografías de áreas sistematizadas de cosecha de agua con 2,5 años de uso. Izquierda construcción adecuada, derecha con errores construcción por la acumulación de agua en los canales. ....	58

## Lista de Tablas

Tabla 1.	Frecuencia relativa de lluvias, cantidad y porcentaje del total según categorías .....	6
Tabla 2.	Tasa de infiltración media para suelos típicos según contenido de arena/limo/arcilla .....	7
Tabla 3.	Costos de materiales y mano de obra para aljibe tradicional de 5 m <sup>3</sup> .....	27
Tabla 4.	Características de ciclos de lluvia anual y cantidad de agua cosechada .....	51
Tabla 5.	Cultivos comerciales con riego por goteo, requerimientos de agua y niveles de producción esperados .....	51
Tabla 6.	Parámetros para construcción de camellones en áreas sistematizadas de captación de agua .....	57
Tabla 7.	Presupuesto parcial típico para sistema de cosecha y almacenamiento de agua con capacidad almacenamiento de 50.000 m <sup>3</sup> .....	59
Tabla 8.	Comparación de costo del agua (Gs/m <sup>3</sup> ) en sistemas con área de captación y sistema tradicional de cosecha y almacenamiento en el Chaco Central Paraguayo .....	61

## Lista de Imágenes y Planos

Imagen 1. Laguna de Mariscal Estigarribia, ubicación y identificación de cuenca de abastecimiento .....	9
Imagen 2. Lamina desarrollo plano esquemático horizontal de vivienda con áreas sistematizadas para cosecha de agua .....	29
Plano 1. Perfil idealizado para seccion de avenida sistematizada para cosecha de agua en zona ubana del Chaco Central. ....	31
Imagen 3. Imagen de sistema de colecta y almacenamiento de agua de lluvia en la zona de campo Aroma Filadelfia Chaco.....	39
Imagen 4. Representación esquemática de pozos de agua someros y sistema de recarga natural a partir de Junker (1995). ....	40
Imagen 5. Levantamiento planialtimétrico en cuadrículas y planificación de escorrentía en proyecto de ASCA en el oeste del area de estudio.....	50
Plano 2. Sección trasnversal de sistema de reservorios, Tajamar pulmón (1) y reservorio tipo tajamar represa (2) Tte. Iero Manuel Irala Fernández.....	55
Imagen 6. Perfil de pared lateral de reservorio tipo represa con riesgo de deslizamiento por pendiente empinadas los paredes internas.....	59

## 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 el 1500, estaban limitadas por un relativo bajo acceso al vital recurso (Domínguez 1904). La tecnología pre colonial disponible fue socializada con los inmigrantes llegados a la zona central en la primera mitad del 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 hoy día 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.

Los medios utilizados en el Chaco Central para la administración del agua, han propiciado el desarrollo de una pujante industria ganadera y de 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, esto caracterizando detalles constructivos, de eficiencia técnica y económica. El mismo, ha recogido 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 ej. grupos focales, informantes clave y visita a experiencias

exitosas, con investigación documental propiamente dicha y estudios específicos desarrollados por el equipo técnico.

## El Chaco Central

Como es mencionado anteriormente, el Chaco Paraguayo depende exclusivamente de la administración del agua de lluvia para el desarrollo de las actividades humanas. 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 a la gestión de recursos hídricos.

### Aspectos socio económicos

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 Mennonitas.

### 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 de 60 % de los ciudadanos corresponden a paraguayos de origen indígena y el 40% a paraguayos de origen cultural menonita y paraguayos criollos latinos (R. Zavala, com pers<sup>1</sup>).

A partir de la inmigración Mennonita a la región, la industria ganadera para la producción y procesamiento de carne y leche, así como rubros agrícolas de auto consumo y renta, han transformado la misma en un polo económico de desarrollo. El Censo Agropecuario Nacional

---

<sup>1</sup> Zavala, R. 2019. Entrevista semi estructurada. Tte. 1er Manuel Irala Fernández, Paraguay

del año 2008 sitúa en más de 3,5 millones de cabezas la población de ganado vacuno. La misma genera más de 40% de la carne nacional de exportación y constituye la segunda cuenca lechera más importante del País. En lo que se relaciona a rubros de producción agrícola, prevalecen los cultivos forrajeros, con menores proporciones de cultivos de maní, algodón, soja y otros. Productos hortícolas son generalmente poco desarrollados. Sin embargo, alto potencial de los mismos es ilustrado en el presente documento.

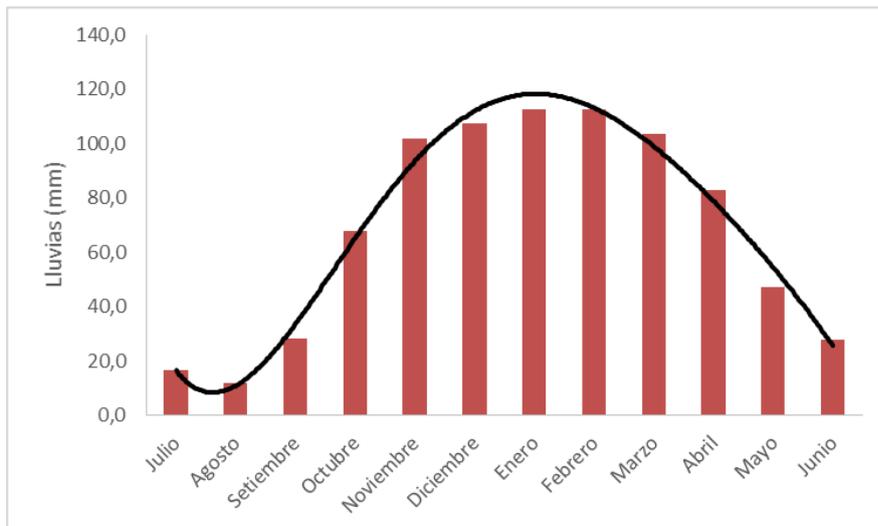
## **Fisiografía**

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 semi árida (Rediex 2009).

## **Las lluvias**

---

Las precipitaciones en el Chaco Central son de ocurrencia estacional, aproximadamente el 80% de las mismas 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 observan el Gráfico 1. Por su 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.

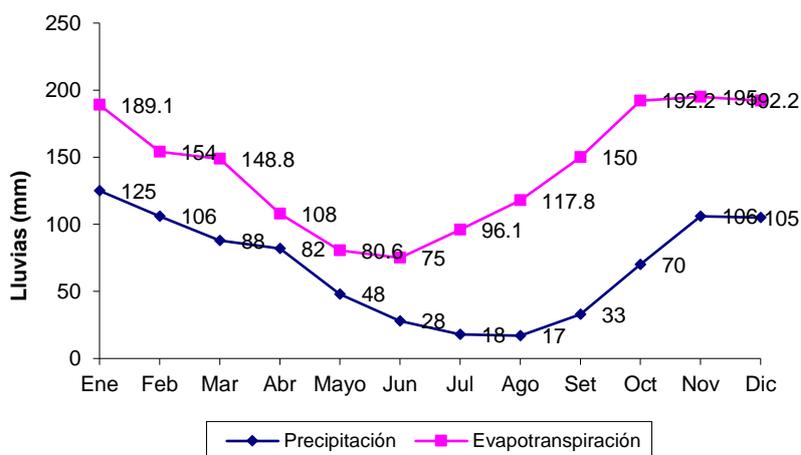


Fuente: Elaboración propia a partir de datos archivo Asoc. Civil Chortitzer - Loma Plata y CFP 1932-2020

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

### 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 mes más frío 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, niveles de humedad relativa bajos son característicos. 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.



Fuente: Harder *et al.* 2004

Gráfico 2. Distribución de lluvia anual promedio y evapotranspiración potencial para Loma Plata Chaco Paraguayo

**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 xerófito denso semi caducifolio (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 relevancia áreas relativamente deprimidas en el micro relieve, 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.

