

El presente es un trabajo de aplicación, adaptación y desarrollo tecnológico en el semiárido-árido de La Pampa. Este no corresponde a un trabajo de investigación ya que el mismo no fue concebido como tal, sino como la respuesta a la problemática predial de alcanzar una disponibilidad sustentable del recurso AGUA para uso ganadero y otros usos complementarios. Debido a la falta de obras de envergadura extrapredial (acueductos), se planteó como objetivo el manejo integrado de los recursos hídricos disponibles en el semiárido-árido de La Pampa: agua subterránea de salinidad excesiva en freáticas de escasa profundidad, recarga artificial de acuíferos con agua de lluvia almacenada en represas y bajo volumen de extracción desde jagüeles. La adopción de tecnologías tradicionales y su adaptación para el manejo integrado del agua con fines ganaderos en zonas con acuíferos de mala calidad, puede impactar considerablemente en un área de aproximadamente 1.000.000 ha dentro del territorio de La Pampa, donde la carga animal de los predios está limitada por este recurso vital. La captación y almacenamiento de agua de lluvia para recargar artificialmente acuíferos con aguas de mala calidad, la extracción cuidadosamente controlada de agua mejorada y la adecuada distribución en el predio, permitiría aumentar la carga de ganado haciendo un aprovechamiento más homogéneo y eficiente de los recursos forrajeros. El arte o la manipulación del agua, basado en conocimientos técnico-científicos que hagan un aprovechamiento integral de diferentes fuentes de agua, como aquellas provenientes del subsuelo y de la atmósfera, puede dejar de ser una limitante en zonas con marcada aridez climática. Los resultados alcanzados demuestran que existen soluciones alternativas para aquellas explotaciones ganaderas que no son abastecidas por acueductos o fuentes de agua naturales en superficie o subterráneas de aceptable calidad. La tecnología continúa derribando paradigmas, y la transformación del espacio, lentamente va contribuyendo al desarrollo del territorio en las regiones marginales de La Pampa.

Manejo integral de aguas para uso ganadero en el semiárido-árido de La Pampa

Edgardo Osvaldo Adema



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

INTA | Ediciones

Colección
DIVULGACIÓN

Manejo integral de aguas para uso ganadero en el semiárido-árido de La Pampa

Edgardo Osvaldo Adema

adema.edgardo@inta.gob.ar



INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

Centro Regional La Pampa-San Luis

Estación Experimental Agropecuaria Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

Revisores externos

Dr. Cs. Geológicas Eduardo E. Mariño

Fac. Cs. Exactas y Naturales, UNLPam

Ing. Agrónomo Gastón Alomar

Empresa “Aguadas Alomar”

Revisores internos

Dr. Phylosophy Plant Pathology Jesús Pérez Fernández

EEA Anguil, INTA

Dr. Agronomía Alberto Raúl Quiroga

EEA Anguil, INTA

Ing. Agrónomo Francisco J. Babinec

EEA Anguil, INTA

Sr. Guillermo Berterreix

EEA Anguil, INTA

Ing. Rec. Nat. y Medio Ambiente Lucas R. Butti

UE y DT General Acha, INTA

Diseño Gráfico

Dis. Gráf. Francisco Etchart

Impresión

Gustavo J. Moyano

Impreso en los talleres gráficos de la

EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”

Tirada de 500 ejemplares

Abril de 2015



EDICIONES INTA

Centro Regional La Pampa-San Luis

EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”

RN N°5 Km 58o, CP 6326, Anguil, La Pampa, Argentina

Índice

Resumen	5
I. La problemática del agua para uso ganadero en la provincia de La Pampa	7
Introducción	7
Aptitud y necesidad de agua pluvial	8
Caracterización de las regiones geomorfológicas	9
Agua subterránea para uso ganadero	12
Profundidad del agua subterránea	14
Perforaciones y pozos calzados para extracción de agua subterránea	16
Fuentes alternativas o complementarias de agua	18
Tajamares	18
Manejo tradicional del agua para consumo ganadero	20
II. Una propuesta para el manejo integrado de diferentes fuentes de agua	22
Introducción	22
Sitio de estudio	22
Construcción y desarrollo del sistema	24
Manejo del sistema	28
Resultados y discusión	29
Precipitaciones	29
Evaporación	31
Infiltración	32
Escorrentía superficial	34
Sales totales	35
Consideraciones finales	39
Agradecimientos	40
Bibliografía	41

resumen

El presente es un trabajo de aplicación, adaptación y desarrollo tecnológico en el semiárido-árido de La Pampa. Este no corresponde a un trabajo de investigación ya que el mismo no fue concebido como tal, sino como la respuesta a la problemática predial de alcanzar una disponibilidad sustentable del recurso AGUA para uso ganadero y otros usos complementarios. Debido a la falta de obras de envergadura extrapredial (acueductos), se planteó como objetivo el manejo integrado de los recursos hídricos disponibles en el semiárido-árido de La Pampa: agua subterránea de salinidad excesiva en acuíferos de escasa profundidad, recarga artificial de acuíferos con agua de lluvia almacenada en represas y bajo volumen de extracción desde jagüeles. La adopción de tecnologías tradicionales y su adaptación para el manejo integrado del agua con fines ganaderos en zonas con acuíferos de mala calidad, puede impactar considerablemente en un área de aproximadamente 1.000.000 ha dentro del territorio de La Pampa, donde la carga animal de los predios está limitada por este recurso vital. La captación y almacenamiento de agua de lluvia para recargar artificialmente acuíferos con aguas de mala calidad, la extracción cuidadosamente controlada de agua mejorada y la adecuada distribución en el predio, permitiría aumentar la carga de ganado haciendo un aprovechamiento más homogéneo y eficiente de los recursos forrajeros. El arte o la manipulación del agua, basado en conocimientos técnico-científicos que hagan un aprovechamiento integral de diferentes fuentes de agua, como aquellas provenientes del subsuelo y de la atmósfera, puede dejar de ser una limitante en zonas con marcada aridez climática. Los resultados alcanzados demuestran que existen soluciones alternativas para aquellas explotaciones ganaderas que no son abastecidas por acueductos o fuentes de agua naturales en superficie o subterráneas de aceptable calidad. La tecnología continúa derribando paradigmas, y la transformación del espacio, lentamente va contribuyendo al desarrollo del territorio en las regiones marginales de La Pampa.



La problemática del agua para uso ganadero en la provincia de La Pampa

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos superficiales, subterráneos y pluviales, son de vital importancia para la producción ganadera en el centro-oeste de La Pampa que posee limitadas precipitaciones, confiriendo al territorio características semiáridas-áridas. Según Viglizzo *et al.* (1991) las actividades productivas y las lluvias se correlacionan según patrones bastante precisos, que coinciden con los límites geográficos de las isohietas que atraviesan la región.

La provincia carece de recursos hídricos superficiales importantes a excepción del río Colorado. Sumado a esto, el manejo discrecional del sistema fluvial Atuel-Salado aguas arriba de La Pampa, agrava la problemática productiva de la zona influenciada por este sistema, con un significativo perjuicio económico (Colombato *et al.*, 1983). El número de lagunas es escaso, en virtud del régimen pluviométrico, y algunas de ellas poseen elevada salinidad, conformando en su mayoría salinas y salitrales, mientras que otras tienen carácter temporal y en épocas de sequía desaparecen (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982).

Los acuíferos de este sector de la provincia son generalmente de poco espesor, los caudales posibles de obtener son bajos, la calidad es regular a mala para la actividad pecuaria y desmejora en forma directamente proporcional a la profundidad (Deladino, 2000).

El carácter semiárido-árido, la escasez de recursos hídricos superficiales y las limitantes en cuanto a cantidad y calidad de aguas subterráneas han forjado en la región, una estructura económica sustentada en la producción ganadera basada en el aprovechamiento del pastizal natural, en condiciones de producción extensiva a muy extensiva (Adema *et al.*, 1999).

Debido a la limitada disponibilidad de agua, es necesario buscar alternativas para la obtención y aprovechamiento de este recurso. Una posibilidad frente a este problema, es la recolección de agua pluvial en represas y su reserva y utilización en épocas desfavorables, con el consiguiente aumento de la productividad de la zona (Fernández Duque, 1988). Hofstadter (1983) analizó las posibilidades de aprovechamiento de las aguas pluviales en el oeste de la provincia de La Pampa a través de tajamares o represas. A pesar de ser una región árida-semiárida, presenta un gradiente de posibilidades para captar agua pluvial con la finalidad de disponer de este insumo de forma complementaria o exclusiva.

APTITUD Y NECESIDAD DE AGUA PLUVIAL

En función de las características climáticas, geomórficas e hidrogeológicas, Umazano *et al.* (2004) evaluaron la aptitud y la necesidad promedio de agua pluvial en las regiones geomorfológicas del oeste y sur de la provincia de La Pampa (Figura 1), a escala de reconocimiento (1:500.000 a 1:1.000.000). Los factores considerados fueron: precipitaciones, gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo, drenaje natural, sustrato, caudal y salinidad de las aguas superficiales, así como caudal y salinidad de los acuíferos. A cada factor se le asignó un valor de 5 a 1, en orden decreciente de su potencial para captar y almacenar agua de lluvia, así como la necesidad de nuevas fuentes hídricas. La condición media de cada región se clasificó como: muy buena (5 a 4), buena (4 a 3), regular (3 a 2) y mala (2 a 1). La Tabla 1 y la Figura 1 muestran los resultados de la clasificación adoptada en orden decreciente (I a VII) y la condición media de cada región.

Tabla 1. Condición de las regiones geomorfológicas del centro-oeste de La Pampa; según el potencial de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Adaptado de Umazano *et al.* (2004).