**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

### **Relieve y red de escorrentía**

El relieve de la región, si bien 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 Rio Verde o los Riachos San Carlos, Yacare sur, 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. La misma se ubica en un punto estratégico de la cuenca de escorrentía natural al noroeste de la ciudad de Mariscal Estigarribia.

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, la misma se constituye en un espejo de agua permanente de dimensiones considerables, aproximadamente 11 has.

La micro cuenca de esorrentía al noroeste de ME lo constituyen cauces naturales colmatados que conducen agua en eventos de precipitación importantes. Estos abarcan áreas aun 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.



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes varias Google earth

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

## 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, esto es debido a que es una región que 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, com pers<sup>2</sup>). 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 podrían 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 Ftn. 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

---

<sup>2</sup> Frish, M. Entrevista semi estructurada. Tte. 1er Manuel Irala Fernández, Paraguay

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, (com pers<sup>3</sup>) menciona la existencia de modelos de pozos rudimentarios en forma de escalera entre indígenas, Lengua y Guanás, 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 uno principal en zonas bajas (Sosa 1976).

En este proceso de intercambio tecnológico, el conocimiento sobre plantas que conservan agua ha sido de relevancia principalmente en la primera mitad del 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 lo relacionado a la gestión del agua. Las mujeres 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 la participación social de la mujer contribuye a una 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 de la misma. Las primeras, en las cercanías de zona hoy conocida como Pozo Colorado y al norte de la misma, en la zona denominada *Cora'i* (R. Eaton, com Pers<sup>4</sup>). Por su parte los denominados obrajes de los empréstitos tanineros, San Carlos, km 145 entre otros. Sin embargo,

---

<sup>3</sup> Sthal, 2018 Entrevista semi estructurada. Filadelfia, Paraguay

<sup>4</sup> Haaksbee, C. 2019 Entrevista semi estructurada. M.R.Alonso, Paraguay

el desarrollo de asentamientos permanentes en el Chaco Central se da a partir de la inmigración de los primeros grupos Menonitas, quienes encuentran 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 con destino a Canadá y Siberia; el uso y manejo del agua salada se da cuando este último grupo empiezan 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. Estas condiciones del suelo, 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.

Los inmigrantes exploran el monte chaqueño durante los primeros meses de su llegada en busca de maderas para construir. Se dan cuenta que en la zona no existen manantiales, ríos ni lagos, siquiera un pantano que tenga agua todo el año. Piensan que el río más cercano se encuentra a 60 km al sur. La falta de agua obligó a los pioneros a excavar pozos, para los pesimistas era una razón más para estar descontento y para los 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 resulta encontrar agua potable en el Chaco. Las empresas tanineras les recomiendan 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 el Palo Blanco y el Paratodo es zona de agua dulce. A pesar de todo, los colonos no se desanimaron, siempre seguían cavando nuevos pozos, estaban dispuestos a obtener agua potable a cualquier precio. Al

encontrarse alternativas de agua potable, estas eran de uso corporativo. Inclusive en aquellas que, si bien 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° 1 de la Colonia Fernheim. Este grupo de colonos, excavan pozos manualmente con forma hexagonal o cuadra, con paredes de maderas encastradas aserradas a mano (K. Neufeld, com pers<sup>5</sup>). 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, podrían encontrar con facilidad agua, 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 de no sobre exigir los pozos por que podrían volverse duras y salinas.

Las siguientes fotografías ilustran en alguna medida las experiencias relatadas.

---

<sup>5</sup> Neufeld, K. 2020. Entrevista semi estructurada. Filadelfia, Paraguay



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita Colonia Fernheim.

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 en que se extraía la tierra con ayuda de un caballo Colonia Fernheim 1950



Fuente: Archivo de la Asociación Civil Menonita Colonia Fernheim.

Fotografía 4. Sistema de extracción de agua del pozo, 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 construidos a partir de pasto seco principalmente Espartillo (*Elionurus muticus*). Posteriormente, en el ámbito de las colonias menonitas se utilizó 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 construidos a partir de chapas galvanizadas, con particularidades que han sido aprendidas considerando las características climáticas de la región.

Estos sistemas están constituidos básicamente por los techos de cosecha de agua, canaletas de conducción y reservorios de almacenamiento (Fotografía 5) 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 a 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 techos adecuadamente mantenidos cosecha alrededor de 0,8 m<sup>3</sup> de agua/año. Sistemas construidos y administrados adecuadamente 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. Esto con especial énfasis entre el área de cosecha y los depósitos de almacenamiento. Como ejemplo, una vivienda tipo de 200 m<sup>2</sup> puede cosechar 150 m<sup>3</sup> 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 lts por persona. En este sentido, con similares precipitaciones, un área de colecta superior, ejemplo 250 m<sup>2</sup> de techo, con un volumen de reservorio de 30 m<sup>3</sup> ofrecería agua disponible todo el año. La disponibilidad de agua estará en función a: la superficie de cosecha, la capacidad de almacenamiento, además de 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<sup>2</sup> y un sistema de reservorio de 30 m<sup>3</sup> todavía posee un déficit de agua en los algunos meses del año. Mayor capacidad de almacenamiento no contribuiría a disminuir este déficit. Sin embargo, mayor

área de cosecha (250 m<sup>2</sup>) proveería agua todo el año. Un sistema de cálculos simples para la obtención del volumen de reservorio en función a el área de cosecha y consumo para unidades familiares se encuentra en el ANEXO A.

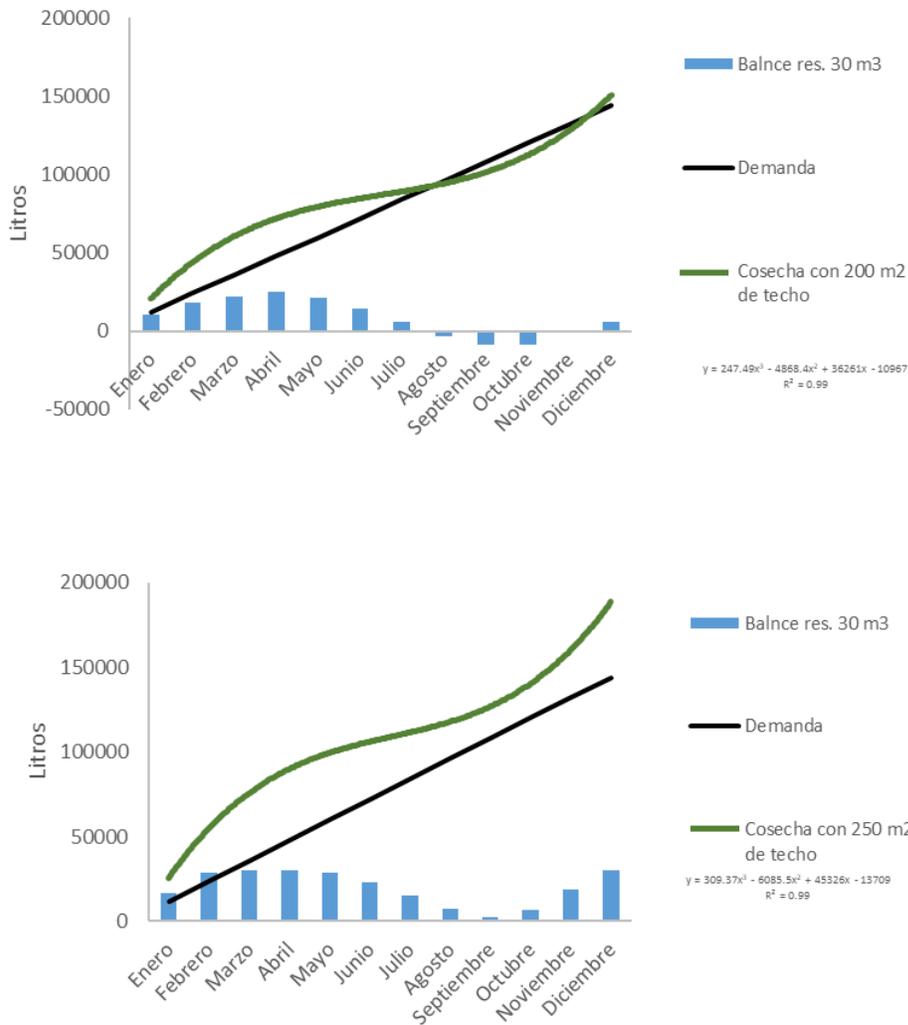


Gráfico 3. Análisis anual de la relación entre consumo, cosecha y almacenamiento de una familia tipo con diferentes superficies de áreas de cosecha de agua (techos).

#### Canaletas

Las canaletas de conducción llevan el agua hasta los aljibes. Si bien los modelos y materiales utilizados para las mismas 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). Los mismos se constituyen en herramientas de gestión del acceso al agua de calidad.



Fotografía 6. Canaletas con filtro contra insectos y otros residuos



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

### *Aljibes*

La usanza de construcción en la región es la de aljibes cilíndricos de ladrillos de material cocido de entre 5 a 40 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento. Sin embargo, otros tipos aljibes ej. cemento, prefabricados, aljibes 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 contribuir directamente al bienestar del grupo familiar. Su uso estratégico es importante al momento de distribución de agua durante eventos de sequía (Fotografía 8) y en ambientes comunitarios con el de pueblos originarios (Fotografía 8 y 10).

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 un mecanismo para favorecer el bienestar de los grupos familiares y objeto de políticas de estado para la región. Una propuesta de mecanismo financiero es 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. Así, el almacenamiento de agua en un sólo aljibe constituye un riesgo importante en el caso de accidentes ej. rotura o contaminación. Más aún, la estrategia de utilizar un aljibe para agua relativamente de menor calidad ej: agua de deriva de las

primeras lluvias, y otro aljibe para agua de consumo humano es también altamente recomendado y frecuente. 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 m<sup>2</sup> área de cosecha, 25 m<sup>3</sup> de capacidad de reserva, > 25 años de uso - Fotografía gentiliza V. Miguel - Macharety)



Fotografía 9. Exitoso sistema de colecta de agua y aljibes comunitarios Comunidad Betania (área de cosecha 250 m<sup>2</sup> área de cosecha, 30 m<sup>3</sup> 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 de los mismos alcanzando 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.

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 permitir 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 sub-base. Concluida la sub-base, se procede a construir la losa del fondo, con un hormigón armado de 15 cm de espesor sobre la sub-base ya construida, con recubrimiento de 5 cm dándole la forma abovedada de la misma, con una pendiente hacia el centro de 4 a 5 cm, y los hierros serán colocados de acuerdo a los diámetros de la fosa.

Mampostería o Pared de Elevación de ladrillos (comunes 0,15 cm). Construir la pared circular, iniciando la misma 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 el cual se hará la terminación del aljibe, hasta 0,80 m del nivel natural del terreno.

Para todo tipo de aljibe se usan 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-evitar raíces de los árboles.).

Revoque interior Impermeable. Concluida la Mampostería se procede a revestir totalmente el interior del aljibe, con un revoque interior impermeable de mezcla 1:3 (cemento-arena lavada), con tapa poros y trama de poliéster tejida a dos capas, luego darle una terminación tratando de dejar la pared y el fondo perfectamente lisos, de tal forma 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, porque el contenido de sal en la tierra es elevado. La construcción con agua con elevado contenido de sal desarrolla terminaciones de baja calidad que se descascaran y filtran el agua acumulada en el corto plazo

La parte abovedada deberá ser revocada tanto interiormente como exteriormente. Qué componente contribuye a la higiene de la obra. 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.

Es importante la tapa de boca de Aljibe con cerradura (Galvanizada). El cerramiento superior se hará con pared de 0,15 m. utilizando preferentemente ladrillos macizos, con juntas rellenas, fundando la misma sobre la parte superior de la bóveda. Las dimensiones son de 0,90 m x 0,90 m y 0,80 m de altura sobre el nivel natural del terreno y, como terminación, realizar un revoque sobre el ladrillo de tal modo que sea liso, sobre la cual irá asentada la tapa metálica galvanizada, la cual deberá contar con una cerradura, esto es para evitar el ingreso de cualquier insecto y animales.

Relleno y Compactación: Las partes o los espacios entre las mamposterías revocadas y el suelo natural deberán ser rellenos y compactados de tal modo que no queden espacios que provoque asentamientos en la periferia de los aljibes.

Contrapiso y Piso: alisado alrededor del Brocal (ancho = 1 m) alrededor del aljibe se construirá un contrapiso de hormigón de cascote de 7 cm. de espesor y sobre la misma se construirá 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. Esto se hace porque hay zona donde el terreno es muy falso.

La impermeabilización de los aljibes con geomembranas plásticas es una herramienta disponible recientemente y que permite reparar aljibes con pérdidas por grietas. Esta práctica consiste literalmente en cubrir con el material mencionado (diámetro 200µm) las paredes del aljibe. El costo de mercado es de alrededor de 90 Gs/l y una vida útil mínima de 5 años.

### *Aljibes pre fabricados*

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 de las mismas. 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 m<sup>3</sup> construido en el Chaco Central cuesta actualmente 750 Gs/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):

- Herramientas de construcción para dichos aljibes son de tipo convencional, comunes entre constructores regionales.
- La extracción de agua sencilla por la parte superior, sin necesidad de equipos adicionales.
- Posee un tiempo de construcción relativamente inferior a los aljibes tradicionales
- El costo de construcción es comparable al de aljibes tradicionales con una mayor proporción del costo destinado a mano de obra.
- Puede construirse en familia o en trabajo asociativo.

En contrapartida algunas desventajas serían:

- Experiencia específica requerida para la construcción de las placas y los moldes de las mismas no está difundida en la región
- Uniones entre placas de cemento frecuentemente con 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 m<sup>3</sup>. El precio para la

implementación de este tipo de reservorios es de 710 gs/l incluyendo la instalación básica comparable a 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 al nivel empresarial. Esto, considerando que otro tipo de unidades demandan el transporte de volúmenes importantes de materiales de diversa índole para su construcción.

Experiencias sobresalientes con este tipo de unidades se han tenido en comunidades de pueblos aborígenes en sistemas comunitarios. Este tipo de sistema que demanda una inversión aproximada de 15M de guaraníes ha mostrado ser exitoso en varias comunidades.



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 gs/l. Esto, dependiendo del tipo de material de construcción y obviamente la capacidad. Aunque la inversión en aljibes es común y a la vez muy solicitada en la región, se han encontrado escasas herramientas financieras específicas. Herramientas financieras direccionadas a este tipo de inversión familiar o empresarial, estarían solo disponibles en algunas instituciones del ámbito cooperativo.

La inversión para este tipo de reservorios es considerable desde la perspectiva de un grupo familiar. Es observable común mente una relación de entre volumen de almacenamiento y costo, donde a mayor volumen menor costo por litro de agua almacenada. Así, un aljibe de 30 m<sup>3</sup> metros cúbicos

de capacidad demanda aproximadamente 20 M de Gs, en torno a los a los 2900 USD. El detalle de los costos de un aljibe típico de material cosido se encuentra contenido en la Tabla 3.