Región	Aptitud y necesidad promedio	Condición	Clasificación
Peneplanicie de Lihuel Calel	3,4	Buena	I
Planicie de inundación actual	3,1	Buena	II
Planicie medanosa	2,4	Regular	III
Mesetas y depresiones	2,3	Regular	IV
Paleoabanico del río Colorado	2,2	Regular	V
Planicie de Chical Co	2,1	Regular	VI
Planicie Basáltica	1,9	Mala	VII

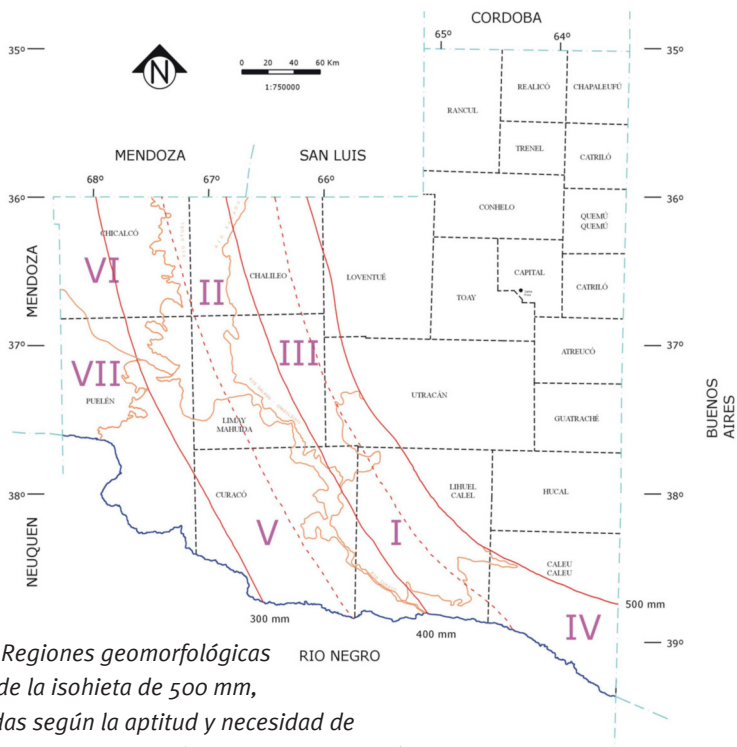


Figura 1. Regiones geomorfológicas al oeste de la isohieta de 500 mm, clasificadas según la aptitud y necesidad de captación de agua pluvial (Umazano et al., 2004).

CARACTERIZACIÓN DE LAS REGIONES GEOMORFOLÓGICAS

1. Peneplanicie de Lihuel Calel (Región I)

Las precipitaciones medias anuales varían desde 500 mm en el sector oriental a 375 mm en el sector suroccidental. Desde el punto de vista climático, esta región presenta muy buenas posibilidades de captación, solamente equiparables a las Regiones III y IV. Sin embargo, se diferencia de ellas por presentar mayor necesidad de nuevas fuentes hídricas y un potencial de captación superior.

En relación a otras regiones, los valores medios estimados de permeabilidad del suelo y drenaje, se presentan como los factores más limitantes. Sin embargo, en el sureste de la región, donde predominan Aridisoles con una capa de tosca poco profunda (INTA *et al.*, 1980), la infiltración se vería retardada y por ende la eficiencia de captación y almacenamiento aumentarían.

Hacia el noroeste dominan Entisoles arenosos, en ocasiones salinos, con drenajes y permeabilidades poco favorables para la colección y almacenamiento de agua de lluvia (INTA *et al.*, 1980). No obstante, por tratarse de la zona más limitada de la provincia en materia de agua subterránea, el aprovechamiento de los recursos hídricos pluviales constituiría una alternativa viable para suplir la escasez de agua de la zona. La región posee características relativamente buenas para la captación y almacenamiento de agua pluvial y la mayor necesidad de contar con nuevas fuentes hídricas, por lo que presenta el mayor valor promedio (Hofstadter 1983, Umazano *et al.*, 2004).

2. Planicie de inundación actual (Región II)

Esta región posee un potencial climático superior al encontrado en las regiones V, VI y VII e inferior al de las regiones I, III y IV. Las precipitaciones medias anuales oscilan desde 375 mm en el sector oriental a 350 mm en el sector occidental, siendo ambos valores límites aproximados. Por la necesidad de captación y almacenamiento de agua pluvial esta región fue clasificada como buena para la aplicación de tecnologías que corrijan las deficiencias que presentan sus recursos hídricos.

La configuración topográfica de la región ofrece muy pocos lugares que actuarían como cuencas de captación y almacenamiento de agua pluvial. Estas estarían restringidas a las concavidades de la llanura aluvial y a las depresiones localizadas al pie del sistema de bardas (INTA *et al.*, 1980). Mientras las primeras captarían las precipitaciones ocurridas en sus laderas y los muy esporádicos rebalses de los cursos fluviales activos; las últimas se alimentarían, principalmente, a partir de los drenajes ocasionales que escurren por los cañadones labrados en el sistema de bardas. Frente a la escasa disponibilidad de agua subterránea y a la presencia de cursos fluviales con caudales disminuidos por intervención antrópica, Umazano *et al.* (2004) consideran importante la búsqueda de alternativas que permitan poner a disposición de los productores mayores volúmenes hídricos.

3. Planicie medanosa (Región III)

En función de las precipitaciones medias anuales, 500 mm en el sector oriental a 375 mm en el límite con la Planicie de inundación actual, la región presenta posibilidades de captación semejantes a las regiones I y IV. El principal impedimento para desarrollar este proceso, radica en los bajos gradientes topográficos y en el drenaje algo excesivo. En síntesis, a pesar de la configuración topográfica general y el drenaje; el buen potencial climático, la

permeabilidad del suelo y la naturaleza del sustrato hacen factible captar y almacenar agua meteórica en esta región. Hofstadter (1983) consideró que esta zona no es apta para la construcción de tajamares, excepto el sector sureste del departamento Limay Mahuida.

4. Mesetas y depresiones (Región IV)

El potencial climático es muy bueno, solamente equiparable al encontrado en las regiones I y III. Las precipitaciones medias anuales disminuyen desde 500 mm al norte hasta 400 mm al suroeste. Pese a ser la segunda región con mayor potencial de captación y almacenamiento, presenta la menor necesidad de nuevas fuentes hídricas con respecto a otras regiones (Umazano *et al.*, 2004).

La configuración topográfica de la región conforma una serie de cuencas (INTA *et al.*, 1980) de captación y almacenamiento de agua meteórica, de distintos tamaños. Las más grandes se corresponden con las depresiones y captan las precipitaciones provenientes de las barrancas, conducidas hacia los centros de cuenca por los cañadones labrados en los taludes. En las mesetas, el relieve ondulado define cuencas de menor tamaño.

5. Paleoabanico del Río Colorado (Región V)

En esta región, los valores de precipitación media anual van de 375 mm en el sector oriental a 225 mm en el sector occidental. El potencial de captación y almacenamiento se encuentra muy limitado por las precipitaciones, el drenaje y la naturaleza del sustrato. Los restantes factores que determinan la viabilidad del proceso (permeabilidad del suelo y gradiente topográfico medio), son relativamente buenos en comparación con las otras regiones (Umazano *et al.*, 2004). Hofstadter (1983) consideró que los paleocauces poseen aptitud buena para el emplazamiento de tajamares, clasificación equiparable a la del ámbito de la región I. Sin embargo, presenta una aptitud promedio inferior, debido fundamentalmente al potencial climático y a las condiciones del basamento hidrogeológico.

6. Planicie de Chical Co (Región VI)

Las precipitaciones promedio anual de la región son de 350 mm al este y menos de 300 mm en el límite con la provincia de Mendoza. Desde la óptica climática presenta un potencial de captación que únicamente supera a la región VII. En relación a las demás regiones, los valores estimados de los factores gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo, drenaje y sustra-

to, no favorecen la intención de coleccionar y almacenar agua meteórica. Este hecho se ve reflejado en la aptitud promedio de la región, que manifiesta el valor más bajo (Umazano *et al.*, 2004).

Pese a que la región presenta morfología de planicie con suave pendiente regional hacia el E-SE (Melchor y Llambías, 2000), se presentan pequeñas áreas plano-cóncavas producto de la actividad hídrica, que actuarían como cuencas. Estas captarían las esporádicas precipitaciones acaecidas sobre sus flancos y, en algunos casos, los drenajes ocasionales de los cauces efímeros. Hofstadter (1983) consideró que esta zona posee menor aptitud que los paleocauces de la región V para la construcción de tajamares.

7. Planicie Basáltica (Región VII)

Para esta región, el promedio anual de las precipitaciones oscila de 325 mm en el sector nororiental a menos de 300 mm en el límite interprovincial La Pampa-Mendoza. Se presentan valores pluviométricos medios anuales inferiores a los encontrados en el ámbito de todas las otras regiones. La factibilidad de la captación se encuentra limitada, principalmente, por las precipitaciones y la topografía y, en menor medida, por la permeabilidad del suelo, el drenaje y la naturaleza del sustrato (Umazano *et al.*, 2004).

AGUA SUBTERRÁNEA PARA USO GANADERO

El área considerada, en general presenta limitaciones en calidad y cantidad de agua subterránea disponible para uso ganadero. En virtud de esto, se requieren tecnologías estratégicas que permitan optimizar la cantidad y calidad de este recurso para la ganadería, actividad productiva predominante en esta zona de la provincia. Sin la disponibilidad de agua es inviable el desarrollo de la región, con un planteo productivo acorde a su potencial.

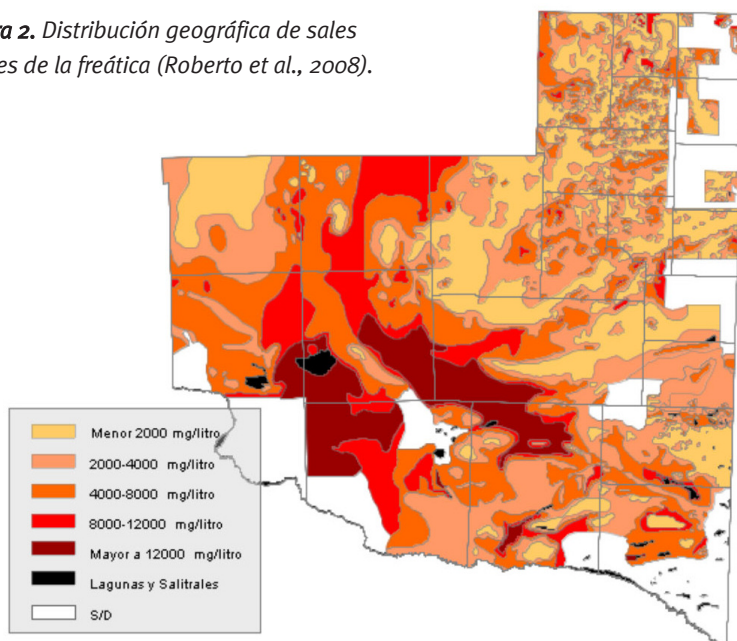
Los departamentos Caleu Caleu, Curaco, Chalileo, Lihuel Calel, Limay Mahuida, Puelén, sudeste de Chical Co y sudoeste de Utracán, presentan severas limitaciones de agua subterránea (Tabla 2) con una superficie mapeada de aproximadamente 2.450.000 ha y probablemente, más de 1.000.000 ha no mapeado, de acuíferos libres con más de 8 g.l-1 de sales totales (Figura 2), que representan severas restricciones para bovinos, pudiendo provocar la muerte de los animales (Roberto *et al.*, 2008).

La proyección de unas 3.500.000 ha de pastoreo extensivo abastecidas

por agua de mala calidad, restringe el consumo eficiente y homogéneo de pastizales donde la receptividad de los campos está determinada por la disponibilidad y distribución de agua.

El contenido de sales totales es el indicador más importante para determinar la calidad del agua de bebida para la hacienda, pero en aguas salinas es necesario conocer la composición y la concentración de las diferentes

Figura 2. Distribución geográfica de sales totales de la freática (Roberto et al., 2008).



Departamento	Superficie (%)	
	(8-12 g.l ⁻¹)	(>12 g.l ⁻¹)
Caleu Caleu	4,7	0,5
Chalileo	36,7	----
Chicalco	2,3	----
Curaco	18,7	22,3
Lihuel Calel	10,6	14,8
Limay Mahuida	23,9	29,7
Puelén	13,0	5,2
Utracán	9,0	13,6

Tabla 2. Superficie (%) del Depto. Catastral con sales totales superiores a 8 g.l⁻¹. Aguas malas y de uso condicionado para ganado bovino. Adaptado de Roberto et al., (2008).

sales para determinar los efectos que pueden tener sobre el animal (Bavera, 2011; Sager, 2003) y estimar con mayor precisión los límites de tolerancia en función de estas variables.

PROFUNDIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Si bien la profundidad del nivel freático presenta diferencias considerables entre y dentro de cada región, en la Figura 3 se pueden visualizar vastas zonas con características similares respecto de la profundidad. De la superficie mapeada en la provincia de La Pampa, el 49,25 % presenta el nivel freático a menos de 20 m de profundidad (Roberto *et al.*, 2008). Estos acuíferos de profundidad somera son aptos para la recarga artificial mediante infiltración de agua de origen pluvial, provocando una disminución de salinidad por dilución del agua subterránea en los sitios de extracción de agua.

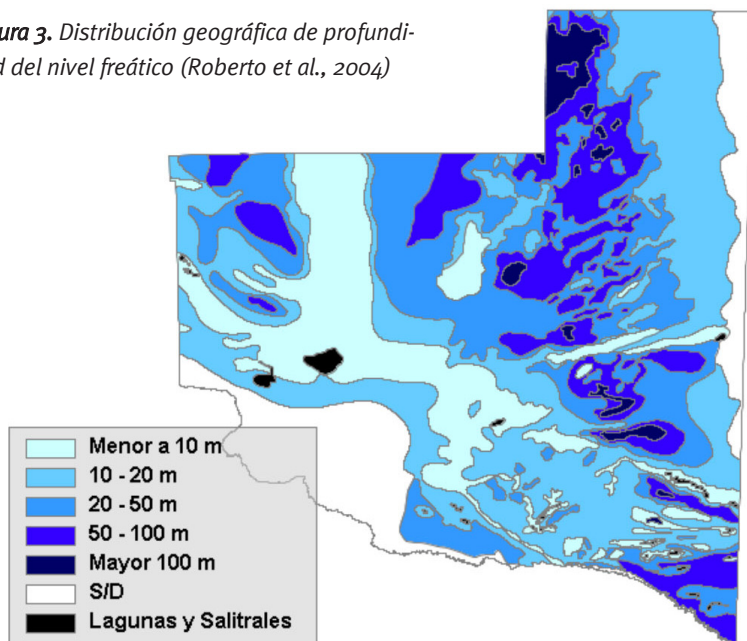
Del análisis combinado de calidad del agua y profundidad del nivel freático (Tabla 3) surge que aproximadamente 1.606.000 ha mapeadas corresponden a acuíferos ubicados a menos de 20 m de profundidad, con aguas de mala calidad (sales totales = 8 a 12 g.l⁻¹) y calidad condicionada para el ganado bovino (sales totales > 12 g.l⁻¹). En esta superficie, la capacidad de carga de los campos está controlada por la calidad del agua (Roberto *et al.*, 2008).

Esta situación determina que al menos el 11 % de la superficie de La Pampa con aptitud para ganadería bovina se encuentre por debajo de su potencial productivo y sin posibilidades de desarrollo, a menos que se apliquen tecnologías que solucionen la oferta de este nutriente en calidad, cantidad y distribución adecuadas para una producción sustentable. Al respecto, existen tecnologías tradicionales y de nueva generación que pueden adaptarse y aplicarse en diferentes combinaciones para desmitificar la existencia de

Tabla 3. Superficie de La Pampa con acuíferos freáticos de mala calidad y condicionada para consumo de ganado bovino, a profundidades aptas para recarga artificial de acuíferos. Adaptado de Roberto *et al.* (2008).

Sales totales	Superficie	
	(< 10 m)	(10 a 20 m)
8 a 12 g.l ⁻¹	472.400 ha	369.730 ha
> 12 g.l ⁻¹	467.320 ha	269.230 ha

Figura 3. Distribución geográfica de profundidad del nivel freático (Roberto et al., 2004)



“campos sin agua” y revertir situaciones de sub- aprovechamiento de pastizales, matorrales y arbustales naturales.

En acuíferos que se encuentran a menos de 10 m de profundidad, la extracción de agua mediante el sistema patas de araña en la capa superior del acuífero y en cantidades reducidas dentro de cada perforación o jagüel, puede abastecer al ganado con agua de regular calidad sin perjuicio para el acuífero (Basán Nickisch, 2007, Bavera, 2011), en particular si se provoca su recarga con infiltración de agua de lluvia.

Sobrados son los ejemplos de acuíferos de regular calidad para uso ganadero que se han degradado (salinizados), a niveles intolerables para el ganado por aplicar tecnologías inadecuadas de extracción de agua. Con estas técnicas tradicionalmente conocidas como recarga artificial de acuífero y extracción de agua con “patas de araña”, puede hacerse sustentable la utilización de acuíferos salinos, manteniendo y hasta disminuyendo sus concentraciones químicas.

PERFORACIONES Y POZOS CALZADOS PARA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

La decisión de construir perforaciones o pozos depende de las características hidráulicas de los sedimentos en los que se encuentra la capa freática y en consecuencia de la capacidad de transmisión de agua en la zona saturada. Con sedimentos gruesos que pueden aportar un buen caudal, las perforaciones constituyen la herramienta más adecuada para acceder al agua.

Cuando los sedimentos de la zona saturada son de textura fina (gredosos) y el acuífero freático de caudal pobre, es conveniente cavar pozos (jagüeles) que permitan una recuperación más rápida del nivel del agua extraída (Figura 4). En todos los casos se recomienda calzar los pozos hasta una altura que supere los 40 cm del nivel del suelo para evitar la entrada de sedimentos arrastrados por el viento o el escurrimiento superficial de agua de lluvia.

Los pozos se pueden calzar desde el fondo o a partir de una capa dura del subsuelo a una profundidad que mantenga humedad permanente por efecto de la capa freática. En el segundo caso, se evita que la pared del subsuelo (no revestida) pueda derrumbarse por desecación y pérdida de coherencia de los sedimentos. Con la finalidad de reducir costos de construcción, es recomendable utilizar ladrillos pegados en “panderete” con concreto (1 parte de cemento y cuatro partes de arena) y trabados entre filas para lograr una alta resistencia mecánica. Entre la pared construida y la del pozo excavado se debe rellenar



Figura 4. Pozo calzado a partir de una capa dura del subsuelo).

con sedimentos del lugar para que ambas paredes queden solidariamente unidas. Este aspecto es de gran importancia ya que parte del peso de la pared de ladrillo descansa sobre la pared del pozo, además de evitar filtraciones de agua que puedan escurrirse entre ambas paredes e ingresar al jagüel, debilitando el basamento de la construcción y acarreado sedimentos al fondo del mismo.

En caso de que los sedimentos del subsuelo presenten poca coherencia (arenosos), se recomienda el calzado desde el fondo. Debajo del agua, los ladrillos deben colocarse de plano (pared convencional de 18-20 cm), unidos entre sí pero no pegados con concreto. Esto le brinda resistencia mecánica a la pared y evita eventuales derrumbes de sedimentos, además de permitir el paso del agua entre la “junta” de los ladrillos. Existen otros materiales para calzar los pozos, en particular los anillos de hormigón premoldeado constituyen una alternativa viable que brinda una excelente estructura, rapidez de colocación y gran durabilidad.

De ser posible económica y técnicamente, es recomendable realizar drenes horizontales en la zona en que el acuífero aporte el agua de mejor calidad, con el objetivo de aumentar el flujo hacia la zona de almacenamiento. Esta labor complementaria puede aumentar sustancialmente la capacidad de almacenamiento y extracción de agua desde los jagüeles.