**Tabla 3. Costos de materiales y mano de obra para aljibe tradicional de 30 m<sup>3</sup>**

Materiales de construcción	Cantidad	Unidad Medida	Costo Unitario	Costo Total
Ladrillo T3N 2da	3.200	u	1.150	3.680.000
Cemento 50 kg	32	u	69.000	2.208.000
Triturada 4ta 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 1ra 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
<b>MANO DE OBRA</b>				
Excavación para el pozo	1	u	5.100.000	5.100.000
Base de hormigón 5 cm	6	m <sup>2</sup>	200.000	1.200.000
Pared de ladrillo	9	m <sup>2</sup>	200.000	1.800.000
Revoque de base y pared	12	m <sup>2</sup>	200.000	2.400.000
Tapa de hormigón de 8 cm grosor	6	m <sup>2</sup>	200.000	1.200.000
<b>TOTAL</b>				<b>20.380.550</b>

Fuente: elaboración propia a partir de información de mercado local, datos no publicados

Para grupos familiares con uno de sus miembros asalariados, una inversión de 17.5 M 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, las mismas podrían ser objeto de subsidios o políticas preferenciales en lo relacionado al costo del dinero utilizado en las mismas. 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 ej. estacionamientos o sendas, es cada día más frecuente. Las misma tiene como objetivo principal conseguir mayor disponibilidad de agua para usos múltiples, ej. jardines, sanitarios, áreas de lavado varias. Aunque, no se disponen de datos sistemáticos sobre la eficiencia de estas áreas, a modo de ejemplo un área sistematizada domiciliar de 1750 m<sup>2</sup> consigue llenar un aljibe de 35 m<sup>3</sup> con 40 mm de precipitación (R. Goerzen, com pers<sup>6</sup>). Esto equivaldría 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 medidas 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 propiciado el crecimiento de pasto en áreas sin cobertura.

---

<sup>6</sup> Goerzen, R. 20218. Entrevista semi estructurada. Filadelfia, Paraguay

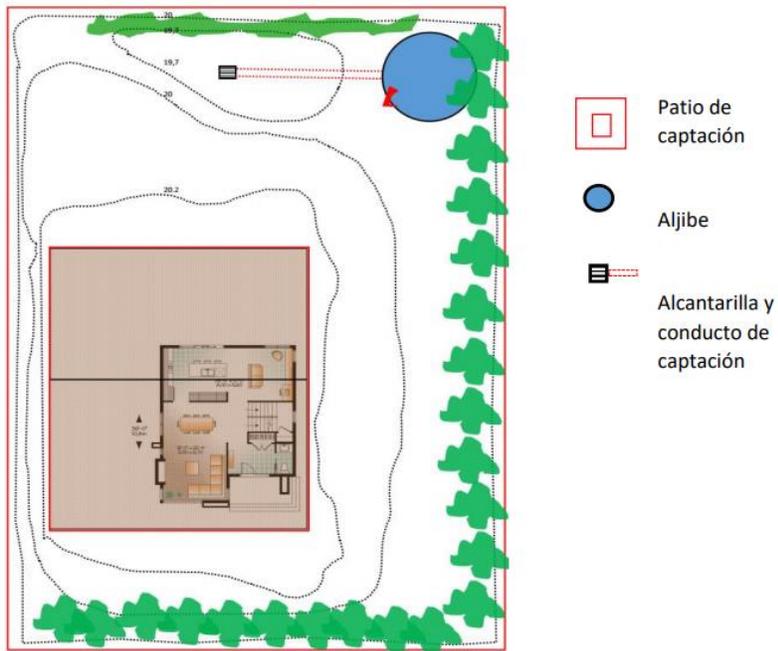


Imagen 2. Lamina esquemática de vivienda con áreas de patio sistematizadas para cosecha de agua



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

## **Sistemas urbanos**

### **Calles y avenidas**

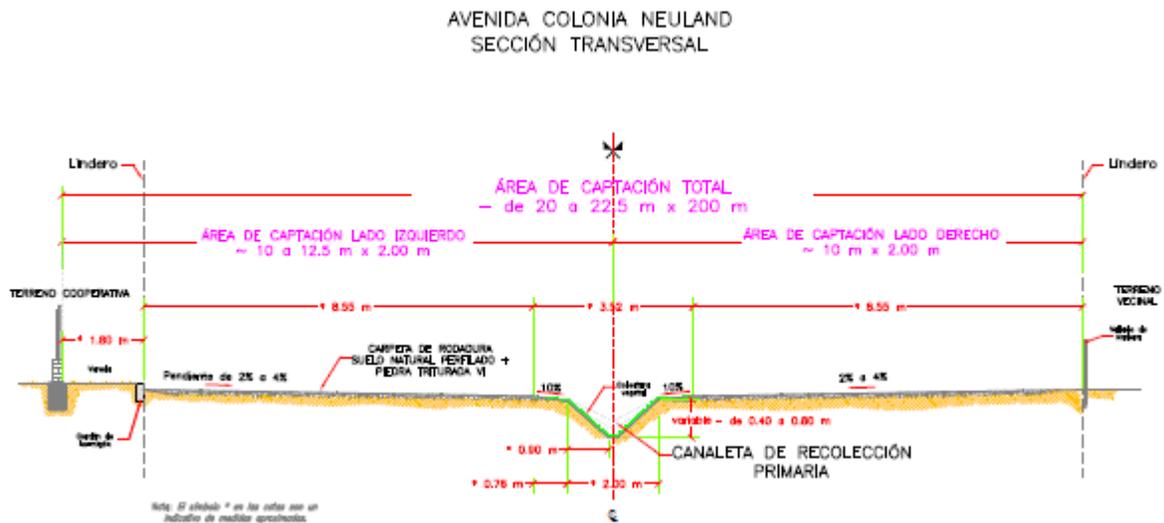
---

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 hasta tajamares de infiltración para posteriormente ser extraída y utilizada. La Fotografía 14 y 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 de arte 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 permiten la rápida colecta y transporte del agua a las áreas deseadas. En este sentido avenida dobles con canales centrales son comunes en diversas áreas urbanas en el Chaco Central (Fotografía 14, Fotografía 15, y Fotografía 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). 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 a la eficiencia de la misma. En cada caso un componente importante del mantenimiento constituye la limpieza de sedimentos esto 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 14. Avenida sistematizada para colecta y transporte de agua, Neuland



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



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



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. Esto, especialmente en el marco de actividades que demandan un uso intensivo de agua. En este caso áreas de estacionamiento, accesos y patios son organizados para el fin antes mencionado.



Fotografía 17. Reservorio impermeabilizado almacenamiento de agua de área de servicios (Neuland)

La Fotografía 17 ilustra la cosecha de agua en el área correspondiente a taller de maquinarias de la Cooperativa Neuland. En este caso, 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. En este caso en particular es principalmente utilizada para el lavado de maquinarias. Sistemas de decantación o filtrado de sedimentos previo ingreso al área del reservorio podrían ser 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 arenoso es una práctica que se viene desarrollando desde los tiempos de las comunidades indígenas. De hecho, vestigios de pozos someros en zonas arenosas fueron encontrados en áreas que hoy día ocupa el centro urbano de la colonia Neuland (E. Reimer, Com Pers<sup>7</sup>).

---

<sup>7</sup> Reimer E. 2019. Entrevista semi estructurada. Neuland, Paraguay

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

- Utilización del acuífero freático como depósito de almacenamiento de los excedentes de 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 hoy día 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 agua, y se reduce a niveles por debajo de 1000  $\mu\text{mhos/cm}$ , luego de una precipitación que propicia la recarga del acuífero.

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 (Fotografía 19 y Fotografía 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.



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



Fotografía 19. Pozo somero tipo bombilla con bomba de diafragma



Fotografía 20. Pozos tipo bombilla con perforaciones múltiple en un tajamar de infiltración de agua

### **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 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 escorrentía superficial de grandes volúmenes de agua provenientes de 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 agua es utilizada posteriormente para fines múltiples. El sistema permite la deriva del agua de las escorrentías superficial mediante un muro y canal de 7 km de longitud que transporta el agua hasta el área de almacenamiento constituida por un área primaria con 100.000 m<sup>3</sup> de capacidad aproximada y 2 reservorios de 380.000 m<sup>3</sup>. 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

---

La acumulación de 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 comentados anteriormente 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 el mismo 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. Friessen, pers com<sup>8</sup>).

Los pozos someros pueden ser encontrados en el Chaco Central en zonas de paleocause colmatados de suelos arenosos. Los mismos 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 de la misma.