Es recomendable tapar los pozos para evitar que caigan al mismo elementos contaminantes (fauna, vegetación), o sedimentos transportados por el



Figura 5. Jagüel protegido del ingreso de material contaminante.

viento. La cubierta superficial se puede construir a muy bajo costo con restos de polietileno (silo bolsa) atados alrededor del brocal y con pequeños agujeros para evitar la acumulación de agua de lluvia (Figura 5).

El agua tiene la particularidad de estratificarse verticalmente dentro del acuífero. Conforme aumenta la concentración de sales disueltas, aumenta la densidad del agua y en consecuencia, a mayor profundidad del acuífero, mayor salinidad del agua. En virtud de ello, debe prestarse especial atención a la profundidad perforada o excavada. Es recomendable medir la salinidad a medida que se profundiza en la excavación porque probablemente los primeros 80 a 120 cm de agua, dentro de la zona saturada, contengan niveles de sales disueltas aceptables para uso ganadero. Sin embargo, a mayor profundidad las sales disueltas se irán incrementando y pueden alcanzar concentraciones incompatibles con los niveles de tolerancia del ganado.

La ventaja de los jagüeles respecto de las perforaciones cavados en acuíferos de baja transmisión de agua, radica en disponer de una superficie que permite una recuperación más rápida del agua extraída, esta recuperación es directamente proporcional al diámetro del pozo. A modo de ejemplo, un pozo con un diámetro de 170 cm y una altura de agua de 120 cm, tiene un volumen (V) de 2723 litros de agua, calculados mediante la siguiente fórmula: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$, donde $\pi = 3,14$; r = radio del pozo y h = altura de agua. Una forma de aumentar el almacenamiento de agua de un pozo es aumentando el diámetro en la zona saturada (acampanándolo), en el momento de desbarrarlo.

FUENTES ALTERNATIVAS O COMPLEMENTARIAS DE AGUA

TAJAMARES

Debido a la limitada calidad y disponibilidad de agua subterránea, es necesario buscar alternativas para la obtención y aprovechamiento de este recurso. Ante la ausencia de fuentes fluviales y cuerpos de agua con aptitud para consumo del ganado, la alternativa que utilizan los ganaderos, desde hace décadas, es la recolección de agua pluvial en represas (tajamares), su reserva y utilización se realiza de diferentes maneras en función del grado tecnológico aplicado, las necesidades y disponibilidad del productor.

Los tajamares son embalses de agua de escurrimiento pluvial almacenada mediante la construcción de diques o terraplenes de suelo (Min. Asuntos

Agrarios del Gobierno de La Pampa, 1988). La posibilidad de su instalación está dada por las características del terreno que permitan lograr una adecuada captación del agua de lluvia. Se han descrito diferentes modelos, diseños y estructuras complementarias (Basán Nickisch, 2007; Bavera, 2011; Fernández Duque, 1988; INTA-MAB Chaco, 1972; Min. Asuntos Agrarios del Gobierno de La Pampa, 1988), sin embargo, deben considerarse los principios teóricos básicos para su instalación y adaptarlos a las condiciones locales del predio que demanda este tipo de construcciones, para satisfacer las demandas de agua para el ganado.

Los tajamares se deben construir en relieves bajos con afluencia natural de agua de escurrimiento. La profundidad aconsejada es de 3 m y los taludes con una pendiente de 3:1 (Figura 6). El propósito es contener el máximo volumen de agua con la menor superficie posible del embalse.

Una vez terminados los taludes y el borde por encima del nivel del suelo, es necesario construir una vía de escape para el excedente de agua (vertedero), cuando se ha llenado el embalse. La altura de coronación del tajamar, el piso y abertura del vertedero son factores importantes a tener en cuenta. La capacidad de evacuación del vertedero debe estar en proporción con el caudal de entrada, pues en caso contrario puede resultar insuficiente el desagüe y entonces el agua superar la pared, con el consecuente riesgo de erosión y desmoronamiento. Es conveniente elevar el terraplén sobre el nivel del terreno y dejar que el excedente de agua escurra libremente hacia una cota de menor altura, con lo cual se disminuye considerablemente el peligro de erosión y rotura del embalse.



Figura 6.
*Construcción de
tajamar en un relieve
plano-cóncavo
con afluencia natural
de agua.
Taludes con una
pendiente 3:1.*

Una vez construido el tajamar, se debe hacer un alambrado perimetral a fin de impedir el acceso del ganado y evitar problemas como la contaminación del agua con deyecciones y el derrumbe de taludes por pisoteo. El alambrado se ubica de manera que permita el fácil acceso de la maquinaria, para el mantenimiento del área perimetral (Min. Asuntos Agrarios, La Pampa, 1988).

MANEJO TRADICIONAL DEL AGUA PARA CONSUMO GANADERO

La mala calidad del agua subterránea es un factor limitante para el desarrollo de la producción ganadera, mientras que la escasa profundidad de la freática constituye una oportunidad para acceder a este recurso en el semiárido-árido de La Pampa. La combinación de ambos factores, generalmente no es suficiente para lograr un planteo productivo sustentado sobre estas bases, lo cual se evidencia en numerosas perforaciones y jagüeles abandonados por salinización del agua debido a la sobreexplotación. Otros se construyeron y no fueron puestos en producción porque el contenido de sales superó el umbral de tolerancia del ganado, aun antes de su utilización.

Por otro lado, la construcción de tajamares es una herramienta alternativa y/o complementaria para mejorar la producción, permitiendo diferentes combinaciones de utilización, aunque la mayoría de las veces no ha sido suficiente para afrontar periodos de sequía prolongados. El consumo directo del agua de lluvia desde los tajamares es una rutina en los establecimientos con escaso nivel de tecnificación, como consecuencia, el agua se enturbia por



Figura 7. *Animales abrevando dentro de un pequeño tajamar.*

efecto del pisoteo y se contamina con las deyecciones de los animales (Figura 7), al punto de que los remanentes de agua almacenada, normalmente son rechazados por el ganado, perdiendo parte del recurso hasta que nuevas lluvias recuperen el volumen de almacenamiento.

Bavera (2011) enfatiza sobre la aplicación de la tecnología disponible para evitar los problemas antes mencionados, especialmente en un país donde la ganadería es una de las principales fuentes de riqueza y donde la disponibilidad de agua para el ganado no debería depender de los imponderables del clima.

Cuando los tajamares se secan, habitualmente se recurre al transporte de agua con camiones cisternas, los cuales son almacenados en los tanques australianos y en virtud de la escasa salinidad de este recurso, se aumenta su volumen a través de la mezcla con agua salada de perforaciones y/o jagüeles, permitiendo lograr un agua de calidad aceptable, reduciendo los costos de transporte. No obstante, con sequías prolongadas, el traslado de agua en camiones provoca elevados costos que pueden enajenar la producción del año.

En planteos productivos sustentados sobre estas bases, en las que se depende fuertemente de las condiciones ambientales, es necesario aplicar tecnologías para alcanzar un desarrollo sostenible, donde el Estado provincial tiene un rol destacado en la aplicación de políticas que contemplen la capacitación, la transferencia de tecnologías y aportes crediticios para alcanzar estos objetivos.



Una propuesta para el manejo integrado de diferentes fuentes de agua

INTRODUCCIÓN

Los mecanismos tradicionales de manejo de agua para consumo ganadero no alcanzan a satisfacer la demanda del recurso durante épocas de sequía prolongada, en la mayoría de los establecimientos con escasa cantidad y limitada calidad de agua subterránea (Umazano *et al.*, 2004). Tampoco es suficiente la disponibilidad de agua de lluvia almacenada en tajamares en muchos campos, bajo condiciones climáticas de escasa pluviosidad. En consecuencia, apelar al transporte de este recurso es extraordinariamente oneroso y necesario cuando no se cuenta con otras fuentes y/o reservas construidas para paliar situaciones extremas.

Evidentemente, estas condiciones son recurrentes en climas semiáridos-áridos en diferentes épocas y estaciones del año, aunque normalmente la época de mayor carencia hídrica se produce en verano (Adema *et al.*, 2004). Con estos antecedentes sumados a la falta de obras de envergadura extrapredial (acueductos), se plantea el objetivo de manejar integralmente los recursos hídricos disponibles en el semiárido-árido de La Pampa: agua subterránea de salinidad excesiva en acuíferos de escasa profundidad, recarga artificial de acuíferos con agua de lluvia almacenada en represas y bajo volumen de extracción desde jagüeles.

SITIO DE ESTUDIO

El predio donde se realizó el estudio durante el período 2006-2014, se encuentra ubicado al sudoeste del Departamento Utracán (37°35'09,92"S, 65°50'10,71"O, 238 m.s.n.m), a 45 km al sur de Chacharramendi. La temperatura media anual es de 15,5 °C, la media de julio es de 7 °C y la media de

Tabla 4. Análisis del agua del acuífero para uso ganadero, antes de iniciar la producción en el predio.

		Fecha: 24/06/05
Procedencia: Chacharramendi - Lote 14 - Dto: Utracán Muestra N° 1		
Protocolo: 63/2005		
Total de sólidos disueltos 100 – 105 °C.....		11890ppm o mg.l ⁻¹
Aniones		
Cloruros.....	4182...	mg/dm ³
Sulfatos.....	1764...	mg/dm ³
Carbonatos.....	NO CONTIENE.....	mg/dm ³
Hidrogenocarbonatos.....	264...	mg/dm ³
Fluoruros.....	1,00.....	ppm
Cationes		
Calcio.....	1504....	mg/dm ³
Magnesio.....	268....	mg/dm ³
*Arsénico.....	0,05.....	ppm
*Arsénico efectuado mediante test semicuantitativo Arsent Test		
pH.....	7,38...25°C	C.E.E....14,500...25°C mS.cm ⁻¹

enero es de 24 °C. El área corresponde a la región fisiográfica de la llanura aluvial antigua con modelado eólico posterior (INTA *et al.*, 1980).

La superficie del predio es de 2.487 ha. El relieve es plano con una pendiente promedio de 0,4 % en sentido N-S. La profundidad del nivel freático es de 6 a 8 m aproximadamente y la salinidad total del agua es de 12 g.l⁻¹. En la Tabla 4 se muestra el análisis para uso ganadero del agua de la freática, antes de poner en producción el predio y antes de realizar la recarga artificial del acuífero con agua de lluvia. Este análisis fue realizado en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa.