---

<sup>8</sup> Friessen, E. 2020. Entrevista semi estructurada. Filadelfia, Paraguay

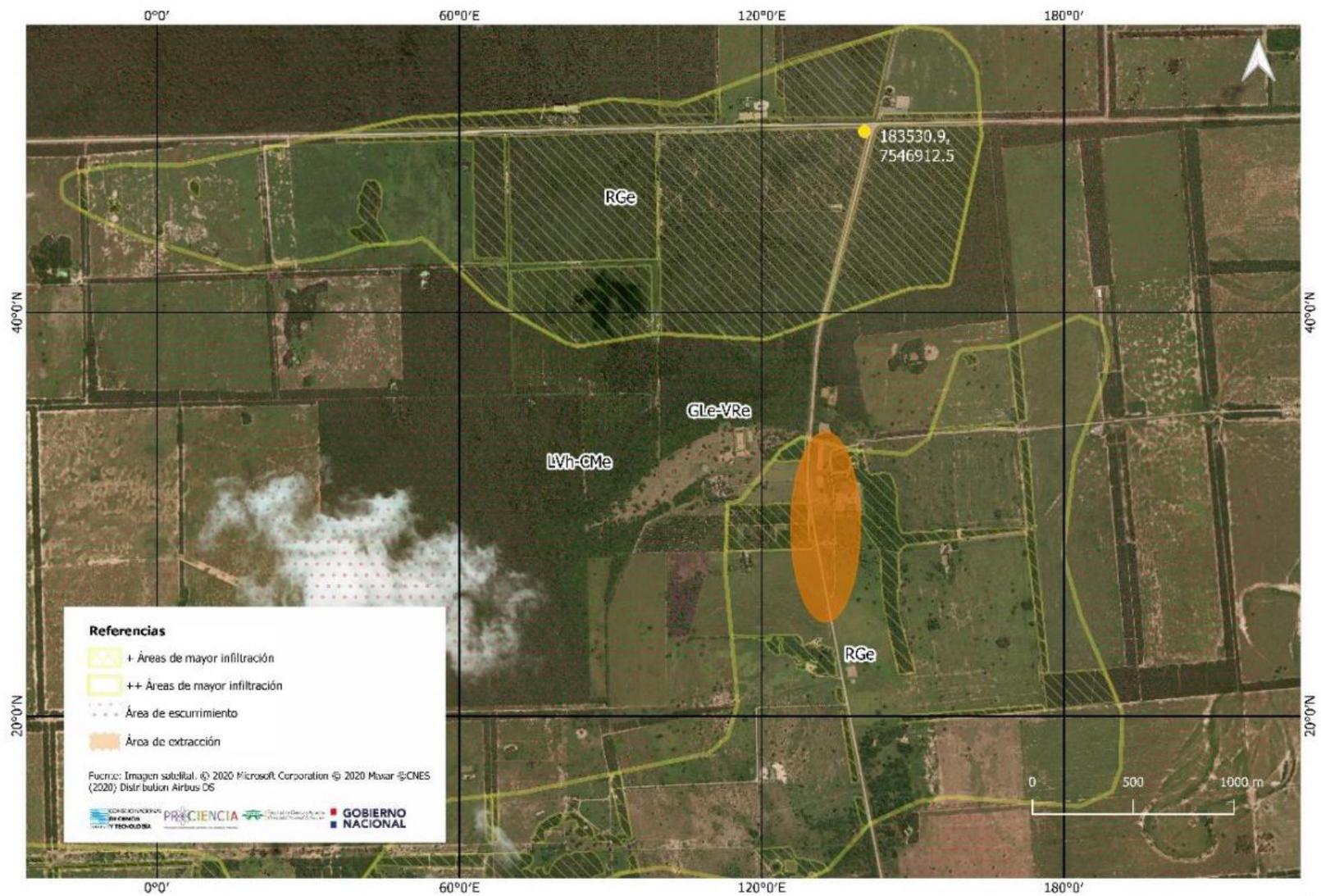


Imagen 3. Imagen de sistema de colecta y almacenamiento de agua de lluvia en la zona de campo Aroma Filadelfia Chaco

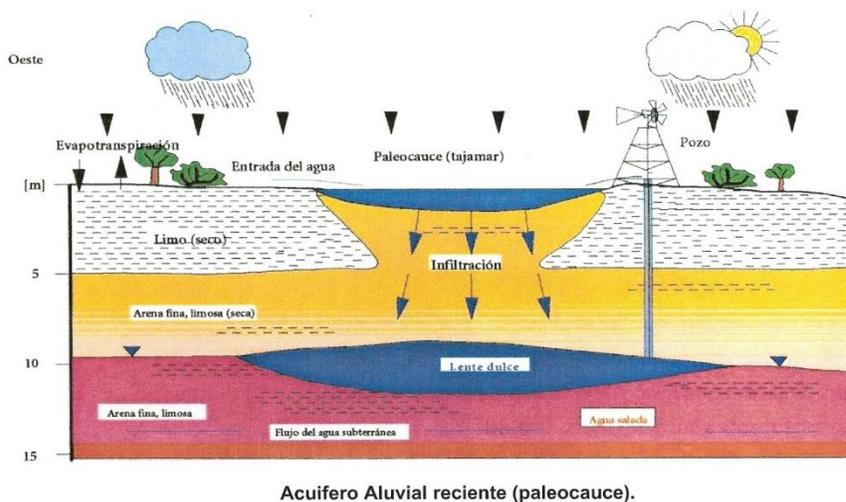


Imagen 4. Representación esquemática de pozos de agua someros y sistema de recarga natural a partir de Junker (1995)

### **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 m<sup>3</sup> son los más solicitados. La construcción se realiza típicamente mediante equipo de tractores y excavadoras típicos. 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 a 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 microrelieve. 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 otra 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 presion del perfil de agua sobre la napa acuífera salobre.

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

Simple en su construcción, la misma se realiza con tractores equipados con palas hidráulicas tipo traillas y alternativamente un tractor con púa para escarificar (aflojar) el suelo a ser removido. Este último al ser extraído 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 pérdida de agua que deben ser consideradas. Estas se dan en alguna medida por infiltración y principalmente la por evaporación. La exposición de la superficie del agua a altas temperaturas y vientos propicia la evaporación. 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 esta en torno de los 0,01 m/día del nivel del agua.

En contrapunto, la gestión que demanda este tipo de infra estructura construida adecuadamente es mínima. Esto recaba importancia al poder estar los mismo funcionando en sitios distantes poco

frecuentados ej. 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 Gs/m<sup>3</sup> (0,86 a 1 USD/m<sup>3</sup> 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 de la misma.

Los canales de cosecha de agua son colectores sencillos de 0,5 m de profundidad, con longitud y orientación variada. Construidos en función al micro relieve tiene el propósito de facilitar la conducción del agua hasta el tajamar. Estos son críticos para la eficiencia del mismo.

Los tajamares de sedimentación, tienen como objetivo reducir los requerimientos de mantenimiento en el tajamar principal por el arrastre 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 de arte que regulan el acceso de sedimentos al tajamar principal. Diversas modelos pueden observarse en las Fotografía 23 y 24). Por otra parte, 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 descritos 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 son obras indispensables en estos sistemas de cosecha de agua.



Fotografía 22. Tajamar tradicional Comisión de agua Rosa Mística Tte lero 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 agua al tajamar principal para evitar erosión



Fotografía 25. Cañería flotante como medidas de reducción del oleaje y por consiguiente de 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 %, la misma permiten tener cuerpos de agua elevados que

proporcionan 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 definida por el diámetro inicial de la base. Dimensiones típicas para un sistema de transporte de agua es de 7 a 10 m de altura.

El tanque australiano posee un sistema de bombeo con que eleva el agua al reservorio. Este por lo general es un molino de viento con pistón hidráulico o motobombas eléctricas a combustión. Recientemente se ha popularizado el uso de sistemas con bombas motobombas eléctricas a energía solar. Esto por la practicidad en el uso y mantenimiento.

La ventaja principal del sistema es la practicidad, relativa baja intensidad de gestión del mismo, 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 viales es potencialmente un área de captación de agua. De hecho, la arquitectura de las mismas, que combinan idealmente un área abovedada y cunetas de acumulación y/o transporte, son utilizadas de forma práctica por establecimientos agropecuarios conectando estas últimas 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, puede ser cosechada y almacenada 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 principalmente el escurrimiento y la potencial cosecha del agua. Fuentes anecdóticas hablan que la observación de la esorrentía de agua de caminos terraplenado propicio el desarrollo de áreas mayores para 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 tajamar de almacenamiento.

Más aún, se ha estudiado el potencial de cosecha de agua de la ruta transchaco y como resultado se obtiene una potencial captación de 45 m<sup>3</sup>/km con 750 mm de precipitación anual. Esto podría dar lugar a la cosecha y almacenamiento de agua para usos diversos ej. productivos o sociales (ANEXO C).

En este paquete tecnológico, los mecanismos de gestión y administración son de similar importantes a las obras de ingeniería propiamente dichas. Más aún cuando estos se relacionan a 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 la adecuación del mismo.



Fotografía 26. Colecta de agua de escorrentía superficial en caminos Zona Tte Pico – Boquerón (Gentileza 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 cachement*, en condiciones climáticas similares al 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 m<sup>3</sup> 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 Fotografía 27 ilustrada a partir del sistema de cosecha de agua para la planta frigorífica de la cooperativa Chortitzer en el Chaco Central.



Fotografía 27. Complejo de captación y almacenamiento de agua de la Planta Frigorífica Loma Plata – Areas de captación 1, tajamar pulmon 2, reservorios tipo tajamar represa 3

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).

Identificación del sitio

La elección del sitio adecuada es crítica para el éxito de este tipo de sistemas de cosecha y almacenamiento de agua. Son preferidos los lugares bajos con escorrentía ocasional de agua. Estos lugares son aún mejores si forman partes de los sistemas superficiales de drenaje. Cómo se ha discutido con anterioridad 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. Esto al posibilitar profundizar las excavaciones realizadas. Sitio con alto contenido de arena pueden dar lugar a reservorios construidos mediante la impermeabilización con geomembrana, hoy día comunes en el noroeste de nuestra área de estudio.

Franjas de poca vegetación contiguas a cortinas rompe viento o áreas boscosas son propicias para el desarrollo de ASCA. Estas áreas de hecho poseen baja cobertura vegetal por efecto de la competencia con las raíces de árboles del monte y en sistemas agrícolas son de producción relativa menor (Fotografía 28).



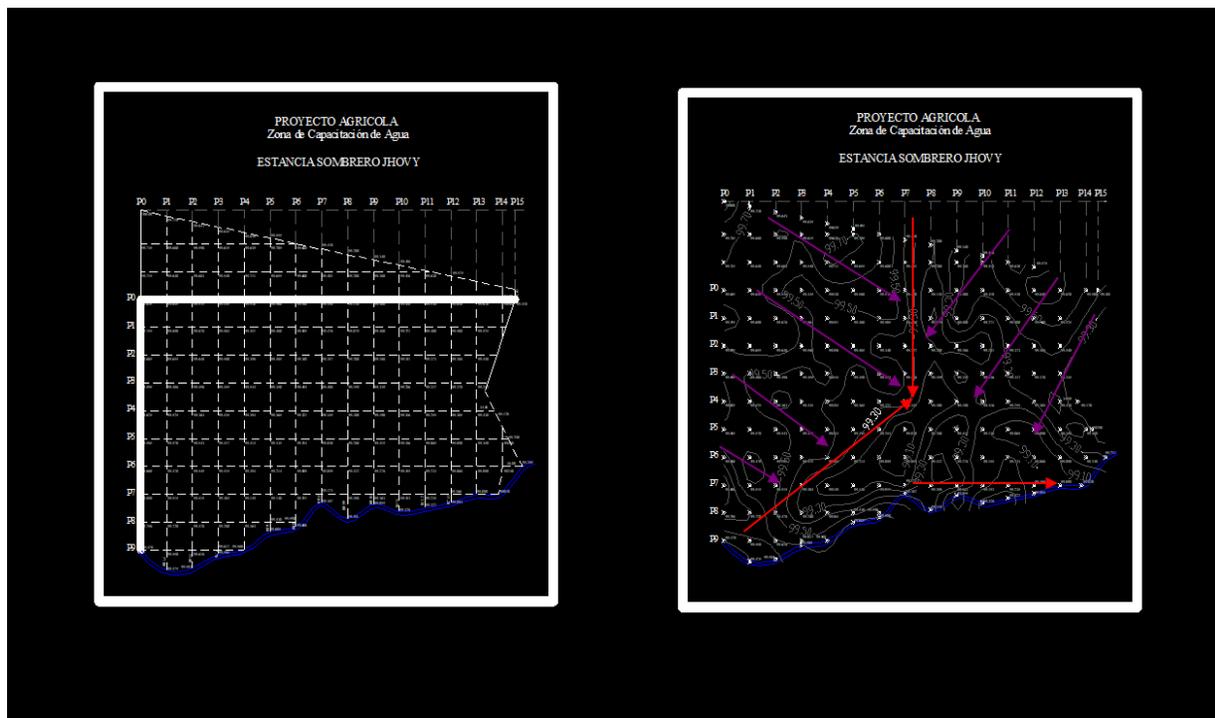
Fotografía 28. Área de captación de agua de lluvia adyacente cortina rompeviento Laubenheim, Colonia Menno

En sitios con napa acuífera salobre poco profunda ( $< 4\text{m}$ ), no deberían ser construidos reservorios con perfil de agua muy elevado, esto considerando el riesgo de salinización de áreas adyacentes por el empuje del agua salobre a la 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. Esto, considerando el régimen de escorrentía superficial y la topografía propia del lugar. La planificación de gabinete debe buscar que 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).



Fuente: Ea. Sombrero Jhovy gentileza H. Arrellaga

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

Otro aspecto importante en la planificación de gabinete lo constituye el dimensionamiento de la obra. El dimensionamiento se realiza en función a la actividad que atenderá el suministro de agua y la variabilidad inter anual y estacional de las precipitaciones. Así es común la implementación este tipo de sistemas para establecimientos ganaderos, emprendimientos de áreas de riego, desarrollos industriales o provisión de agua a poblaciones. Por su parte, el dimensionamiento de los diferentes componentes 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 rinde entre 1800 a 5000 m<sup>3</sup> de agua cosechada según las características de los ciclos de lluvia anuales (Tabla 4).

**Tabla 4. Características de ciclos de lluvia anual y cantidad de agua cosechada**

Tipo de	Cantidad de agua cosechada (m <sup>3</sup> )
Años críticos 400 a 500 mm	1800
Años semi críticos 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.

En lo relacionado al dimensionamiento para emprendimientos ganaderos, el cálculo de agua requerida se encuentra relacionado a la decisión gerencial del volumen de agua de reserva que se desea tener. Así es frecuente el cálculo sobre reserva de agua para 18 meses. Sin embargo, el dimensionamiento para sistemas ganaderos con genética de alto valor (ej. cabañas de cría y tambos) debería basarse en años críticos, considerando que en otro tipos de emprendimientos (ej. Engorde de ganado) el productor podría vender gran parte de su ganado 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 al requerimiento de agua de los cultivos a realizar y el volumen de agua adicional planificado para los mismos. 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 (Tabla 5).