El análisis del agua concluye con las siguientes observaciones: “*Por su contenido en sales totales, corresponde a un agua de mala calidad, usable para bovinos de cría por acostumbramiento. Si bien es un agua de mala calidad, su salinidad está influenciada por los cloruros que no son tan perjudiciales como los sulfatos. Agua muy dura por su contenido en calcio: 1504 ppm, los que contrarrestarán el efecto negativo de los sulfatos, con esto quiero decir que si tuviese más de 400 o 500 ppm de magnesio, el efecto laxante sería mayor*”.

La vegetación presenta la fisonomía de un arbustal perennifolio con árboles aislados y un estrato de gramíneas bajas e intermedias. La flora está representada por un estrato arbóreo de algarrobo con baja densidad y cobertura heterogénea y rara presencia de caldenes. Las especies arbustivas y matas son predominantemente de hojas perennes. El estrato graminoso-herbáceo presenta una comunidad donde predominan las gramíneas invernales sobre las estivales y las hierbas.

La oferta forrajera del predio se basa exclusivamente en especies nativas y está constituida fundamentalmente por gramíneas invernales con predominancia de flechilla fina y pasto hilo. Entre las gramíneas megatérmicas predominan gramilla cuarentona y plumerito, mientras que la herbácea más abundante es la peludilla. Los arbustos ramoneables constituyen un importante aporte forrajero y los más relevantes son zampa, llaollín, solupe y rama blanca.

Desde el año 2006, el predio es utilizado con un rodeo de cría con carga variable estabilizada en 12 ha.UG⁻¹ durante los dos últimos años. Se realiza un pastoreo rotativo del pastizal natural en cinco potreros, bajo un plan adaptativo donde el tiempo de pastoreo es “flexible” dependiendo de la relación demanda/oferta forrajera en cada potrero (Distel, 2013).

CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA

En esta experiencia se tomó como base un viejo tajamar colmatado de sedimentos que constituía un pequeño cuerpo de agua de 40 cm de profundidad. Sobre esta base se excavó una represa de 50 m de largo por 30 m de ancho y 3 m de profundidad. Sobre estas dimensiones superficiales y respetando la pendiente del talud 3:1 (Basán Nickisch, 2007; Bavera, 2011; Min. Asuntos Agrarios, La Pampa, 1988), las medidas del fondo son de aproximadamente 32 m de largo por 12 m de ancho. La capacidad máxima del mismo hasta el punto de coronación, es de aproximadamente 2.550.000 l. En el contorno del tajamar y en el tercio superior del talud se cavaron y calzaron cinco jagüeles (Figura 8) y se desbarró uno preexistente, sobre el que está instalado el molino.

Los jagüeles se cavaron con un diámetro de 180 cm hasta los 4 o 5 m de profundidad, dependiendo de la existencia de una capa de sedimentos gredosos que asegurara la sustentación de las paredes con las que se calzaron los pozos, conforme lo explicado precedentemente. A partir de esta profundi-



Figura 8. Vista del tajamar, jagüeles calzados sobre el talud y alambrado perimetral.

dad, el diámetro de cavado se redujo a 140 cm y la profundidad total promedió 7 m, de los cuales aproximadamente 80 a 120 cm se encuentran debajo del nivel freático. En oportunidad de desbarrar los pozos, se favoreció el acampanado dentro de la freática a fin de aumentar el almacén de agua de los mismos.

La conexión de los jagüeles al sistema “patas de araña” se realizó con caños de 1 1/4” de polipropileno, en una red horizontal asimétrica conforme el esquema que muestra la Figura 9. En el ingreso de la cañería que llega a los jagüeles, se colocó una llave que permite regular la extracción de agua de cada pozo para controlar la salinidad (Figura 10). Desde la llave de cada pozo se colocó una curva de 90° con reducción y un caño “chupador” de 3/4”x 6 m con válvula de retención en su extremo inferior.

La cañería “patas de araña” fue nivelada horizontalmente, sin embargo, se otorgó una ligera inclinación de 5 cm desde los pozos hacia el cilindro del molino para prevenir el mal funcionamiento de alguna válvula de retención, y así evitar el vaciado de agua en la red. Al momento se conectaron a la red, 3 de los 6 jagüeles construidos, además del jagüel preexistente ubicado debajo del molino. De los tres restantes, el agua se extrae con bombas cloacales de 3/4 hp de potencia, asistidas por un grupo electrógeno de 6,5 kva.

Se construyó un tanque tipo australiano con placas y piso de cemento y una capacidad de 74.000 l, que almacena el agua extraída de los jagüeles. El

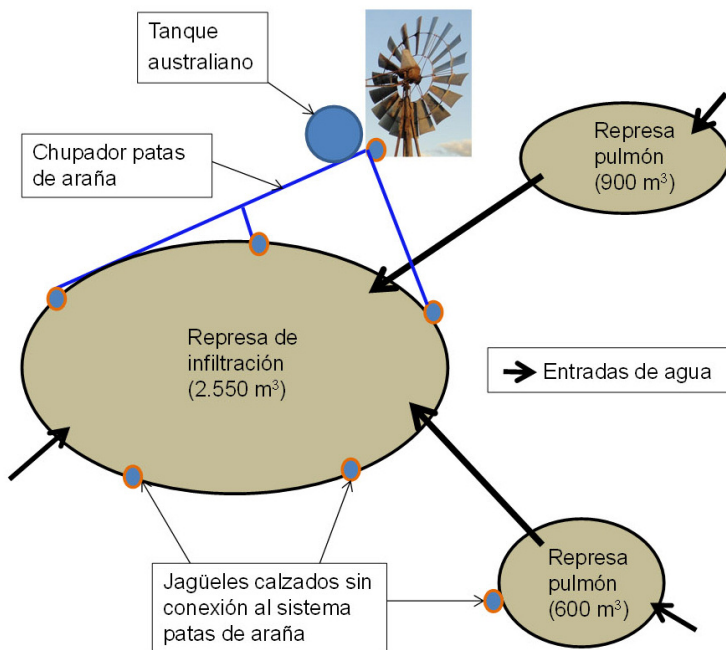


Figura 9. Distribución esquemática de la infraestructura desarrollada para el manejo integrado de aguas.

tajamar, jagüeles, tanque y molino fueron cercados con alambrado convencional de 7 hilos para clausurar el acceso de los animales a los que se les suministra el agua a través de bebidas instaladas en potreros y corrales. Este sistema tiene capacidad suficiente para abastecer la demanda de agua de 220 unidades ganaderas (UG) con un consumo anual promedio de 70 l.día^{-1} . La demanda (D) de agua de esta carga animal ($D = 220 \text{ UG} \times 70 \text{ l.día}^{-1}$) es de aproximadamente 15.500 l diarios, es decir unos 5.600 m³ al año.

La escasa pendiente del perfil topográfico limita el volumen de escurrimiento, para lo cual se está trabajando en la ampliación de la cuenca de captación de agua. En proximidad del tajamar con los jagüeles (Figura 9), se construyeron dos represas “pulmón” (Bavera, 2011) más pequeñas que cumplen la función de almacenar temporariamente el agua de escurrimiento. Cuando se llenan estas represas que almacenan aproximadamente 1.500 m³ entre ambas, el agua se trasvasa por gravedad al tajamar de mayor capacidad (2.550 m³), mediante vasos comunicantes (mangueras de polietileno de 11/2” enterradas) con bajo caudal para evitar procesos de erosión.



Figura 10. Llave esférica para regular la extracción de agua del jagüel.

Este mecanismo asegura que la masa más importante de suelo arrastrado por el escurrimiento sedimente en las represas de menor tamaño. Estas represas de menor volumen de almacenamiento, constituyen, además, depósitos transitorios de agua de buena calidad que cumplen otras funciones como suministro de agua para regar plantas, abrevar ovejas, construcción de infraestructura, etc. En proximidad de la represa más pequeña se construyó un jagüel con el propósito de contar con una reserva adicional de agua de infiltración, en aquellos casos de emergencia hídrica. A los fines de extracción de agua se utiliza un molino de 6 pies con cilindro de 2 1/4 instalado sobre la cañería horizontal enterrada que conecta los jagüeles (Figura 11).



Figura 11. Cilindro instalado sobre la cañería "patas de araña" en el jagüel del molino.

MANEJO DEL SISTEMA

El sistema es manejado artesanalmente sobre bases técnico-científicas. Los principios sobre los cuales se sustenta son:

- Recarga artificial del acuífero con agua de lluvia para diluir la salinidad
- Filtrado y mineralización del agua de lluvia que llega al acuífero
- Disminución de pérdidas de agua por evaporación desde la superficie de los tajamares
- Extracción del agua mezclada subterráneamente, mediante el sistema de extracción “patas de araña” y bombas cloacales, desde los jagüeles
- Monitoreo de la salinidad del agua a la salida del tanque para ajustar esta variable a niveles compatibles con los requerimientos del ganado
- Rotación de jagüeles (usos y descansos) para extraer agua de calidad aceptable y mantener una reserva para épocas críticas de sequía

Las variables medidas son las precipitaciones diarias (mm) con pluviómetro estandarizado similar a los utilizados en las Estaciones Meteorológicas mecánicas del Servicio Meteorológico Nacional. Estas lecturas se tomaron en el periodo 2006-2014. La salinidad del agua de bebida se midió cada 15 días desde enero de 2007 en la salida del tanque mediante salinómetro compensado (densímetro). Las dos lecturas mensuales se promediaron y los valores se expresaron en g.l^{-1} (Figura 12). Con la información tomada en el predio, se evaluaron las precipitaciones mensuales y anuales y la salinidad media mensual y anual del agua destinada al consumo del ganado.



Figura 12. Pluviómetro y salinómetro utilizados para registrar precipitaciones y salinidad del agua de bebida para ganado.

Una variable determinante de pérdidas de agua desde la superficie del tajamar es la evaporación. Tomando como referencia por su proximidad espacial al Campo Anexo del INTA en Chacharramendi, donde se midió la evaporación en tanque Americano tipo A durante 6 años consecutivos (1978-1983), se determinó la evaporación media mensual desde superficies de agua (Adema *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitaciones

La Figura 13 muestra las precipitaciones medidas en el establecimiento donde se realizó la experiencia. Con 9 años de registros, se observa la variabilidad de las lluvias con un rango interanual de 217 mm en 2009 a 725 mm en 2012, lo que significa una diferencia de aproximadamente tres veces y media, en el corto periodo que se registró esta variable. Los sistemas de producción pecuaria extensiva en campos naturales del semiárido-árido, presentan alta dependencia de la variabilidad de las precipitaciones. Esta situación amerita una gran dedicación para calcular una carga animal sustentable en los establecimientos, ya que mantener cargas estables con años hídricos tan diferentes, pueden provocar daños indeseables y a veces irreversibles en el sistema y la producción (Distel, 2013). Si bien la precipitación media es de 473 mm para el periodo considerado, poco explica sobre la productividad del establecimiento en virtud de la mencionada variabilidad entre años.

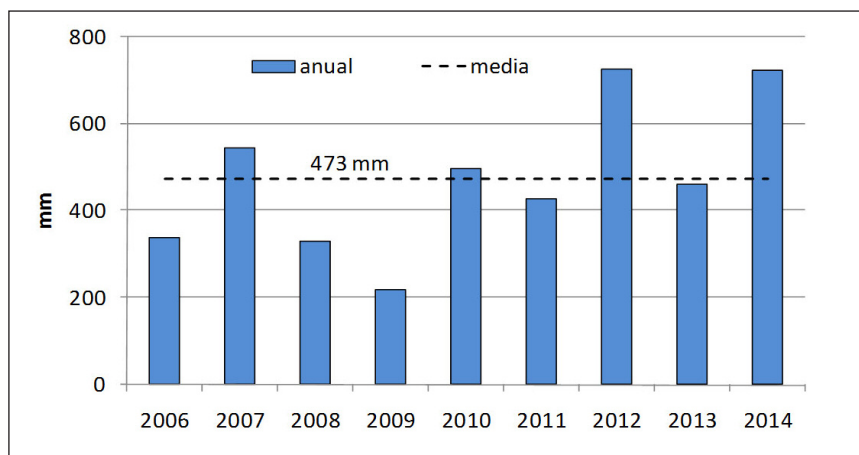


Figura 13. Precipitaciones anuales del periodo 2006-2014. Datos tomados en el sitio de estudio.

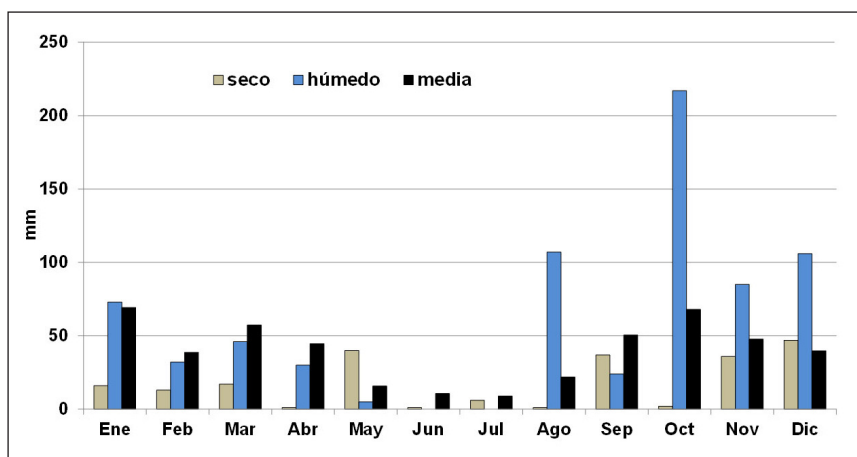


Figura 14. Precipitaciones mensuales: 2009 (año seco), 2012 (año húmedo) y la media 2006-2014. Datos tomados en el sitio de estudio.

Otro aspecto determinante lo constituye la variabilidad de las precipitaciones dentro del año (Figura 14). Si bien la media mensual muestra una curva semestral con lluvias de aproximadamente 50 mm mensuales totalizando 321 mm en primavera-verano y un semestre “seco” que alcanza 152 mm en otoño-invierno, la variabilidad mensual y estacional es de gran magnitud y condiciona fuertemente la capacidad de almacenaje de agua para el ganado. En los nueve años de datos, así como las precipitaciones anuales difieren considerablemente de la media, la distribución mensual presenta alta variabilidad respecto del promedio.

A pesar que las precipitaciones más importantes corresponden al periodo comprendido entre los meses de octubre y marzo, la evapotranspiración potencial en el mismo periodo normalmente excede a las lluvias provocando una considerable deficiencia hídrica media primavero-estival (Adema *et al.*, 2004).

Si la recarga del acuífero tiene origen en las precipitaciones del lugar, los valores presentados en la Figura 14 corroboran la dificultad de manejar una carga animal estable en función de la disponibilidad de agua de bebida, a menos que la recarga del acuífero en uso sea provocada artificialmente para mantener cantidad y calidad suficientes para el ganado. En numerosas ocasiones la restricción de la carga animal está determinada por el recurso agua en el semiárido-árido de La Pampa, de manera que el manejo combinado del

agua subterránea y de lluvia es prácticamente imprescindible para alcanzar los objetivos productivos propuestos de manera sustentable, frente a un régimen hídrico de alta variabilidad.

Regionalmente, unas 940.000 ha dentro del territorio de La Pampa, principalmente el área comprendida por la cuenca del sistema fluvial Atuel-Salado Chalideuvú-Curacó, presentan acuíferos con agua de mala calidad a menos de 10 m de profundidad (Roberto *et al.*, 2008) en los cuales la aplicación de las técnicas mencionadas precedentemente (recarga artificial del acuífero y extracción de agua mediante sistema “patas de araña”) permitirían aumentar la capacidad de carga de los predios, limitada por la disponibilidad de agua. Además, una superficie de aproximadamente 640.000 ha presenta aguas subterráneas de similar calidad entre 10 y 20 m de profundidad, donde nuevas tecnologías como perforaciones direccionales horizontales podrían constituirse en el medio de acceder a este recurso.

Evaporación

La evaporación medida en tanque Americano tipo A mostró una pérdida media anual de 1.457 mm. Los valores mensuales de evaporación se presentan en la Figura 15 y puede observarse que en diciembre y enero ascienden a 200 mm respectivamente, mientras que en junio y julio alcanzan 50 mm por mes. Esto corrobora la importante continentalidad climática con una evaporación superficial de agua, cuatro veces mayor en verano respecto del invierno.

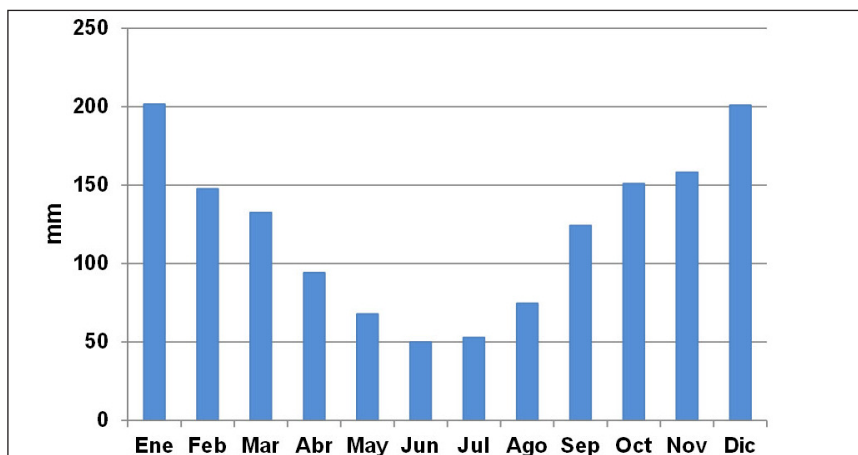


Figura 15. Evaporación promedio medida en tanque de evaporación tipo A. Datos de la Estación Meteorológica del Campo Anexo del INTA, Chacharramendi (1978-1983).

Resultados similares de evaporación total y distribución anual fueron obtenidos en la Agencia de Extensión de Añatuya del INTA Santiago del Estero, con datos obtenidos en tanque de evaporación Tipo A, donde se estimó un coeficiente del tanque = 0,7, esto significa que los valores de evaporación de una superficie de agua deben multiplicarse por este coeficiente para estimar la tasa de evaporación (Basán Nickisch, 2007). En virtud que los valores de evaporación medidos en esta región tienen gran similitud a los reportados por este autor, se adopta el mismo coeficiente (0,7) para calcular la evaporación de superficies de agua en tajamares de nuestra región.

Las pérdidas de agua por evaporación entre noviembre y febrero son de aproximadamente 700 mm x 0,7, lo que significa que en una superficie de 1500 m², estas pérdidas sean aproximadamente 735 m³, esto es equivalente al consumo de 220 UG durante 48 días, con una ración de agua estimada en 70 l.día⁻¹. En virtud de estas pérdidas altamente significativas desde superficies de agua, el diseño del tajamar contempló una tasa de infiltración rápida para recargar el acuífero y minimizar pérdidas por evaporación.