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

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

Fuente: elaboración propia, a partir de datos no publicados

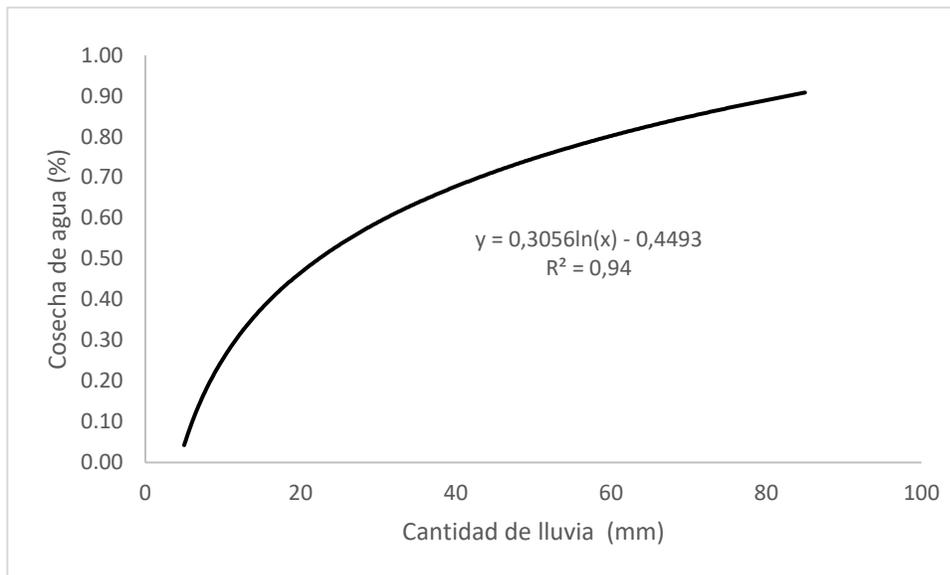
Una vez definido el volumen requerido se dimensiona el área de captación y el tajamar pulmón. Es muy importante considerar que la capacidad del tajamar pulmón debe ser suficiente para almacenar el agua de áreas de captación en un evento climático de por lo menos 100 mm. Al mismo tiempo el diseño del tajamar pulmón influyen directamente en el diseño y capacidad del reservorio tipo represa en una relación 1:3. Esto, al utilizar para la construcción del mismo 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 mismas 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 Poi, 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 lluvias 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. Así, el Gráfico 4 ilustra la predicción de agua cosechada a un volumen de lluvia dado.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos Est. Exp. Isla Poi, Chortitzer Ltda.

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

#### *Trabajos de construcción*

El trabajo de construcción de los componentes de un área sistematizada de cosecha y almacenamiento de agua poseen un orden de construcción definido. Se inicia con la construcción del 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 Plano 2, que representan un corte transversal de los mismos, ilustrados a partir de las obras pertenecientes a la municipalidad de Tte. 1ero Manuel Irala Fernández (Pte. 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.

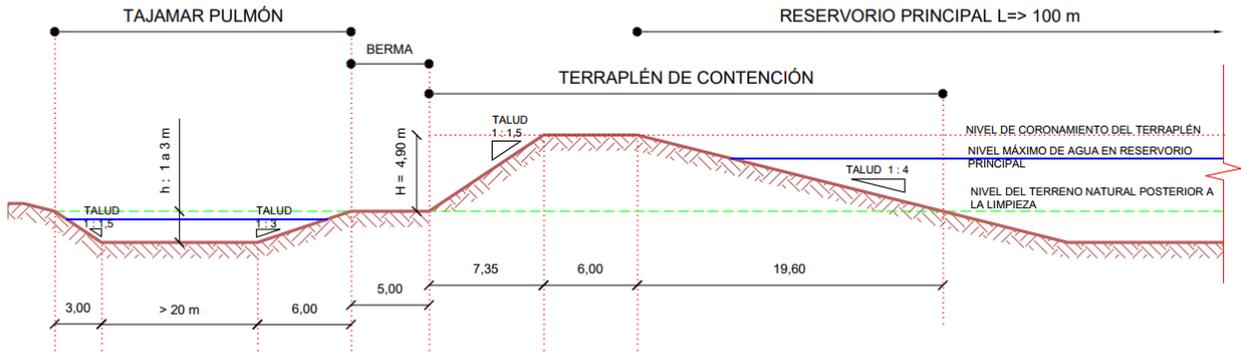
La capa superficial de tierra con alto contenido de materia orgánica, coloquialmente denominada tierra negra, es removida del área correspondiente a la construcción del talud del reservorio y del tajamar pulmón hasta una profundidad de entre 40 a 80 cm. Este material podrá ser utilizado posteriormente 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 descritas 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  $\geq$  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 de los mismos. 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 recomendada 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. 1ero Manuel Irala Fernández Reservorio (Intraversiones 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. 1ero 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 las máquinas. La construcción de los camellones y canales de las áreas de captación es realizada una vez concluidas la marcación planialtimétrico, de suma importancia para la eficiencia de las mismas. Una rastra pesada realiza el trabajo de ablandar la superficie a ser nivelada para el área de captación. El movimiento de tierra se realiza con niveladoras de arrastre, palas hidráulicas tipo traila 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 a 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.

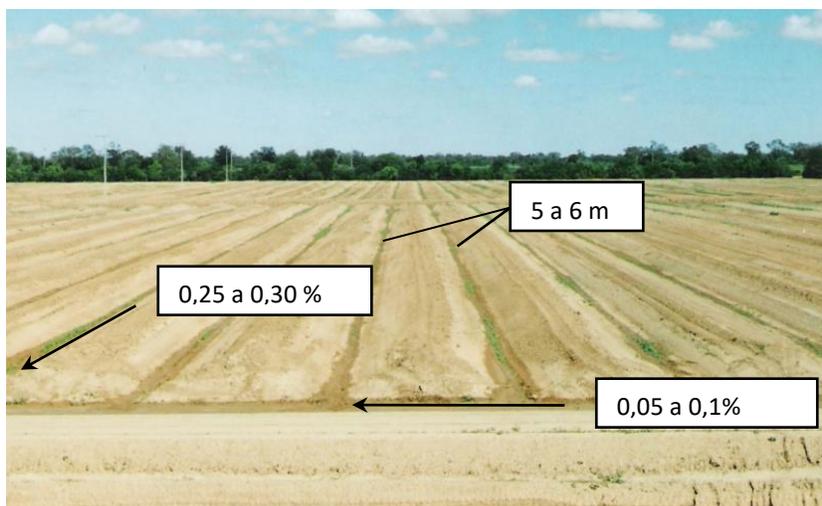
Otro aspecto es la distancia entre canales primarios. Una distancia entre de 6 a 8 m es utilizada frecuentemente para canales entre camellones. Esto responde a una medida adecuada para su construcción con motoniveladoras.

En relación a los costos, estos pueden variar dependiendo de las horas máquina requeridas en cada situación, y el tipo de maquina utilizada, sean motoniveladora o tractores con pala hidráulica. El presupuesto de construcción de contratistas locales está entre 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 los mismos también mencionaron que la corrección de defectos de construcción son

comunes y mejor realizados luego de los eventos lluviosos propiamente dicho. Estos tambien son evidentes por la proliferacion de plantas en areas con acumuluación de agua.



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

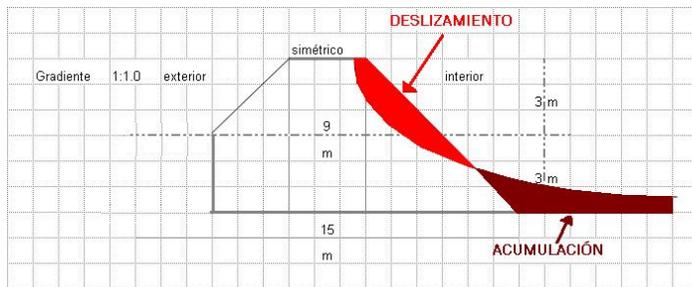
#### Mantenimiento

El mantenimiento de la obra condiciona la eficiencia de la misma en el tiempo. Esto, en relación a 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 de colmatación de los canales. Los mecanismos utilizados hoy día para esto son por un lado medios mecánicos con la utilización de cuchillas tipo pala niveladora en periodos de aproximadamente un año. Otra forma de mantenimiento constituye la utilización de herbicidas contra malezas. Por último, puede utilizarse ganado menor para el pastoreo de las áreas de cosecha. Sin embargo, este último método contribuye a la acumulación de sedimentos en el tajamar pulmón reduciendo la vida útil de los mismos. Más aun, ésta 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. Más aún, 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 de las mismas 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.