Infiltración

En los balances hídricos de embalses de agua, la infiltración es una variable que se mide como pérdida del sistema. Sin embargo, el aprovechamiento

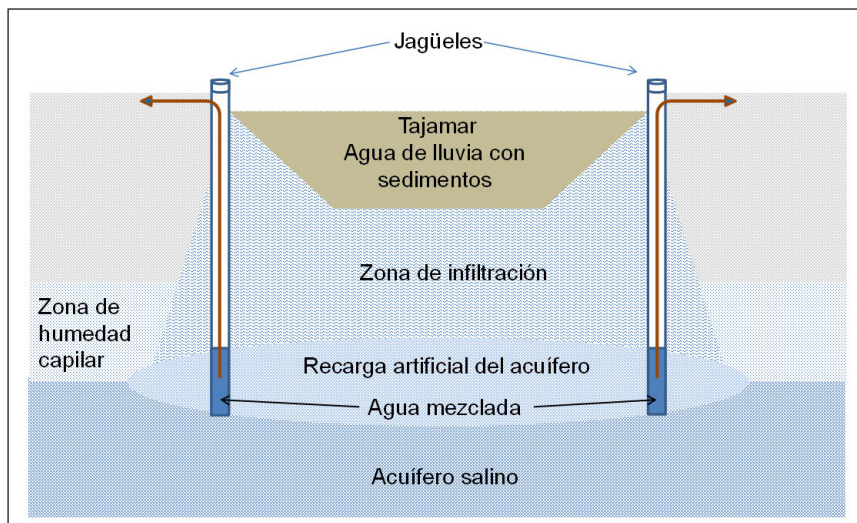


Figura 16. Esquema teórico del comportamiento del agua en la zona de extracción.

to combinado del agua subterránea con agua de lluvia, puede transformar el problema de aguas con alta concentración salina en aguas con aceptable salinidad, si se favorece la tasa de infiltración del agua de lluvia.

Otro aspecto de relevancia en la infiltración dentro de los tajamares es el filtrado de los sedimentos en suspensión incorporados al agua de escurrimiento por erosión del suelo, así como la mineralización del agua de lluvia a través del proceso de infiltración.

Uno de los principios sobre el cual se desarrolló este método de aprovechamiento de ambos recursos hídricos (subterráneo y pluvial) en forma integrada se basó en la capacidad de infiltración como el factor determinante de recarga artificial del acuífero para lograr volumen y calidad de agua, manteniendo un almacenamiento subterráneo que reduzca las pérdidas por evaporación. La Figura 16 recrea el comportamiento teórico del agua en el sistema desarrollado.

Cuando el tajamar se seca, se aprovecha la oportunidad para remover los sedimentos finos que se acumulan en el fondo, reparando los taludes y elevando los bordes (Figura 17).

Cuando se produce la recarga artificial tras precipitaciones de intensidad y cantidad suficientes como para provocar escurrimientos y aportes al tajamar, se ha observado que la dilución salina del acuífero demora de dos a cinco días dependiendo del estado de mantenimiento del fondo de la represa, así como del volumen de recarga.



Figura 17. *Labores de mantenimiento del tajamar con tractor equipado con pala frontal.*

Una preocupación sobre la eficiencia del sistema diseñado está centrada en la velocidad de infiltración del agua dentro del acuífero. Si se logra aumentar la misma, se reduciría el tiempo de exposición del agua a la evaporación y en consecuencia aumentaría la eficiencia y cantidad de recarga. Se deberán realizar acciones futuras para alcanzar este objetivo propuesto.

Escorrentía superficial

El escurrimiento del agua de lluvia depende de varios factores, que deben estudiarse en cada sitio en particular para almacenar este recurso. Por un lado, el relieve y tipo de suelo son determinantes de la capacidad de transporte del flujo superficial, por otro, la cantidad (mm) e intensidad (mm.h^{-1}) de la lluvia determinan el volumen de escurrimiento. Durante los años que se ha evaluado la captación de agua del sistema desarrollado, sólo en abril de 2014 la represa alcanzó una cota máxima de aproximadamente 2,5 m de profundidad que no llegó a llenar por completo el tajamar, quedando un nivel excedente de 0,5 m. En este mes, las lluvias totalizaron 260 mm de los cuales 128 mm precipitaron en un solo día. Estos resultados muestran que el área de captación debería ampliarse para lograr un volumen mayor de escurrimiento.

Un área de captación que no guarde proporción con la capacidad del tajamar puede presentar inconvenientes por déficit o exceso de tamaño. Si el área de captación es pequeña, será insuficiente para el llenado de la represa. En cambio, si esta área es mayor a la capacidad de almacenamiento de la represa, el sistema podría colapsar frente a precipitaciones excepcionalmente mayores al promedio.

En general, el promedio anual de escurrimiento desde microcuencas sin cobertura vegetal es del orden del 30 % de la precipitación media anual, mientras que en microcuencas con cobertura alcanza al 10 % (Tadmor y Shanan, 1969). Diferentes fórmulas y tablas se utilizan para calcular los tamaños de cuenca de captación y de la represa en función de las características de las precipitaciones de la zona, de las pendientes del relieve, del tipo de suelo y hasta de la presencia o ausencia de vegetación (Basán Nickisch, 2007; Bavera, 2011; Min. Asuntos Agrarios del Gobierno de La Pampa, 1988).

Para lograr un caudal óptimo de escorrentía, la superficie del suelo en la zona de captación y conducción de agua debe mantenerse limpia. La presencia de vegetación y broza dificultan el escurrimiento y favorecen la infiltración (Adema *et al.*, 2003; Fullen, 1991; Tadmor y Shanan, 1969).

Sales totales

La variable más difícil de manejar es el contenido de sales disueltas en la mezcla de agua subterránea y de lluvia. Como se relató precedentemente, es una tarea artesanal donde la capacitación y la experiencia del productor o empleado a cargo de esta tarea, define la calidad del agua para el ganado.

Únicamente la recarga artificial del acuífero a través del tajar de infiltración, reduce los altos contenidos salinos del agua subterránea. En la Figura 18 se grafican las precipitaciones mensuales, el contenido de sales totales del agua extraída y el límite de salinidad tolerada, calculado empíricamente en virtud de los siguientes indicadores: presencia de diarreas profusas en animales más sensibles, menor rendimiento de los pozos como consecuencia de la depresión de la superficie freática, pero fundamentalmente, el gran esfuerzo diario del operador para cumplir con el cupo y calidad de agua necesario para abreviar al ganado.

Para el caso particular de este predio, el valor de salinidad tolerada se estableció en 9,5 g.l⁻¹. Estos valores de tolerancia pueden variar en función de la composición química de las sales disueltas en el agua (Basán Nickisch, 2007; Bavera, 2011), para lo cual es imprescindible contar con análisis de aptitud para uso ganadero, donde los informes de laboratorio detallan las limitantes impuestas por las diferentes concentraciones y combinaciones de sales disueltas.

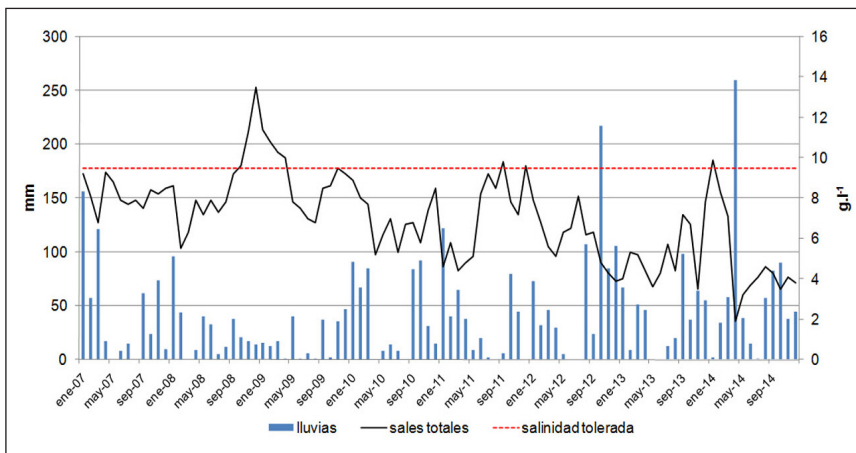


Figura 18: Contenido de sales totales mensuales en relación con las lluvias del mismo periodo.

Puede apreciarse que en 8 años de registro, la salinidad tolerada fue superada en 10 meses, de los cuales 7 corresponden al periodo octubre 2008 - abril 2009, donde las precipitaciones acumuladas alcanzaron 99 mm de los 345 mm promedio para dicho periodo. Las severas condiciones ambientales redujeron drásticamente tanto la calidad del agua de bebida como la oferta forrajera, obligando bajar la carga animal del predio a más de la mitad. Se debe resaltar que en estos años la obra se encontraba en proceso de desarrollo y que la causa principal de la reducción de la carga animal debe atribuirse a la falta de forraje. Estas afirmaciones son corroboradas a nivel provincial, donde la situación generalizada de crisis hídrica provocó graves consecuencias en La Pampa durante estos dos años, en los cuales el stock de ganado bovino se redujo de 4.020.172 cabezas en 2007 a 2.545.878 cabezas en 2010 (SENASA. 2007-2010).

Posteriormente a esa situación de crisis hídrica y con la recuperación de la carga del predio entre 2010 y 2013 (220 UG), el límite de salinidad tolerada fue superado en septiembre de 2011, diciembre de 2011 y enero de 2014, meses en los que se decidió recurrir al transporte de agua para bajar el contenido de sales, realizando la mezcla en el tanque australiano.

A partir de estas situaciones puntuales y sobre la base de los resultados obtenidos, se ha trabajado en la ampliación del área de captación y conducción de escurrimiento hacia los tajamares con el propósito de alcanzar la sustentabilidad del sistema, que ya muestra un excelente funcionamiento.

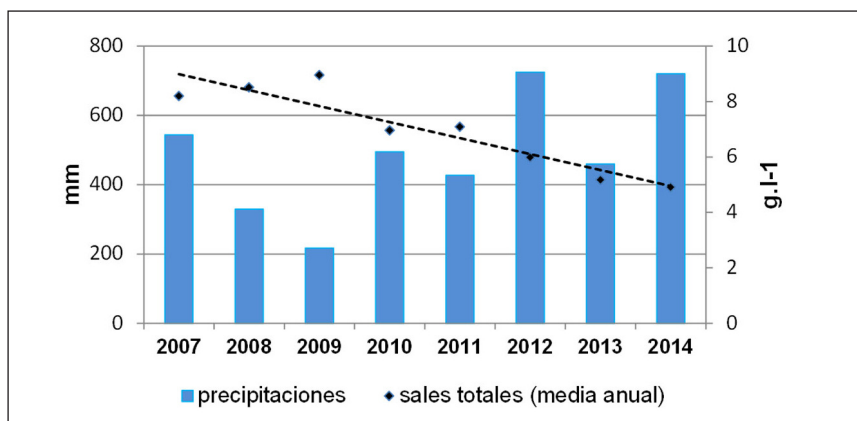


Figura 19. Precipitación total anual y salinidad media anual del acuífero en el sitio de estudio.