Fuente: Scheuer 2010

Imagen 6. Perfil de pared lateral de reservorio tipo represa con riesgo de deslizamiento por pendiente empinadas los paredes internas

#### *Equipos y sistemas de bombeo*

El sistema de bombeo, del tajamar pulmón al reservorio elevado, es dimensionado en función a la envergadura de la obra. Un sistema de bombeo típico consiste en una bomba centrífugas eléctrica, como ejemplo de 2hp para un sistema con 10 ha de área de cosecha y capacidades de almacenamiento de 10.000 m<sup>3</sup> y 40.000 m<sup>3</sup> de capacidad para el tajamar pulmón y reservorio elevado respectivamente. Con una altura de talud, en el reservorio elevado de 6 m, el sistema antes mencionado alcanzaría una capacidad de 35 m<sup>3</sup>/h.

El costo estimado de bombeo al interior del reservorio, con un sistema típico es de 20 Gs/m<sup>3</sup>.

#### *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 almacenamiento de 50.000 m<sup>3</sup>**

Ítem	Cantidad	Unidad	Costo unitario (Gs)	Costo total (Gs)	Costo Total (USD)
Construcción de Reservorio	40.000	m <sup>3</sup>	4.000	160.000.000	22.857
Construcción de Tajamar pulmón	10.000	m <sup>3</sup>	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
<b>Total</b>				<b>390.100.000</b>	<b>55.729</b>

Fuente: elaboración propia en base a 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. Esto influenciado por la cantidad de precipitaciones anual y la eficiencia general del sistema vinculada al mantenimiento, que incide directamente el costo del agua obtenida de los mismos.

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 Gs/m<sup>3</sup> y 800 Gs/m<sup>3</sup> para diseños típicos de 10.000 m<sup>3</sup> en sistemas tradicionales y 50.000 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 (Gs/m<sup>3</sup>) 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 (800mm)	Año semi-crítico (600mm)	Año crítico (450mm)
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. Iero 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.

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

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

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

Harder, W; Thiessen, H; Klassen, N. 2004. Libro 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](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 1er Irala Fernandez. 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 subterranas, Reserva estrategicas económica y vital*. San Lorenzo. p. 124-136.

Rediex, I. 2009. Atlas Geografico 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](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>.

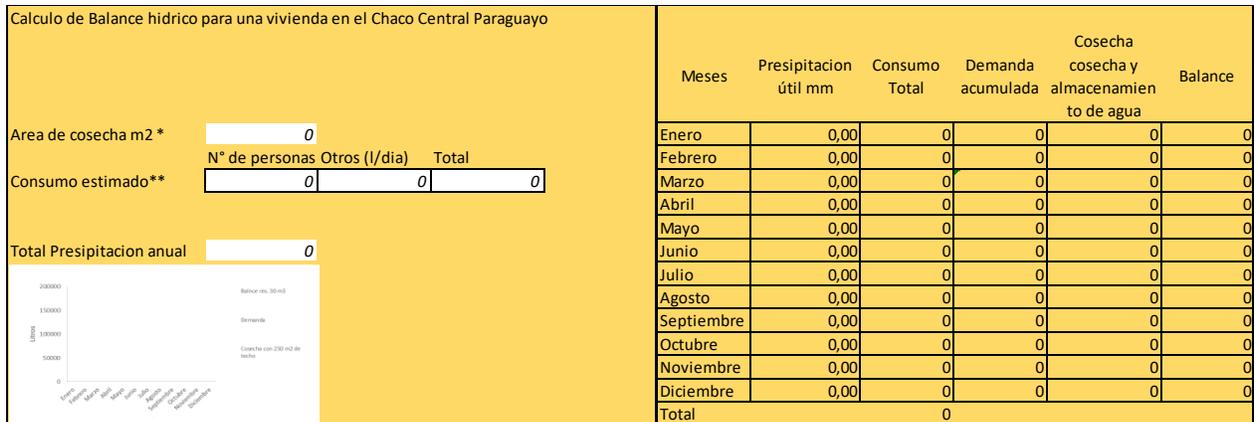
DOA/BGR. 1998. Proyecto sistema ambiental del Chaco: inventario, evaluación y recomendaciones para la protección de los espacios naturales en la Región Occidental del Paraguay (en línea). Kruck, W. San Lorenzo - Paraguay, DOA/MAG, (no. 1). 142 p. Disponible en <http://www.geologiadelparaguay.com.py/PSAC-TomoI.PDF>.

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 y demanda de agua según número de personas

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



Ejemplo de su aplicación con una vivienda con 300 m<sup>2</sup> de techo, para un grupo familiar de 4 personas y usos adicionales de agua



## ANEXO B. Propuesta de herramienta financiera Préstamo de Inversión Aljibes Familiares

### SUJETO DE CREDITO

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

### LIMITE 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 INTERES – inflación + 2 %.

PLAZO: hasta 3 (tres) años.

### MODALIDAD DE PAGO:

INTERES : pagos mensuales o semestrales.

CAPITAL : amortización del capital mensual o semestral.

### REGIMEN DE UTILIZACION

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

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

### GARANTIA

No aplica

### REQUISITOS

Residencia en los distritos de Mariscal Estigarribia, Filadelfia, loma Plata, Tte 1ero 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 de beneficiario y cónyuge.

Certificado 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 alta la demanda de agua las mismas, 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, al mismo tiempo la misma 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. La misma se realizó mediante la planificación de los espacios y requerimiento de equipos e infraestructura en gabinete. En esta 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 utilizó la asistencia de equipos informáticos y software específicos. La propuesta 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. La propuesta contó con el apoyo del equipo técnico del proyecto Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua en el Chaco Central CONACYT/FCA-UNA.

El área diseñada tiene una superficie total de 2500 m<sup>2</sup> con 50 m de lado. La relación de áreas verdes, pasillos y áreas de servicio es 50:50. La misma 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>. La infraestructura de almacenamiento incluye aljibe almacenamiento e infraestructura de conducción. La misma está constituida por seis aljibes de hormigón armado de 110 m<sup>3</sup> cada uno y un sistema de canaletas de conducción con trampas de residuos. El costo total estimado es de 817 millones de guaraníes donde 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 semi árido 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 de la misma.

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 proyecto posee dos componentes; uno relacionado a la infraestructura requerida para la colecta, almacenamiento y utilización del agua, y otro componente organizacional relacionado a la gestión del sistema para el funcionamiento adecuado del mismo 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 la misma 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  $22 \text{ dm}^3$  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  $68 \text{ dm}^3$  en años típicos. El potencial de colecta total es de  $90 \text{ dm}^3$  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 está es bombeada a los tajamares tipo represa de almacenamiento más duradero. La profundidad de los mismos es desde la superficie de lámina al fondo de 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<sup>3</sup>.

El componente de gestión del sistema consiste en la conformación de una comisión de usuarios constituidos en una organización de tipo Junta de saneamiento. Esta organización gestiona el sistema y administra la utilización adecuada del mismo para beneficio de la comunidad.

Recomendaciones para la promoción de la esorrentía para colecta de agua en micro cuencas del Chaco central

- Identificación y análisis del micro cuenca en función a su ubicación, conectividad y orientación en función a cuencas zonales.
- 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
- Limpieza de vegetación en áreas de esorrentía (4 de ancho en el lecho del micro relieve)
- Limpieza de vegetación en correderas auxiliares (45° al lecho principal)
- Contrición de canaletas colectoras (ej. 2,5 m x 0.5 m x n) en lecho principal
- Limpieza anual sistemática de la vegetación natural y canaletas colmatadas para promoción de la mayor esorrentía del agua a los causes
- 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 con de forma desinteresada en su carácter de informantes clave.

Al Prof. Ing. Agr. José Ruiz Olazar por su apoyo en la edición del material.

Al Ing. Jorge R. Cabrera Cardus por su apoyo 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 apoyo en la redacción del material.

Al equipo de oficiales CONACYT vinculados al Proyecto que han colaborado con la conclusión exitosa del proyecto que ha originado este material.