En la Figura 19 se muestran las precipitaciones anuales y los valores de salinidad promedio de cada año, los que se ajustan a la ecuación $y = -0,5765x + 9,564$ con $R^2 = 0,86$. Los primeros tres años (2007-2009) la concentración promedio de sales totales estuvo próxima al límite de tolerancia impuesto para este establecimiento, como consecuencia de una carga animal sobredimensionada para el escaso desarrollo del sistema de aprovisionamiento de agua de bebida. A partir de 2010, el promedio anual fue $\leq 7,1 \text{ g.l}^{-1}$ con precipitaciones inferiores y superiores a la media, además puede apreciarse que los niveles de salinidad del acuífero han descendido a valores en que el agua de bebida para el ganado vacuno puede definirse como “de buena calidad” (Bavera, 2011). Recordemos que los valores iniciales en el mismo acuífero, año 2005, eran de 12 g.l^{-1} y en los últimos 5 años, el promedio anual está en un rango de 5 a 7 g.l^{-1} con una tendencia a disminuir.

La distribución mensual de las precipitaciones muestra una marcada concentración primavera-estival (Figura 20). Sin embargo, la salinidad del acuífero tiende a ubicarse en valores cercanos a 7 g.l^{-1} , aunque en los meses de verano estos valores se elevan como consecuencia del mayor consumo de agua por el ganado y por ende mayor concentración salina en el acuífero.

A pesar de las diferencias mensuales en la distribución de las lluvias, la salinidad del agua de bebida se ajusta a una ecuación polinómica de orden 2, lo que indica que hay un mínimo entre mayo y julio y un máximo en diciem-

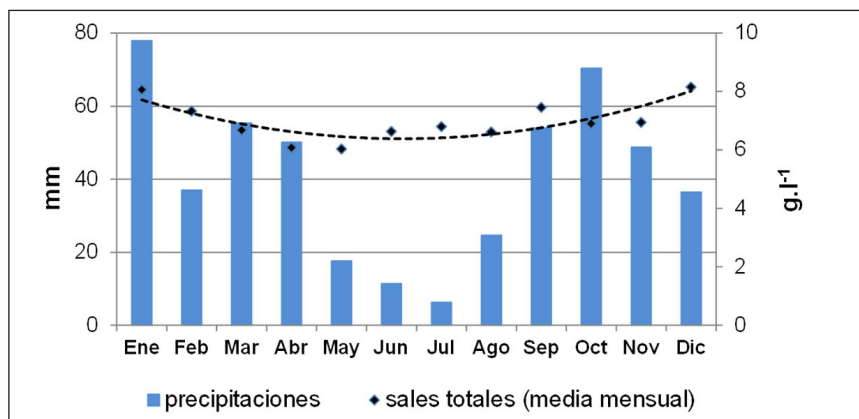


Figura 20. Distribución anual de las precipitaciones y contenido de sales totales del acuífero en el sitio de estudio.

bre y enero. Es de esperar que conforme se incremente el área y el volumen de captación de agua de lluvia, la salinidad presente un comportamiento próximo a una línea recta y horizontal en el tiempo, aumentando la estabilidad y sostenibilidad de la oferta de este nutriente. Se procura a futuro mantener la salinidad promedio en 5 g.l^{-1} ($\pm 2 \text{ g.l}^{-1}$), en función del desarrollo de la cuenca de captación de agua que todavía no ha logrado llenar el sistema de almacenamiento superficial en las represas.

Consideraciones finales

Las características ambientales de las regiones geomorfológicas del centro oeste y sur de La Pampa presentan diferente potencialidad en la captación y almacenamiento de agua de lluvia para uso ganadero. Las regiones con mejor aptitud y mayor necesidad en función de su potencial productivo son la Peneplanicie de Lihuel Calel y la Planicie de inundación actual.

Dentro de la Planicie de Inundación actual y áreas colindantes, aproximadamente un millón de ha son pasibles de adoptar y adaptar tecnologías tradicionales para el manejo integrado del agua de lluvia con acuíferos de mala calidad, pudiéndose impactar positivamente en la carga animal de los predios, si se logra un equilibrio entre la oferta de forraje y la oferta de agua de aceptable calidad.

Evitando la formación de pisos impermeables de tajarar en zonas donde el nivel freático se encuentra a escasa profundidad, se logran rápidas tasas de infiltración, la recarga artificial del acuífero y el almacenamiento del agua de lluvia en el subsuelo, reduciendo las pérdidas por evaporación.

La recarga artificial de acuíferos desde tajamares produce dilución salina del agua subterránea así como el filtrado y mineralización del agua de lluvia, componiendo una mezcla apta para el consumo del ganado.

La extracción de agua de varios jagüeles o perforaciones simultáneamente, rotando los usos y descansos, atenúan la intrusión salina de agua subterránea de mala calidad. Esto puede lograrse utilizando el sistema de bombeo “patas de araña” que puede extraer agua simultáneamente de varios jagüeles aunque no tengan una distribución espacial simétrica.

Salvo situaciones de sequías excepcionales, se puede prescindir o reducir al mínimo el transporte de agua, aproximándose al equilibrio oferta-demanda para uso ganadero.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi esposa e hijos tanto por su colaboración en las tareas de campo como en aquellas que complementaron el desarrollo de este emprendimiento y a quienes pido disculpas por tantas ausencias en pro de alcanzar este objetivo. Finalmente, a la EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, INTA (Proyecto “Desarrollo territorial sustentable del Caldenal y oeste árido de la provincia de La Pampa”) por publicar este trabajo.

bibliografía

- Adema E, A Biasotti, C Eberhardt, G Fiol y P Schulmeister. 1999. Aprovechamiento del agua de lluvia en la producción. Jornada de campo. Chacharramendi. EEA Anguil. INTA. 28 pp.
- Adema E, F Babinec, D Buschiazzi, M Martín y N Peinemann. 2003. Erosión hídrica en suelos del Caldenal. Publicación Técnica N° 53. EEA Anguil. INTA. 34 pp.
- Adema E, D Buschiazzi, F Babinec, T Rucci, and V Gómez Hermida. 2004. Mechanical control of shrubs in the semiarid Argentina and its effects on soil water content and grassland productivity. *Agricultural Water Management*. 68: 185-194.
- Alvarellos de Lell E y R Hernández. 1982. Recursos hídricos pampeanos. Secretaría General de la Gobernación de La Pampa, Subsecretaría de Información Pública, Biblioteca Pampeana, Serie Folletos 29/82. 61 pp.
- Basán Nickisch M. 2007. Manejo de los Recursos Hídricos en Regiones Semiáridas y Áridas de Secano. INTA- EEA Santiago del Estero. 111 pp.
- Bavera G. 2011. Aguas y aguadas para el ganado. 4^º Ed. Imberti-Bavera. 500 p.
- Colombato J, M Covas, G Tourn, O Beneitez y E Perez. 1983. Estudio integral de la Cuenca del Desaguadero. Trabajo realizado por el Centro de Investigaciones Geográficas para el Gobierno de La Pampa. Secretaría de Difusión y Turismo del Gobierno de La Pampa. Santa Rosa. 259 pp.
- Deladino L. 2000. Caracterización geohidrológica de la provincia de La Pampa a través de transectas representativas. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UNLPam, Santa Rosa. Inédito. 202 pp.
- Distel R. 2013. Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. *Revista Argentina de Producción Animal*. 33 (1): 53-64.
- Fernández Duque J. 1988. Tajamares y pozones: una solución siempre vigente. INTA Trelew, Desarrollo Rural N° 5: p 1-3.
- Fullen M. 1991. A comparison of runoff and erosion rates on bare and grassed loamy sand soils. *Soil Use and Management*. 7: 136-139.
- Hofstadter R. 1983. Estudios en la región oeste de la provincia de La Pampa. Experimentación y transferencia de tecnología agropecuaria. Aprovechamiento de aguas pluviales para abrevaderos de ganado. Gobierno de La Pampa. Informe Inédito. 92 pp.
- INTA-M.A.B del Chaco. 1972. Aguadas permanentes. INTA EEA Sáenz Peña.

Serie: Instalaciones N°2: 1-2.

- INTA, Provincia de La Pampa y UNLPam. 1980. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. 493 pp.
- Melchor R y E Llambías. 2000. Descripción geológica de la Hoja 3766-I “Santa Isabel” (1:250.000), provincia de La Pampa. Secretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. Inédito. 41 pp.
- Ministerio de Asuntos Agrarios del Gobierno de La Pampa. 1988. Agro Pampeano. Conservación de Suelos en La Pampa. N° 12. pp. 58-66.
- Roberto Z, J Tulio y J Malán. 2008. Cartografía de agua subterránea para uso ganadero en La Pampa. Publicación Técnica N° 73. EEA Anguil, INTA. 25 pp. + 2 mapas.
- Sager R. 2003. Calidad de agua y desbalances minerales. Cría vacuna, Cuaderno de actualización Técnica. INTA San Luis, UNSL. 66: 62-67.
- SENASA. Centro Regional La Pampa-San Luis. Base de datos de las vacunaciones de Aftosa de los rodeos bovinos. Informe inédito. Periodo: 2007-2010.
- Tadmor N y L Shanan. 1969. Runoff inducement in an arid region by removal of vegetation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 790-794.
- Umazano A, E Adema y S Aimar. 2004. Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa. Publicación Técnica N° 76. EEA Anguil, INTA. 52 pp.
- Viglizzo E, Z Roberto and N Brockinton. 1991. Agroecosystems performance in the semiarid pampas of Argentina and their interactions with the environment. Agriculture, Ecosystems and Environment. 36: 23-36.